



Physik für Infotronik (23)

Gerald Kupris

14.01.2013

Physik Themenbereiche (3)

Teil 4: Elektrizität und Magnetismus

21 Das elektrische Feld I: Diskrete Ladungsverteilungen

22 Das elektrische Feld II: Kontinuierliche Ladungsverteilungen


23 Das elektrische Potenzial

24 Die Kapazität

25 Elektrischer Strom – Gleichstromkreise

26 Das Magnetfeld

27 Quellen des Magnetfelds

 28 Die magnetische Induktion

29 Wechselstromkreise

30 Die Maxwellschen Gleichungen – Elektromagnetische Wellen

Stärke des Magnetfeldes

Die Stärke eines Magnetfeldes kann durch zwei verschiedene physikalische Größen ausgedrückt werden, die magnetische Feldstärke **H** (Einheit: **A/m**) und die magnetische Flussdichte **B** (Einheit **T** -Tesla).

Während die magnetische Feldstärke bei Berechnungen mit elektrischen Strömen von Vorteil ist, verwendet man die magnetische Flussdichte zum Berechnen von induzierten Spannungen oder der Lorentzkraft.

Die magnetische Feldstärke **H** , früher auch als magnetische Erregung bezeichnet, ordnet als vektorielle Größe jedem Raumpunkt eine Stärke und Richtung des durch die magnetische Spannung erzeugten Magnetfeldes zu.

Die beiden Feldgrößen sind über die Materialgleichungen der Elektrodynamik miteinander verknüpft, welche sich im einfachsten Fall über einen Faktor, die magnetische Permeabilität, ausdrücken lässt.

Magnetische Flussdichte

Die magnetische Flussdichte **B**, auch magnetische Induktion, bisweilen umgangssprachlich einfach nur „Flussdichte“ oder „Magnetfeld“ genannt, ist eine physikalische Größe der Elektrodynamik, für die Flächendichte des magnetischen Flusses steht, der senkrecht durch ein bestimmtes Flächenelement hindurchtritt.

Die SI-Einheit der magnetischen Flussdichte ist das Tesla (**T**):

$$[B] = 1 \frac{\text{kg}}{\text{As}^2} = 1 \frac{\text{N}}{\text{Am}} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{Am}^2} = 1 \frac{\text{J}}{\text{Am}^2} = 1 \frac{\text{Ws}}{\text{Am}^2} = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} = 1 \text{ T}$$

Eine veraltete Einheit für die magnetische Flussdichte ist das Gauß (**G**), das allerdings in der Technik immer noch häufig verwendet wird.

Es gilt: **1 T = 10000 G = 10⁴ G** **1 G = 10⁻⁴ T = 100 µT**.

Am Äquator hat das Erdmagnetfeld eine Stärke von ca. **30 µT** = 30.000 nT. An den Polen ist der Betrag doppelt so groß. In Mitteleuropa sind es ca. **48 µT**, wobei ca. 20 µT in der horizontalen und ca. 44 µT in der vertikalen Richtung auftreten.

Der magnetische Fluss

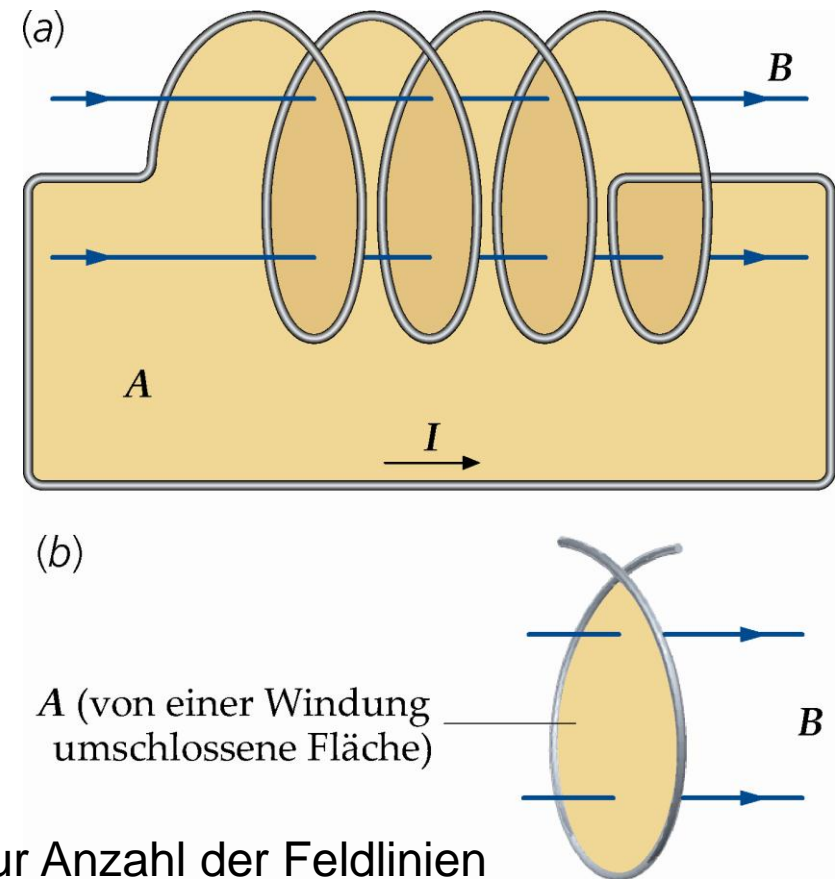
Den Fluss eines Vektorfeldes durch eine Fläche können wir analog zum elektrischen Fluss berechnen. Der magnetische Fluss durch A ist:

$$\Phi_{mag} = \int_A \mathbf{B} \cdot d\mathbf{A} = \int_A B_n \cdot dA$$

Die Einheit des Magnetischen Flusses ist Weber:

$$1\text{Wb} = 1\text{T} \cdot \text{m}^2$$

Die Stärke des Magnetfeldes B ist proportional zur Anzahl der Feldlinien pro Flächeneinheit, daher ist der magnetische Fluss durch ein Flächenelement proportional zur Anzahl der Feldlinien, die dieses durchsetzen.



Der magnetische Fluss

Handelt es sich um eine ebene Fläche mit dem Flächeninhalt A und ist das Magnetfeld B über die gesamte Fläche homogen (sind Betrag und Richtung konstant), so ist der magnetische Fluss durch die Fläche gleich:

$$\Phi_{mag} = B \cdot A = |B| \cdot |A| \cdot \cos \Theta = B_n \cdot A$$

Dabei ist der Winkel Θ zwischen der Richtung von B und der Richtung des Flächenvektors.

Häufig betrachten wir den magnetischen Fluss durch eine Fläche, die von einer Spule mit n Windungen umschlossen ist:

$$\Phi_{mag} = n \cdot |B| \cdot |A| \cdot \cos \Theta$$

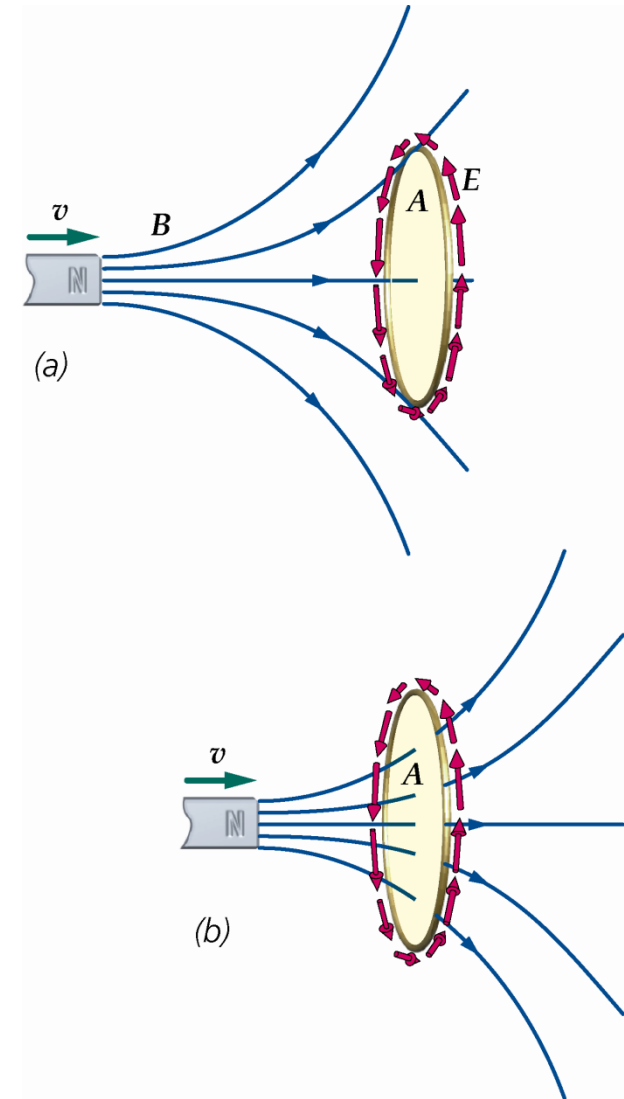
Induktionsspannung

Experimente von Faraday, Henry und anderen zeigten, dass jede Änderung des magnetischen Flusses durch die von einem elektrischen Leiter (einem Draht) umschlossene Fläche eine Spannung in dem Leiter induziert, deren Stärke proportional zur Änderungsrate des Flusses ist.

$$U_{ind} = - \frac{d\Phi_{mag}}{dt}$$

$$U_{ind} = - \frac{d}{dt} \cdot \int_S B \cdot dA$$

Diese Beziehung heißt **Faradaysches Gesetz**.

