




Physik für Infotronik (18)

Gerald Kupris

09.12.2015

Vorlesungen Physik WS2015/16

25.11.2015	Vorlesung 13	Das elektrische Feld
25.11.2015	Vorlesung 14	Ladungsverteilung und elektrisches Potenzial
02.12.2015	Vorlesung 15	Die Kapazität
02.12.2015	Vorlesung 16	Das Magnetfeld
09.12.2015	Vorlesung 17	Quellen des Magnetfelds
 09.12.2015	Vorlesung 18	Die magnetische Induktion
16.12.2015	Vorlesung 19	Magnetische Induktion und Transformatoren
16.12.2015	Vorlesung 20	Elektromagnetische Wellen
23.12.2015	vorlesungsfrei	
13.01.2016	Vorlesung 21	Aufbau von Festkörpern
13.01.2016	Vorlesung 22	Leiter und Halbleiter
20.01.2016	Vorlesung 23	Wiederholung und Prüfungsvorbereitung
20.01.2016	Vorlesung 24	Wiederholung und Prüfungsvorbereitung

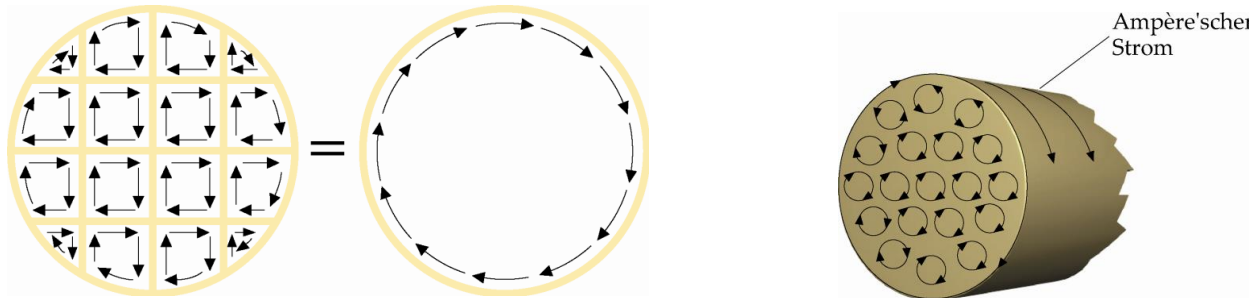
Magnetisierung der Materie

Bringt man einen Stoff in ein starkes Magnetfeld (etwa im Inneren einer stromdurchflossenen Spule), so werden die magnetischen Momente im Inneren des Materials ausgerichtet - das Material wird magnetisiert.

Die charakteristische Messgröße hierfür ist die Magnetisierung **M** , definiert als das resultierende magnetische Moment pro Volumeneinheit:

$$M = \frac{d\mu}{dV}$$

Ampere führte die Magnetisierung auf mikroskopische Kreisströme im Inneren des Stoffs zurück. Inzwischen wissen wir, dass diese Kreisströme als das klassische Modell für die Bahnbewegungen und die Spins der Elektronen in den Atomen gelten können.



Überlagerung der Magnetfelder

Bringt man einen Stoff in ein starkes Magnetfeld (etwa im Inneren einer stromdurchflossenen Spule), so überlagert sich das äußere und das innere Magnetfeld.

Innerhalb der Spule setzt sich das resultierende Magnetfeld dann aus dem Feld der Spule selbst und dem Feld des magnetisierten Materials zusammen:

$$B_{res} = B_{aus} + B_{mag}$$

$$B_{mag} = \mu_0 \cdot M$$

$$B_{res} = B_{aus} + \mu_0 \cdot M$$

M = Magnetisierung, **B_{mag}** = Magnetfeld im Inneren des Materials, **B_{aus}** = Feld der Spule

Für paramagnetische und ferromagnetische Materialien sind **M** und **B_{aus}** gleich gerichtet, für diamagnetische Materialien sind **M** und **B_{aus}** entgegengesetzt.

Magnetisierung und magnetische Suszeptibilität

Bei paramagnetischen und diamagnetischen Stoffen ist die Magnetisierung proportional zu dem anliegenden, die Ausrichtung der Dipole bewirkenden Feld.

$$M = \chi_{mag} \cdot H_{aus} = \chi_{mag} \cdot \frac{B_{aus}}{\mu_0}$$

Die magnetische Suszeptibilität χ_{mag} (v. lat. susceptibilitas „Übernahmefähigkeit“) ist eine physikalische Größe, die die **Magnetisierbarkeit** von Materie in einem externen Magnetfeld angibt. Im einfachsten Fall ist sie eine Proportionalitätskonstante, bestimmt durch das Verhältnis von Magnetisierung zu magnetischer Feldstärke.

Im Allgemeinen ist sie eine Funktion, die von einer Vielzahl von Variablen abhängen kann – insbesondere vom Ort, der Frequenz des Magnetfeldes und der vorhergehenden Magnetisierung. Der Wertebereich reicht von -1 bis nahezu unendlich, wobei negative Werte eine Magnetisierung entgegen dem äußeren Magnetfeld bedeuten.

Magnetische Permeabilität

Die magnetische **Permeabilität** μ (auch magnetische Leitfähigkeit oder absolute Permeabilität) bestimmt die Durchlässigkeit von Materie für magnetische Felder. Sie ist eine abgeleitete SI-Größe mit enger Verwandtschaft zur magnetischen Suszeptibilität.

Anders ausgedrückt heißt das Verhältnis der magnetischen Flussdichte \mathbf{B} zur magnetischen Feldstärke \mathbf{H} Permeabilität.

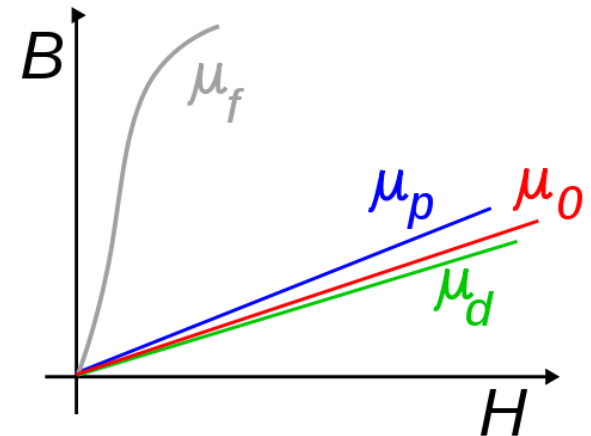
$$B_{res} = B_{aus} + \mu_0 \cdot M$$

$$B_{res} = B_{aus} \cdot (1 + \chi_{mag})$$

$$B_{res} = \mu_{rel} \cdot B_{aus}$$

$$\mu_{rel} = 1 + \chi_{mag}$$

$$B_{res} = \mu_0 \cdot (M + H) = \mu_0 \cdot H \cdot (1 + \chi_{mag}) = \mu_0 \cdot \mu_{rel} \cdot H$$



Magnetische Materialien

Diamagnetische Materialien

$$\chi_{mag} < 0$$

$$\mu_{rel} < 1$$

Paramagnetische Materialien

$$\chi_{mag} > 0$$

$$\mu_{rel} > 1$$

Ferromagnetische Materialien

$$\chi_{mag} \gg 0$$

$$\mu_{rel} \gg 1, \text{ kann zwischen } 5000 \text{ und } 100000 \text{ liegen.}$$

χ_{mag} : magnetische Suszeptibilität

μ_{rel} : magnetische Permeabilität

Material	χ_{mag}
Vakuum	0
Wasser	$-9,035 \cdot 10^{-6}$
Aluminium	$2,3 \cdot 10^{-5}$
Bismut	$-1,66 \cdot 10^{-5}$
Diamant	$-2,2 \cdot 10^{-5}$
Magnesium	$1,2 \cdot 10^{-5}$
Wolfram	$6,8 \cdot 10^{-5}$
Wasserstoff	$-9,9 \cdot 10^{-9}$
Stickstoff	$-5,0 \cdot 10^{-9}$
Sauerstoff	$2,09 \cdot 10^{-6}$

Diamagnetische Materialien ($\chi_{mag} < 0$, $\mu_{rel} < 1$)

Diamagnetismus ist eine Form des Magnetismus. Diamagnetisch nennt man Materialien, die die Tendenz haben, aus einem Magnetfeld herauszuwandern, bzw. bei denen die Dichte der Feldlinien eines extern angelegten Magnetfeldes in der Probe abnimmt.