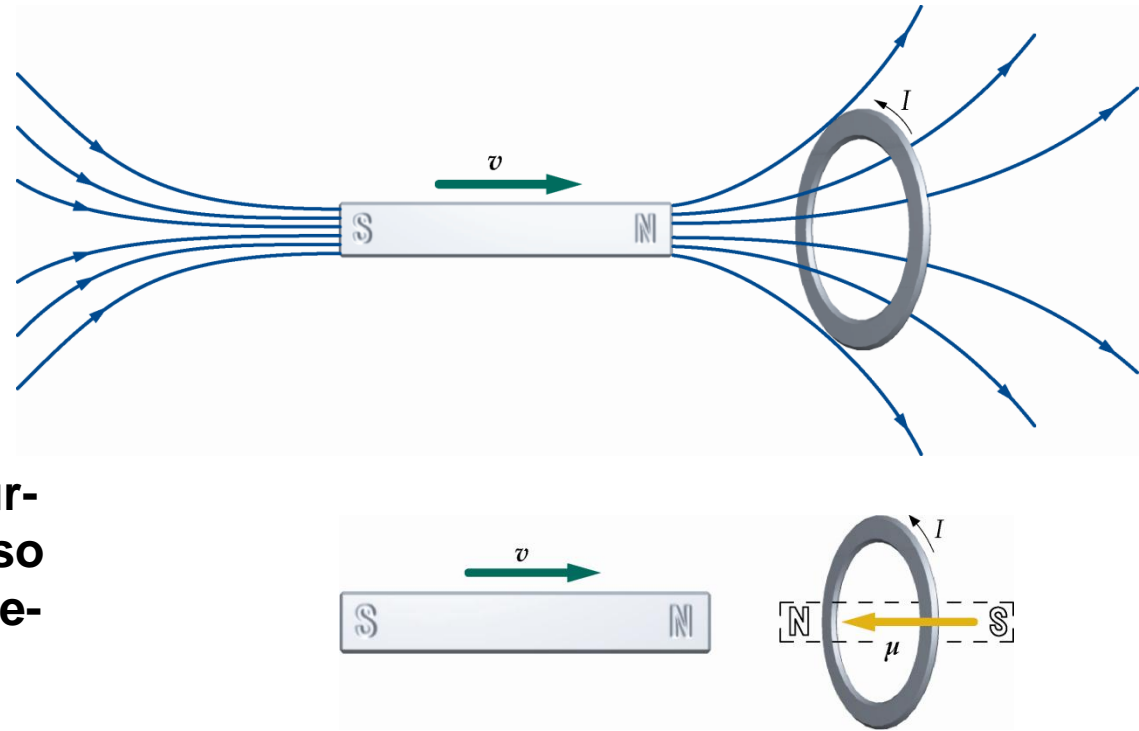


Die Lenzsche Regel

Das negative Vorzeichen im Faraday'schen Gesetz ergibt sich aus der Richtung der Induktionsspannung. Diese folgt aus einem allgemeinen physikalischen Prinzip, der Lenzschen Regel:

Die von einer Zustandsänderung verursachte Induktionsspannung ist stets so gerichtet, dass sie ihrer Ursache entgegenzuwirken sucht.

Bewegt sich ein Stabmagnet nach rechts auf den leitenden Ring zu, so wird im Ring eine Spannung induziert und in der angegebenen Richtung fließt ein Strom. Dieser Strom erzeugt seinerseits ein Magnetfeld, das auf den Stabmagneten eine Kraft ausübt, die der Annäherung entgegenwirkt.



Induktiv gekoppelte Stromkreise

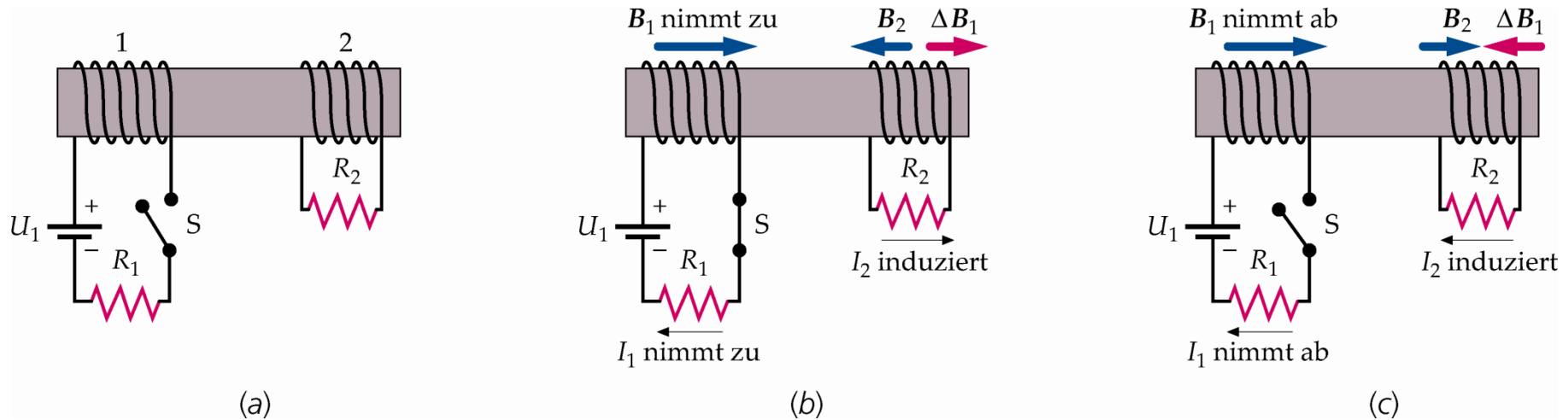


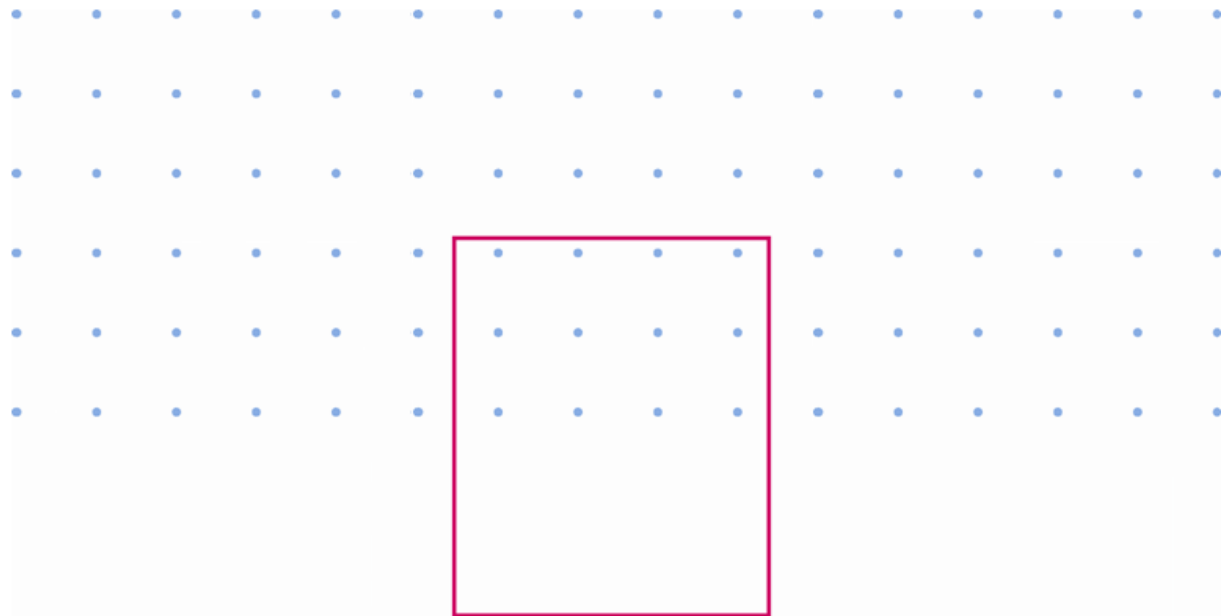
Abb. (b): Wird der Schalter geschlossen, so nimmt I_1 in der gezeigten Richtung zu. Der veränderliche magnetische Fluss durch die Spule von Kreis 2 induziert dort einen Strom I_2 . Dieser Strom erzeugt ein Magnetfeld, dass dem induzierten Fluss von I_1 entgegenwirkt.

Abb. (c): Wird der Schalter geöffnet, so fällt I_1 ab und wieder ändert sich der Fluss durch Kreis 2. Der induzierte Strom I_2 versucht, dem entgegenzuwirken, also den Fluss durch Kreis 2 aufrechtzuerhalten.