1778 beobachtete Brugmans, dass bestimmte Materialien von Magnetfeldern abgestoßen wurden. Der Ausdruck „Diamagnetismus“ stammt jedoch von Michael Faraday. Er prägte ihn 1845, als er erkannte, dass alle Materialien in der Natur eine Form einer diamagnetischen Antwort auf ein äußeres Magnetfeld besitzen.

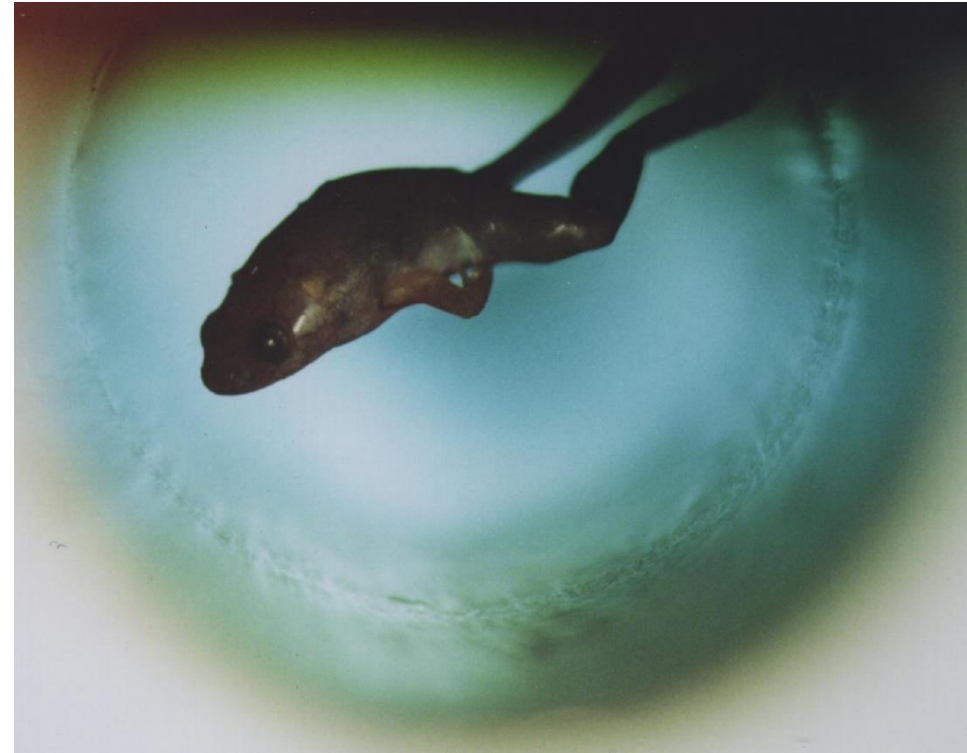
Jedes Material ist diamagnetisch. Weil die diamagnetischen Effekte aber sehr schwach sind, insbesondere schwächer als der Paramagnetismus und um Größenordnungen schwächer als der Ferromagnetismus, treten sie nur bei solchen Materialien messbar auf, die weder para- noch ferromagnetisch sind. Man bezeichnet solche Stoffe dann als diamagnetisch.

Diamagnetische Materialien besitzen eine magnetische Suszeptibilität χ_m kleiner als 0 bzw. dementsprechend eine relative Permeabilität μ_R kleiner als 1.

Diamagnetische Levitation

Durch den Effekt des Herauswanderns aus einem Magnetfeld ist es möglich, bei einem genügend starkem Magnetfeld (etwa 15 T im Labor), Wasser und sogar Lebewesen schweben zu lassen.