Beispielaufgabe

Die in der Abbildung skizzierte rechteckige Spule mit einer Länge von 40 cm, einer Breite von 30 cm und 100 Windungen befindet sich zur Hälfte in einem Magnetfeld $B = 0,25 \text{ T}$, das aus der Papierebene heraus zeigt. Der Widerstand der Spule beträgt 32Ω . Ermitteln Sie den Betrag und die Richtung des induzierten Stroms (in A), wenn die Spule mit einer Geschwindigkeit von $1,5 \text{ m/s}$ bewegt wird, und zwar:

- a) nach rechts,
- b) nach oben,
- c) nach links,
- d) nach unten.



Wechselstromgenerator

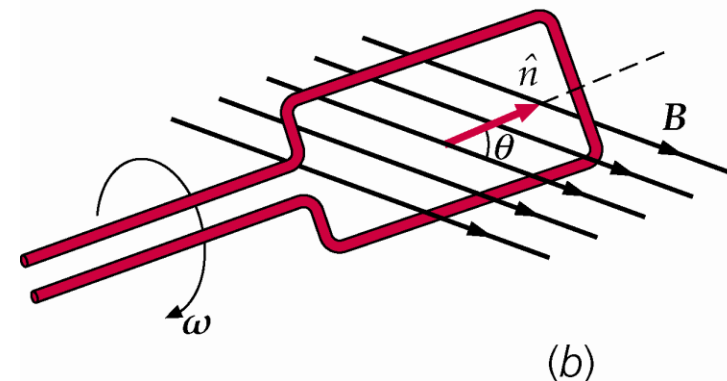
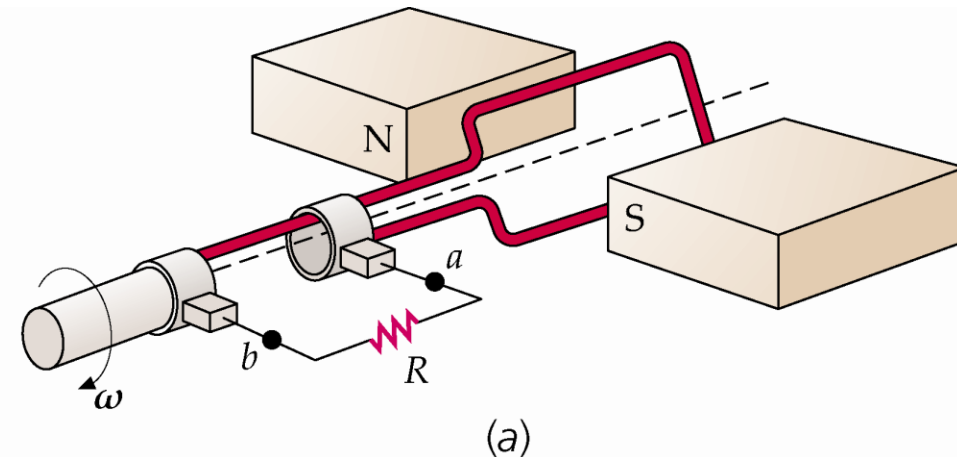
Rotiert die Spule mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω in einem statischen äußeren Magnetfeld B , so wird eine sinusförmige Spannung induziert.

Zum Antrieb der Spule wird mechanische Energie (z.B. von einem Wasserfall oder einer Dampfturbine) geliefert, der Generator wandelt sie in elektrische Energie um.

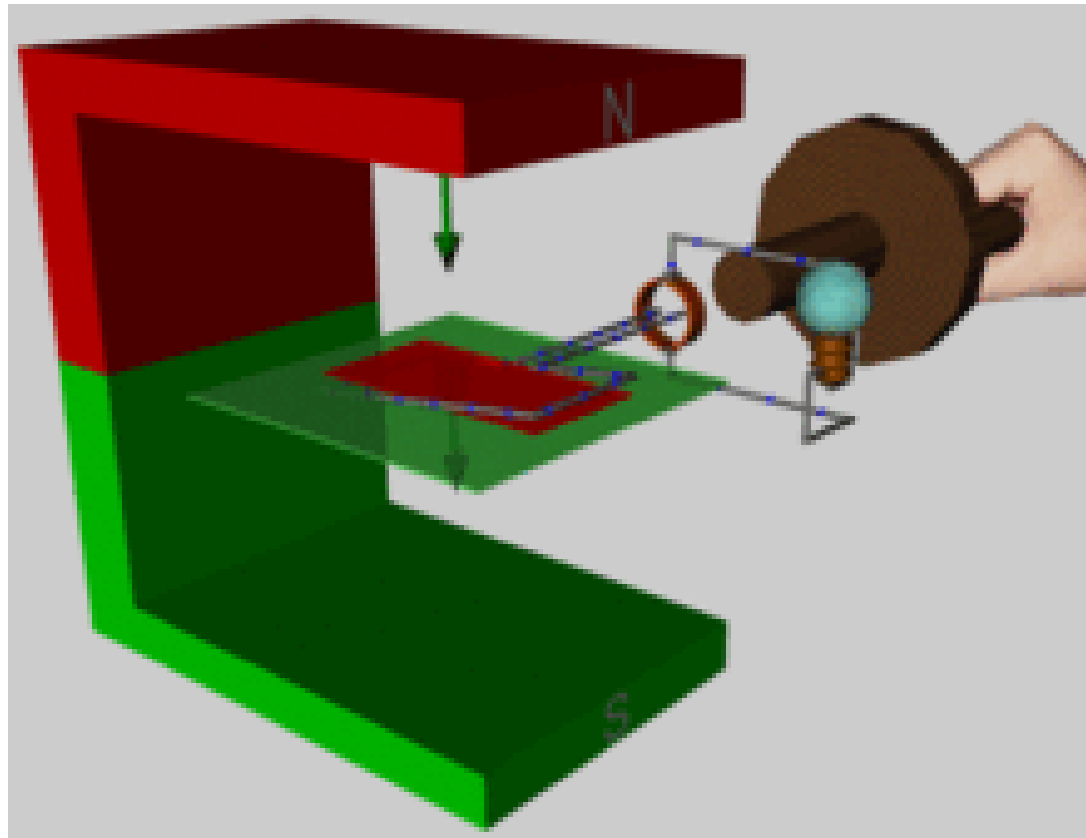
Über Schleifringe wird die Energie an Bürsten und damit an einen äußeren Stromkreis abgegeben.

Die Normale der Spulenfläche bildet mit der Richtung des Magnetfelds einen Winkel θ , der magnetische Fluss durch die von einer Windung umschlossene Fläche ist dann gleich $|\mathbf{B}| \cdot |\mathbf{A}| \cdot \cos\theta$.

Die maximale induzierte Spannung beträgt: $U_{ind,max} = n \cdot B \cdot A \cdot \omega$

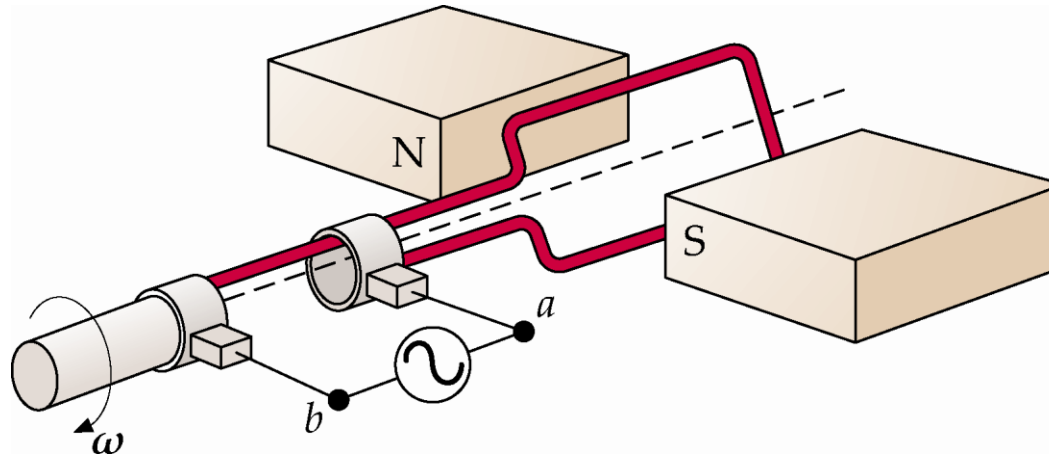


Drehgenerator



Siehe auch Applet: Generator

Wechselstrommotor

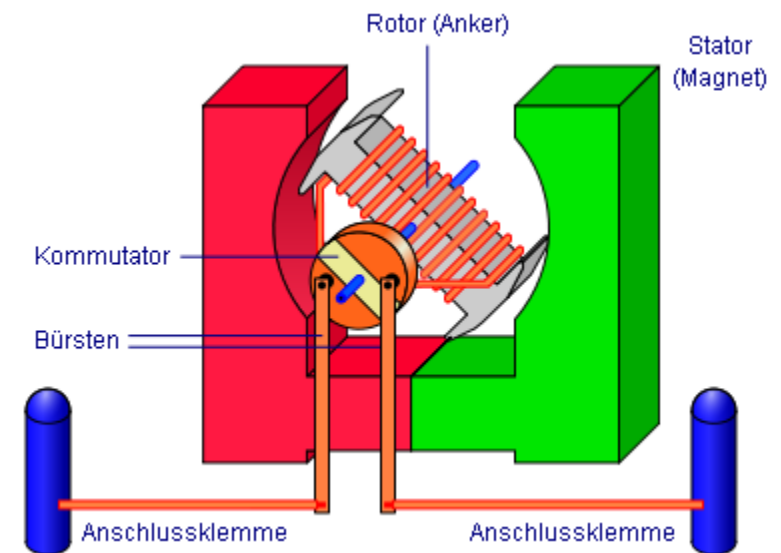
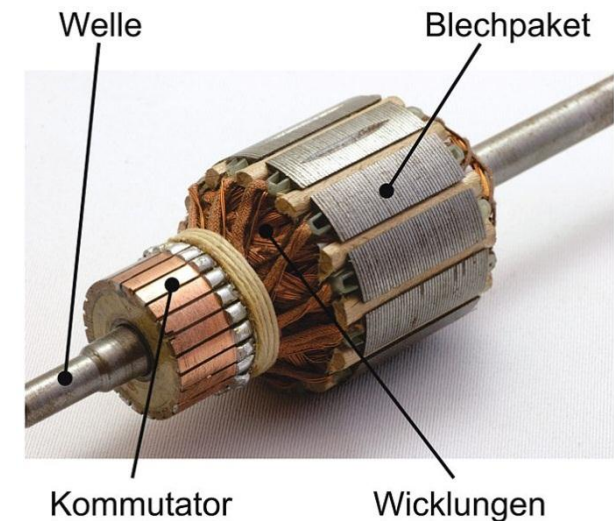


Wird der Spule eine Wechselspannung zugeführt, so arbeitet sie als Motor. Durch die Drehung der Spule wird eine Spannung induziert, die dem Strom entgegen wirkt.

Gleichstrommotor

Die Maschine besteht aus einem unbeweglichen Teil, dem Stator, und einem drehbar gelagerten Teil, dem Rotor (Anker).

Eine oder mehrere Spulen auf dem Anker werden in einem magnetischen Feld (Stator) so platziert, dass durch die Lorentzkraft ein Drehmoment erzeugt wird. Die Wicklungen des Ankers werden hierzu über einen Kommutator (Polwender) angeschlossen. Die Schleifkontakte am Kommutator (Bürsten oder Kohlebürsten) sind so angeordnet, dass sie während der Drehung die Polung der Ankerwicklungen so wechseln, dass immer diejenigen Wicklungen von Strom entsprechender Richtung durchflossen werden, die sich quer zum Erregerfeld bewegen.



Synchronmotor

Nachteil der konventionellen Gleichstrommaschinen sind die Funken, die bei den Bürsten entstehen. Dies umgeht die bürstenlose Gleichstrommaschine, (engl. brushless direct current, BLDC). Der Rotor besteht hier aus einem Permanentmagneten, der Stator besteht aus mehreren Magnetspulen, meist ist der Rotor ein Außenläufer. Meist werden die Statoren dreiphasig ausgeführt.

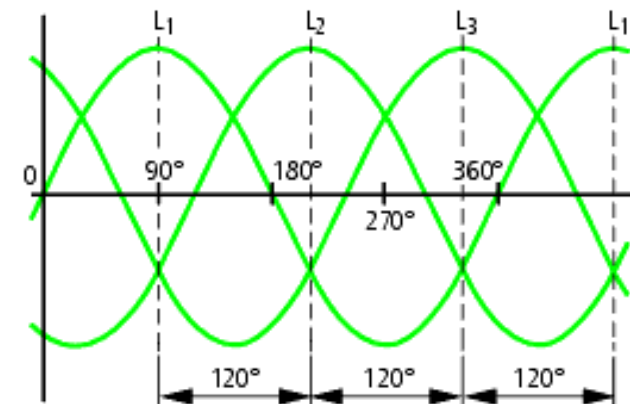
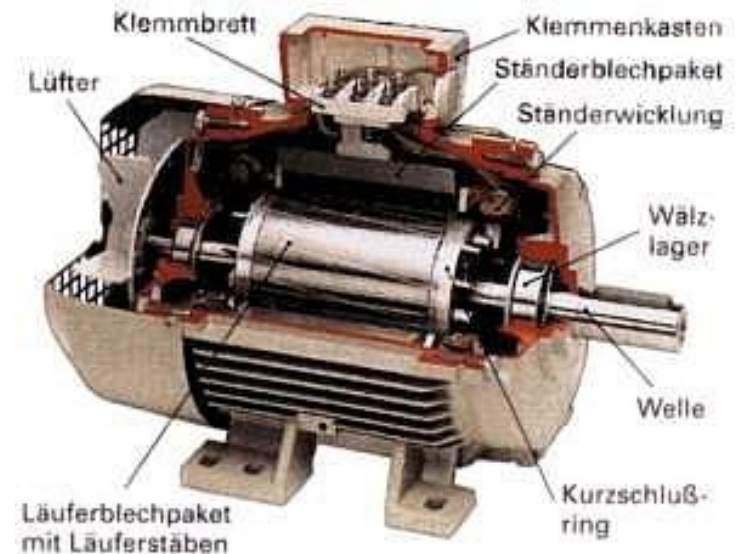
Sensorgesteuerte bürstenlose Gleichstrommaschinen besitzen Lagesensoren, die die Stellung des Rotors detektieren. Wie bei der bürstenbehafteten Gleichstrommaschine, können so die Phasen in Abhängigkeit von der Lage des Rotors geschaltet werden. Die Positiondetektion kann mittels magnetischer (Hall-Effekt-Sensoren, Feldplatten), elektrischer (Potentiometer) oder optischer Positionssensoren erfolgen (z. B. bei hochwertigen Industriemotoren, Servomotoren).

Sensorlose bürstenlose Gleichstrommaschinen benutzen die Gegenspannung zur Detektion der Rotorposition. Diese Variante heißt im Englischen ‚sensorless‘, da keine separaten Sensoren benötigt werden. Ihr Vorteil besteht darin, dass keine Positionssensoren verwendet werden, die zum Teil stark störanfällig sind

Drehstrom-Asynchronmotor (1)

Der Asynchronmotor ist heute der am meisten verwendete Elektromotor. Drehstrom-Asynchronmaschinen werden mit Leistungen bis zu mehreren Megawatt hergestellt. Der einzigartige Vorteil gegenüber anderen Elektromotoren ist das Fehlen von Kommutator und Bürsten. Bürsten verschleissen und erzeugen Funken, wodurch das Leitungsnetz mit hochfrequenten Schwingungen gestört wird.

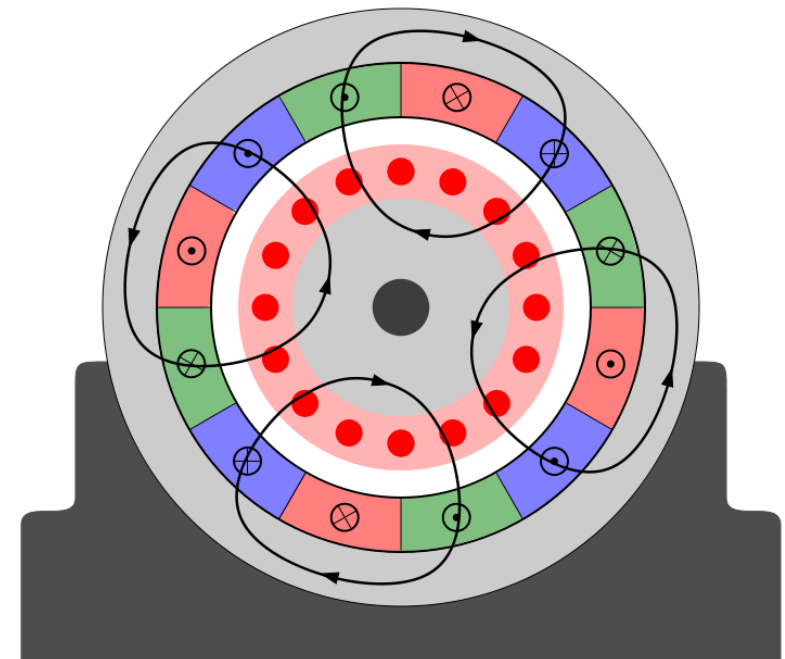
Beim Drehstrommotor-Asynchronmotor sind drei Wicklungsstränge, um je $120^\circ/p$ (p = Polpaarzahl) gegeneinander versetzt, angeordnet. Durch Aufschalten einer drei-phasigen, um je 120° zeitlich verschobenen, Wechselspannung wird im Motor ein Drehfeld erzeugt.



Drehstrom-Asynchronmotor (2)

Durch Induktionswirkung werden in der Läuferwicklung Drehfeld und Drehmoment erzeugt. Die Drehzahl des Motors ist dabei abhängig von der Polpaarzahl und der Frequenz der speisenden Spannung. Die Drehrichtung kann durch den Wechsel zweier Anschlussphasen umgekehrt werden.

Ein Kurzschlussläufer hat eine Wicklung aus massiven, gut leitfähigen Leiterstäben (Käfigläufer), die immer kurzgeschlossen sind. Im Betrieb fließen durch die Leiterstäbe vergleichsweise hohe Ströme und erzeugen so zusammen mit den Eisenblechen starke Magnetfelder.



Aufbau eines Lüftermotors

Normale Lüfter (also alles, was man im PC-Bereich und drumherum so kaufen kann) haben heutzutage elektronisch kommutierte Motoren. Ob die sich per PWM steuern lassen oder nicht, ist Glückssache - es kann mal funktionieren, muss aber nicht.

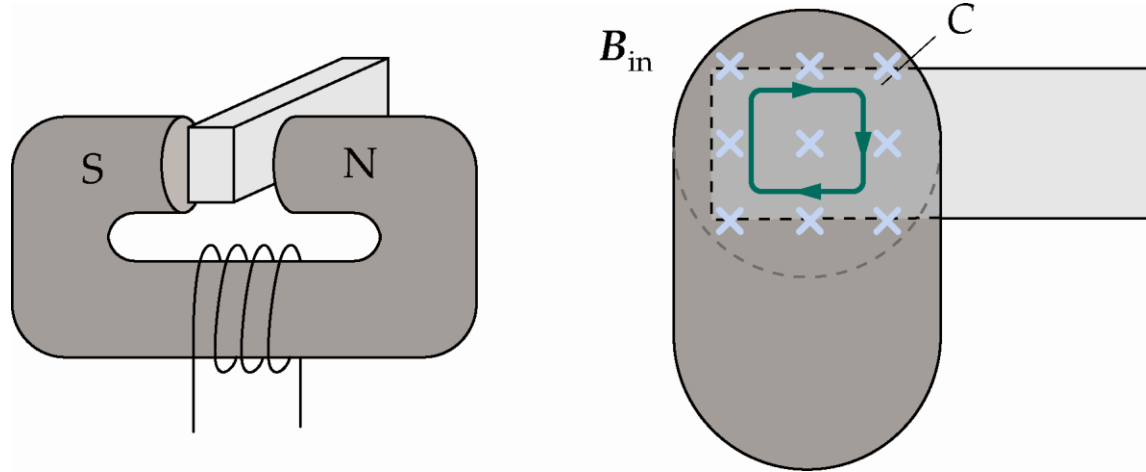
Zitat: „Ich habe das mit etwa 20 Lüftern probiert - manche mochten die 32 kHz-PWM, manche nicht.“

Tachosignal: Pro halber Umdrehung des Rotors wird ein elektrischer Impuls ausgegeben.

UDQFSEH53F
23.10044 002
DC Brushless
DC5V 0.20A
2Y15D



Wirbelstrombremse



Ändert sich das Magnetfeld, in dem sich ein Metallstab befindet, so wird entlang jedes geschlossenen Wegs innerhalb des Stabs (Beispielsweise C) eine Spannung induziert und es fließen die so genannten Wirbelströme.

In der Regel sind Wirbelströme unerwünscht. Sie führen zu Leistungsverlusten in Form von Wärme, die an die Umgebung abgeführt werden muss.

In manchen Fällen macht man sich Wirbelströme jedoch auch zunutze, beispielsweise zur Dämpfung nicht erwünschter Oszillationen oder zum Bremsen.

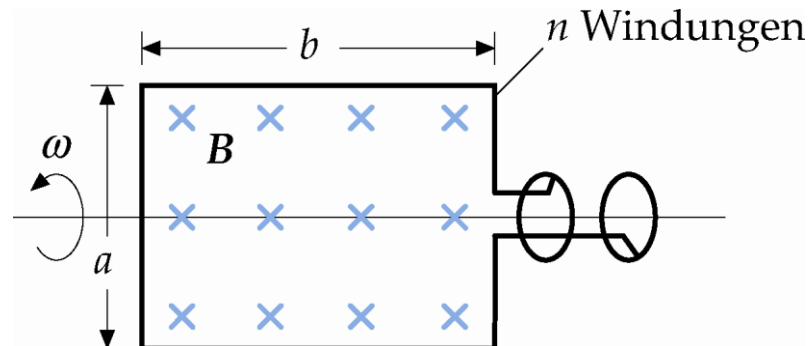
Aufgaben

1. Eine Spule mit rechteckigem Querschnitt (Seitenlängen: 2,00 cm und 1,50 cm) und 300 Windungen rotiert in einem Magnetfeld von 0,4 Tesla.
 - a) Geben Sie den Maximalwert der induzierten Spannung an, wenn sich die Spule mit einer Frequenz von 60 Hz dreht.
 - b) Wie groß muss die Rotationsfrequenz sein, damit eine Spannung von 110 V (Maximalwert) induziert wird?

2. Gegeben ist eine Spule mit 100 Windungen, einem Radius von 4,00 cm und einem Widerstand von 25,0 Ω .
 - a) Die Spule befindet sich in einem homogenen Magnetfeld, dessen Richtung senkrecht auf der Spulenebene steht. Mit welcher Rate muss sich die Feldstärke ändern, damit in der Spule ein Strom von 4,0 A induziert wird.
 - b) Wie lautet die Antwort auf Frage a, wenn die Feldrichtung einen Winkel von 20° mit der Normalen der Spulenebene einschließt?

Aufgaben

3. In der Abbildung sehen Sie einen Wechselstromgenerator, bestehend aus einer rechteckigen, mit Schleifringen verbundenen Leiterschleife mit den Seitenlängen a und b sowie n Windungen. Die Schleife dreht sich, von außen angetrieben, mit der Winkelgeschwindigkeit ω in einem homogenen Magnetfeld B .
- a) Zeigen Sie, dass die Potenzialdifferenz zwischen den Schleifringen gegeben ist durch **$U = n \cdot B \cdot a \cdot b \cdot \omega \cdot \sin(\omega t)$**
- b) Es sei $a = 2,0 \text{ cm}$, $b = 4,0 \text{ cm}$, $n = 250$ und $B = 0,2 \text{ T}$. Mit welcher Winkelgeschwindigkeit ω muss die Schleife rotieren, damit eine Spannung mit einem Maximalwert von 100 V induziert wird?



Induktiv gekoppelte Stromkreise

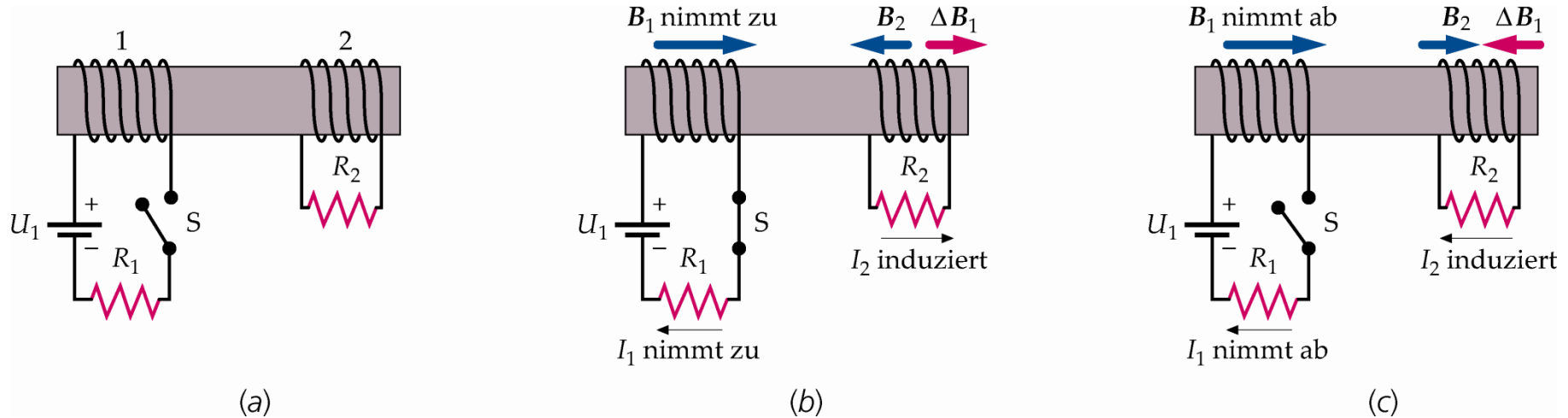


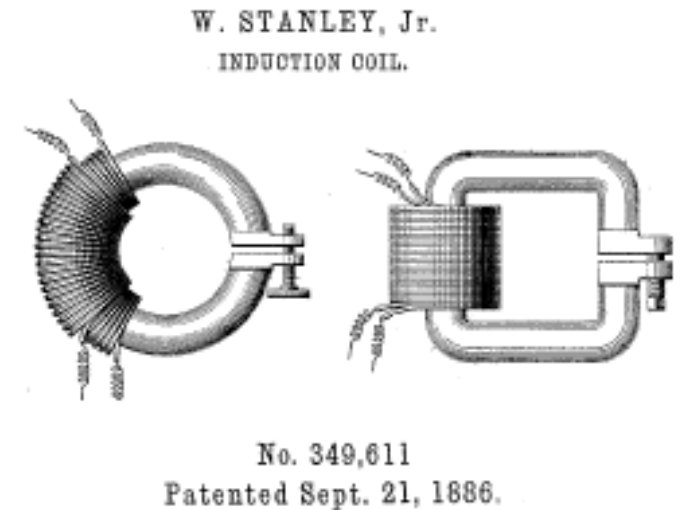
Abb. (b): Wird der Schalter geschlossen, so nimmt I_1 in der gezeigten Richtung zu. Der veränderliche magnetische Fluss durch die Spule von Kreis 2 induziert dort einen Strom I_2 . Dieser Strom erzeugt ein Magnetfeld, dass dem induzierten Fluss von I_1 entgegenwirkt.

Abb. (c): Wird der Schalter geöffnet, so fällt I_1 ab und wieder ändert sich der Fluss durch Kreis 2. Der induzierte Strom I_2 versucht, dem entgegenzuwirken, also den Fluss durch Kreis 2 aufrechtzuerhalten.

Der Transformator

Mit einem Transformator kann man eine gegebene Eingangsspannung ohne wesentlichen Leistungsverlust in eine gewünschte Ausgangsspannung umsetzen. Hauptanwendungsgebiet von Transformatoren ist daher die Erhöhung beziehungsweise die Reduktion von Wechselspannungen. Für die Stromversorgung sind sie unverzichtbar, da elektrische Energie nur mittels Hochspannungsleitungen über weite Entfernungen wirtschaftlich sinnvoll transportiert werden kann, der Betrieb von Elektrogeräten aber nur mit Niederspannung praktikabel ist.

Dem Ungarn Károly Zipernowsky, Miksa Déri und Ottó Titusz Bláthy wurde 1885 ein Patent auf den Transformator erteilt. Wesentlichen Anteil an der Verbreitung des Wechselstromsystems und mit ihm des Transformators hatte der Amerikaner George Westinghouse. Er erkannte die Nachteile der damals von Thomas A. Edison betriebenen und favorisierten Gleichstrom-Energieverteilung und setzte vorrangig auf Wechselstrom

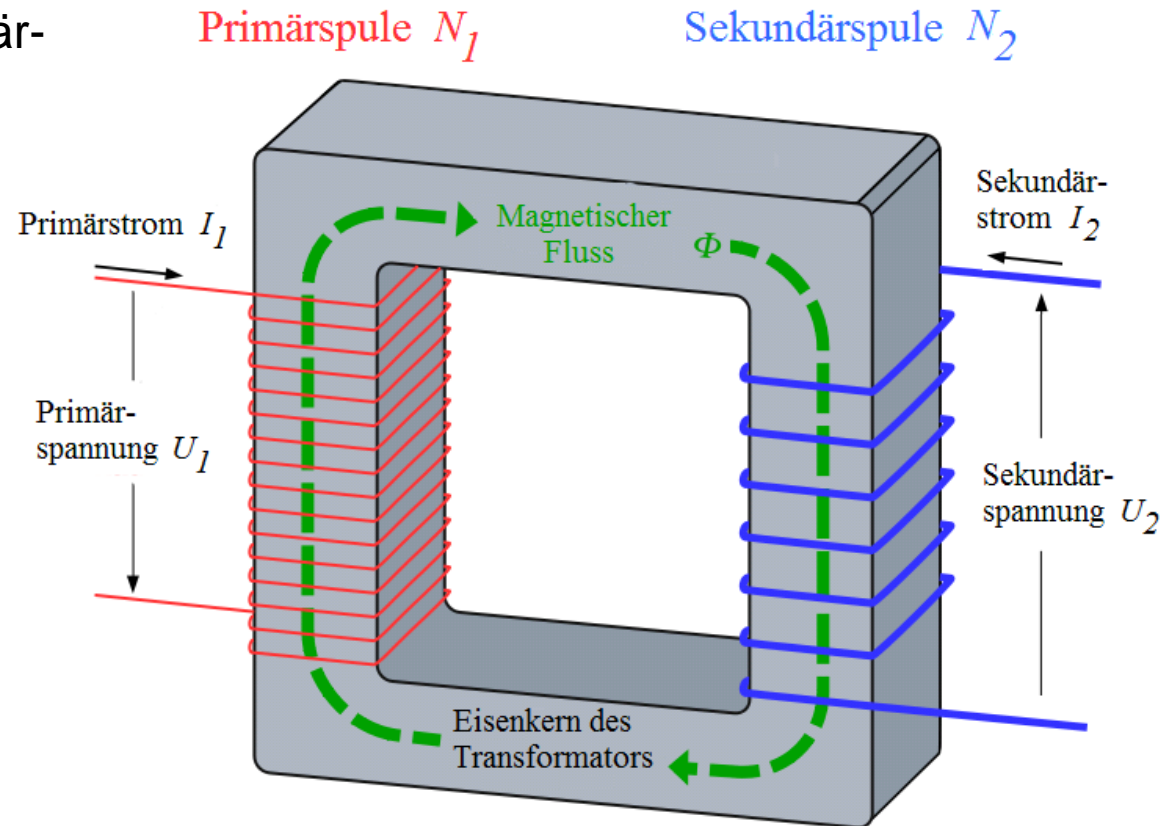


Aufbau eines Transformators

Eine Wechselspannung auf der Primärseite des Transformators erzeugt aufgrund der elektromagnetischen Induktion einen wechselnden magnetischen Fluss im Kern.

Der magnetische Fluss wiederum induziert auf der Sekundärseite des Transformators eine Spannung (Spannungstransformation).

Ein Wechselstrom in der Sekundärwicklung bewirkt dem Ampereschen Gesetz entsprechend einen Wechselstrom in der Primärwicklung (Stromtransformation).



Der ideale Transformator

Der ideale Transformator hat einen Wirkungsgrad von 100%.

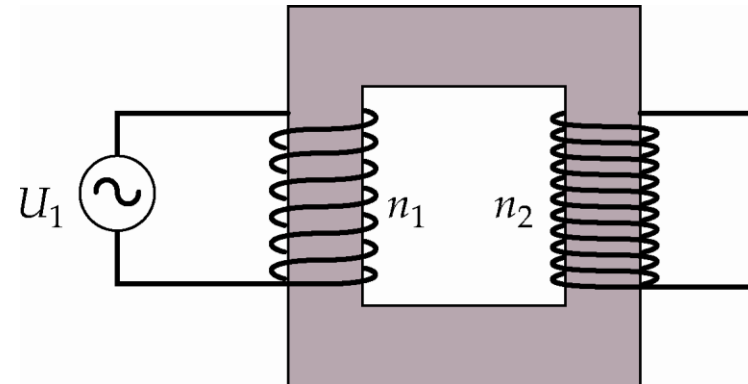
$$U_1 = -n_1 \frac{d\Phi_{mag}}{dt}$$

$$U_2 = -n_2 \frac{d\Phi_{mag}}{dt}$$

$$U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$$

$$n_1 I_1 = -n_2 I_2$$

$$U_{1,eff} \cdot I_{1,eff} = U_{2,eff} \cdot I_{2,eff}$$



Der reale Transformator

Ideale Transformatoren sind praktisch nicht realisierbar. Ein realer Transformator unterscheidet sich folgendermaßen vom idealen Transformator:

- die Wicklungen haben Widerstände und eine Kapazität;
- im Eisenkern treten Wirbelstromverluste auf;
- die Ummagnetisierung des Kerns verbraucht Energie;
- nicht der gesamte magnetische Fluss Φ , der die Primärwicklungen durchströmt, führt auch durch die Sekundärwicklungen, es treten vielmehr Streuflüsse auf;
- die Permeabilität des Kerns hängt von der Frequenz und der Stärke des Magnetflusses ab;
- die Sättigungseffekte des Kerns führen dazu, dass die Induktivität der Primärwicklungen nicht konstant ist, sondern vom Primärstrom abhängt;
- der Kern ändert aufgrund der Magnetostriktion in geringem Maß seine Form, wenn sich das Magnetfeld ändert.

Dementsprechend hat ein realer Transformator einen Wirkungsgrad von $< 100\%$.

Transport elektrischer Energie

Ein wichtiger Anwendungsbereich für Transformatoren ist der Transport elektrischer Energie. Die Leitungsverluste in Form von Joulscher Wärme ($R \cdot I^2$) lassen sich minimieren, wenn die Spannung möglichst hoch und die Stromstärke möglichst gering ist.

Die in der Energieübertragung üblichen und beispielhaften Nennspannungen sind:

- Mittelspannung von 3 kV, 6 kV, 10 kV, 15 kV, 20 kV, 30 kV
Anwendungsbereiche liegen bei Großabnehmern wie Industriebetrieben und der Versorgung von einzelnen Stadtteilen oder mehreren Ortschaften.
- Hochspannung von 60 kV, 110 kV
Anwendungsbereiche sind die Versorgung kleinerer Städte und die Überlandversorgung. Auch der Anschluss kleinerer Kraftwerke erfolgt in dieser Spannungsebene.
- Höchstspannung von 220 kV, 380 kV, 500 kV, 700 kV, 1150 kV
Dienen der Großraumversorgung, Verbundnetzen zum überregionalen Energieaustausch, Anschluss von Großkraftwerken

Die Netzspannung

Die Spannung 230 V wurde in der internationalen Norm IEC 60038:1983 als Standardnetzspannung festgelegt. Bis 1987 betrug die Netzspannung in Deutschland 220 V mit einer Toleranz von $\pm 10\%$. Danach erfolgte zunächst eine Umstellung in mehreren Abstufungen auf 230 V $+6\%$ und -10% . Von 2009 an darf die Netzspannung von 230 V um $\pm 10\%$ abweichen. Daher sind 207 Volt bis 253 Volt in der Toleranz möglich.

Die Erhöhung der Spannung um etwa 5 % führt zu einer Erhöhung des Energieverbrauches bei vielen Geräten. Bei Geräten, deren Funktion auf dem Ohmschen Widerstand beruht, steigt der Verbrauch quadratisch im Verhältnis zum Spannungsanstieg, also um etwa 10 %. Bei Glühlampen ist diese Erhöhung auf Grund der üblichen Kaltleiter-Charakteristik der Glühfäden etwas geringer.

In den USA und weiten Teilen des amerikanischen Kontinents beträgt der Nennwert der Netzwechselspannung zwischen 110 und 120 Volt. Für größere Verbraucher wie Klimaanlage sind auch 240 V gebräuchlich. Die Nennfrequenz beträgt dort und auch in Südamerika 60 Hz mit Ausnahme von Argentinien und Chile. Die häufig angegebenen 120 Volt sind ein gerundeter Wert.

Der Stromkrieg

Der Stromkrieg (engl.: war of currents) war ein Streit zwischen Thomas Alva Edison und George Westinghouse um 1890, ob die von Edison favorisierte Gleichspannung oder Wechselspannung die geeignetere Technik für die großflächige Versorgung der Vereinigten Staaten von Amerika mit elektrischer Energie ist. Dabei ging es im Kern um Marktanteile für ihre jeweiligen Elektrofirmen Edison General Electric und Westinghouse Electric. Bei dem Stromkrieg handelte sich um die erste wirtschaftliche Auseinandersetzung um eine technische Standard-Lösung der Industriegeschichte.

Edisons Vorschlag beruhte auf Gleichspannung mit 110 V. Diese ließ sich jedoch nicht weit transportieren und deshalb hätte in jedem Stadtviertel ein kleines Kraftwerk stehen müssen. Edison beabsichtigte, das komplette Land auf diese Weise mit Elektrizität zu versorgen. Als George Westinghouse auf diese Pläne aufmerksam wurde, erkannte er bald die Probleme, die sich aus der Verwendung der Gleichspannung ergaben. Bei seiner Forschung fand er heraus, dass sich Wechselspannung besser für die Energieversorgung eignet.

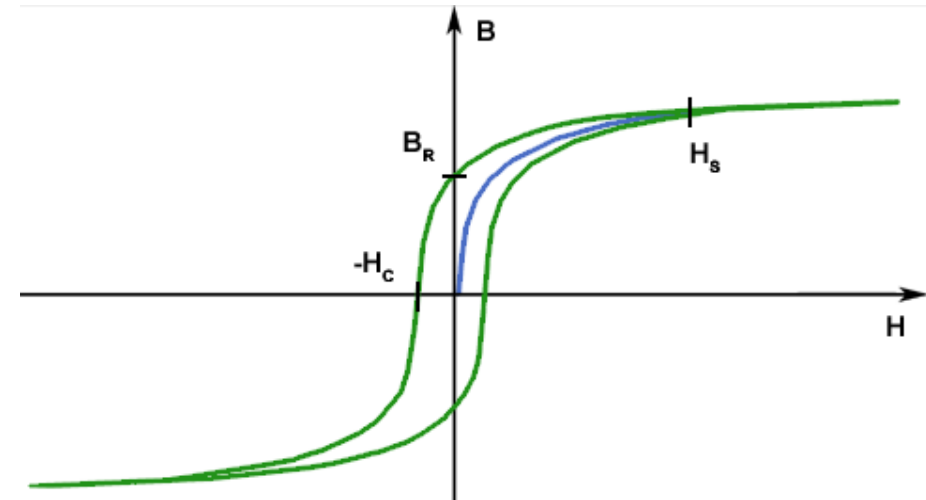
Die Unternehmen von Westinghouse bekamen 1892 den prestigeträchtigen Auftrag der Lieferung ihres Wechselspannungssystems und einer großen Anzahl einer von ihnen neu entwickelten Glühlampe für die Weltausstellung in Chicago 1893, die auch die 400-Jahr-Feier der Entdeckung Amerikas durch Columbus war. Damit war Edison in dem Streit unterlegen, der Markt hatte sich für die technischen Vorteile des Wechselspannungssystems entschieden.

Sättigungsmagnetisierung

Unter Sättigungsmagnetisierung versteht man jene Magnetisierung, bei der in einem meist ferromagnetischen Stoff eine Erhöhung der äußeren magnetischen Feldstärke H keine Erhöhung der Magnetisierung des Stoffes mehr bewirkt. Dieser hat einen konstanten, material-spezifischen „Sättigungswert“ erreicht.

Eine besonders gute Leitfähigkeit für den magnetischen Fluss Φ ist die wesentliche Eigenschaft vor allem ferromagnetischer

Werkstoffe wie beispielsweise Weicheisen, Dynamoblech oder bestimmter Ferrite. Dies begründet den Einsatz dieser Werkstoffe, wo es auf die räumliche Führung von magnetischen Flüssen ankommt, beispielsweise in Eisenkernen von Transformatoren. Durch eine Steigerung der magnetischen Flussdichte in diesen Materialien wird der Bereich der Sättigungsmagnetisierung erreicht, wo es zu einem starken Abfall der magnetischen Leitfähigkeit kommt. Die magnetische Sättigung ist bei diesen technischen Anwendungen daher meist unerwünscht.



Transformatorhauptgleichung für sinusförmige Spannung

$$U = \frac{2\pi \cdot f \cdot N \cdot A \cdot B}{\sqrt{2}} \approx 4,44 \cdot B \cdot A \cdot f \cdot N$$

U ist die effektive Spannung, ***B*** die magnetische Flussdichte im Kern, ***A*** die Querschnittsfläche des Kerns, ***f*** die Frequenz und ***N*** die Windungszahl.

Die Transformatorhauptgleichung kann beispielsweise verwendet werden, um bei einem bestimmten Transformator mit bekannter Sättigungsmagnetisierung und gegebener Betriebsfrequenz die maximale Primärspannung zu ermitteln, bei der das Kernmaterial gerade noch nicht in Sättigung geht. Soll der Transformator mit einer höheren Spannung betrieben werden, lässt sich aus der Gleichung ablesen, welche Windungszahl und welcher Kernquerschnitt erforderlich sind. Da die Kupferverluste gering gehalten werden müssen, kann die Windungszahl nicht beliebig erhöht werden. Transformatoren sind daher um so größer, je höher die Eingangsspannung ist. Andererseits können Größe und damit Gewicht eingespart werden, wenn mit höherer Betriebsfrequenz gearbeitet wird. Dies ist der Grund für die geringe Größe von Schaltnetzteilen.

Schaltnetzteil

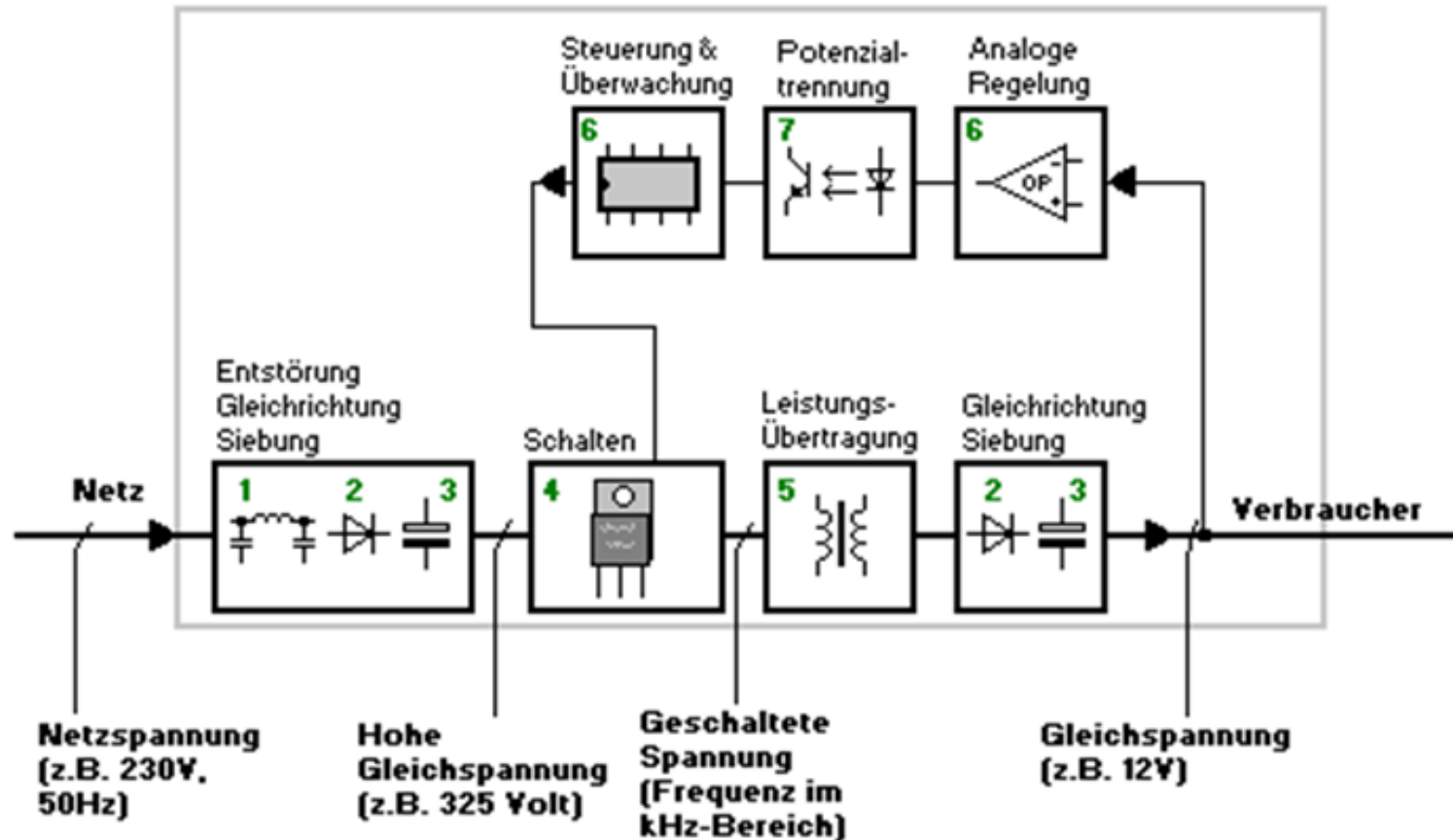
Bei Schaltnetzteilen wird die Netzspannung zunächst gleichgerichtet, anschließend (um sie zu transformieren) wieder in eine Wechselspannung wesentlich höherer Frequenz umgewandelt und schließlich wieder gleichgerichtet. Die Verwendung von Hochfrequenz anstelle der üblichen Netzfrequenz ermöglicht bei gleicher Leistung einen wesentlich kleineren und damit leichteren Transformator und kleinere Siebglieder zur Glättung der vom entsprechenden Gerät benötigten Gleichspannung.

Die Transformatorkerne von Schaltnetzteilen werden zur Verringerung der Hysterese- und Wirbelstromverluste meist aus Ferrit (ferromagnetische Keramik) oder aus Eisenpulver gefertigt. Auch die Wicklungen werden bei höheren Frequenzen wegen des Skineffektes häufig als flaches Kupferband oder mittels Hochfrequenzlitze (parallelgeschaltete gegeneinander isolierte dünne Drähte) ausgeführt.

Ein zur Übertragung von 4000 Watt geeigneter Transformator wiegt beispielsweise:

- bei 50 Hz etwa 25 kg
- bei 125 kHz dagegen nur 0,47 kg.

Schaltnetzteil



Legende:

- 1 = Netzfilter (z.B. Drosselspule, X- und Y-Kondensatoren)
- 2 = Gleichrichter (z.B. Brückengleichrichter oder einzelne Dioden)
- 3 = Glättungskondensator
- 4 = Leistungstransistor (z.B. "starker" MOSFET)
- 5 = Übertrager ("Trafo")

- 6 = Steuerelektronik
- 7 = Optokoppler

Steckernetzteile im Größenvergleich



Links Schaltnetzteil mit 20 Watt, rechts konventionell mit 3,6 Watt Ausgangsleistung

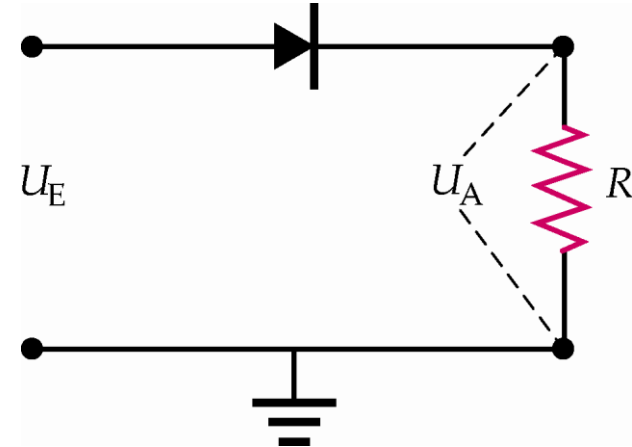
Aufgaben

1. Eine Türklingel, mit einer effektiven Wechselspannung von 6,0 V betrieben, benötigt eine effektive Stromstärke von 4,00 A. Sie ist mit einem Transformator verbunden, dessen Primärspulen (mit 2000 Windungen) an das Haushaltsstromnetz (230 V Wechselspannung) angeschlossen ist.
 - a) Wie viele Windungen sollte die Sekundärspule haben?
 - b) Geben Sie die Stromstärke der Primärspule an.

2. Eine Überlandleitung habe einen Ohmschen Widerstand von 0,02 Ω /km. Welcher Leitungsverlust tritt auf, wenn 200 kW elektrischer Leistung aus einem 10 km entfernten Kraftwerk mit einer Spannung (Effektivwerte) von
 - a) 230 V und
 - b) 4,4 kV zum Verbraucher transportiert werden?Die Leistung kann nicht verschwinden. Was passiert mit den Leitungsverlusten?

Aufgaben

3. Die Abbildung zeigt einen Gleichrichter, der eine Wechselspannung in eine pulsierende Gleichspannung umwandelt. Die Diode können Sie sich wie ein „Einwegventil“ für den Strom vorstellen: Es fließt nur dann ein Strom in Pfeilrichtung; wenn gilt $U_E - U_A \geq +0,6 \text{ V}$, andernfalls geht der Widerstand der Diode gegen unendlich.



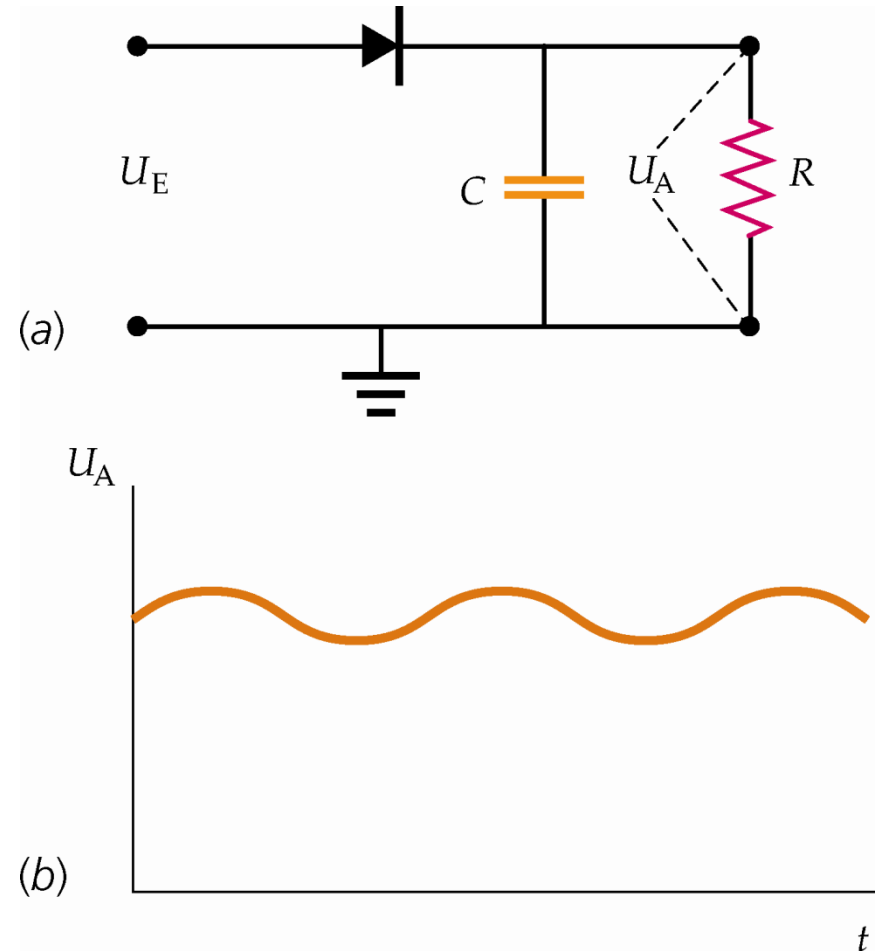
Zeichnen Sie die Zeitlichen Verläufe von U_E und U_A gemeinsam in ein Koordinatensystem (jeweils zwei Perioden) für ein Eingangssignal $U_E = U_{max} \cdot \cos \omega t$.

Aufgaben

4. Das Ausgangssignal des besprochenen Gleichrichters kann man durch Nachschaltung eines Tiefpassfilters glätten. So erhält man eine Gleichspannung mit nur noch geringfügigen zeitlichen Schwankungen (Abbildung b).

a) Gegeben ist die Frequenz $\nu = 60 \text{ Hz}$ des Eingangssignals sowie $R_L = 1 \text{ k}\Omega$. Wie groß muss C sein, damit das Ausgangssignal im Laufe einer Periode um weniger als 5% seines Mittelwerts schwankt?

b) Angenommen, es würde sich um die Glättung der Spannung eines Schaltnetzteils mit der Frequenz von 120 kHz handeln. Wie groß muss C dann sein, damit die Spannung um weniger als 5% schwankt?



Literatur und Quellen

Paul A. Tipler, Gene Mosca: Physik für Wissenschaftler und Ingenieure, Spektrum Akademischer Verlag, August 2009

<http://de.wikipedia.org/>



Hochschule Deggendorf – Edlmairstr. 6 und 8 – 94469 Deggendorf