Diesen Effekt nennt man auch diamagnetische Levitation; bekannt wurden vor allem Versuche mit einem schwebenden Frosch, einer Spinne und diversen Materialien. Damit sind die überzeugendsten Simulationen der Schwerelosigkeit unter Einwirkung des Gravitationsfeldes der Erde möglich.

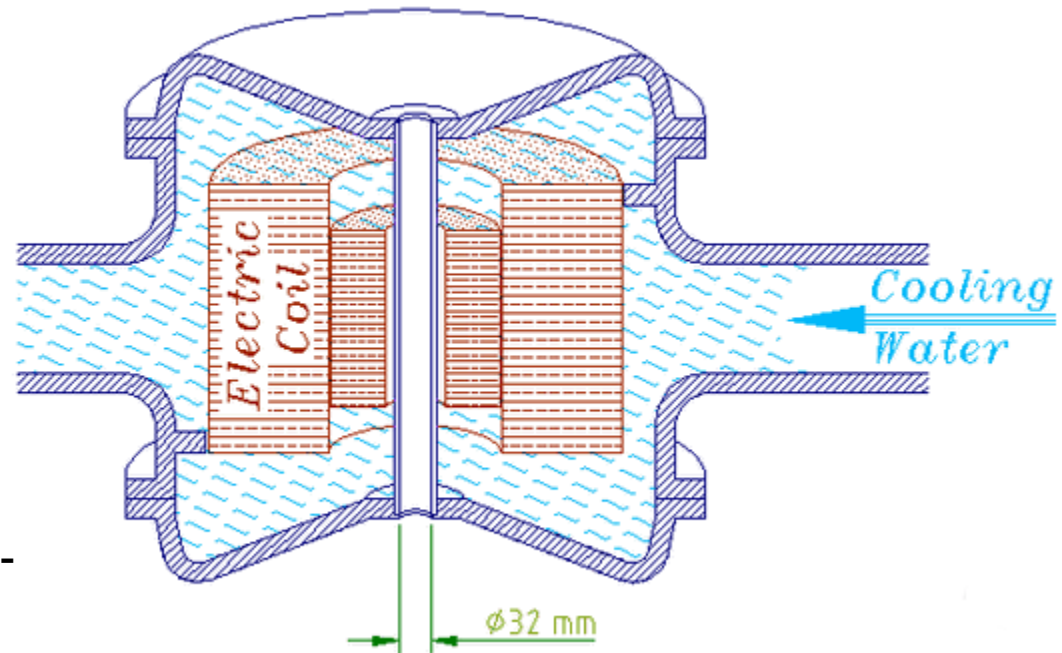


Beispiel: schwebender Frosch im Magnetfeld von etwa 16 Tesla im der inneren Bohrung (\varnothing 32 mm) eines Bittermagneten im Nijmegen High Field Magnet Laboratory.

Bittermagnet

Bittermagnet (benannt nach seinem Entwickler am National Magnet Laboratory des MIT Francis Bitter), bestehend aus einem Stapel von etwa 250 Leiter- und Isolatorplatten, durch Wasserkühlung Felder bis 20 Tesla im Dauerbetrieb, bis zu 100 Tesla im Impulsbetrieb erreichbar

Ein Magnetfeld von 20 Tesla entspricht etwa dem 400.000-fachen des Erdmagnetfelds.



Der Bittermagnet im Nijmegen High Field Magnet Laboratory besteht aus zwei konzentrischen elektrischen Spulen. Diese werden mit einer Leistung von 6 MW (20 kA, 300V) betrieben. Die äußere Spule besteht aus 128 Windungen (aus jeweils 3 bis 4 Kupferplatten). Die innere Spule hat 86 Windungen. Der Magnet wird mit Wasser von etwa 10 °C bei einem Fluß von 300 m³/h und einem inneren Druck von 12 bar (120 kPa) gekühlt.

Paramagnetismus ($\chi_{mag} > 0$, $\mu_{rel} > 1$)

Paramagnetismus ist eine Ausprägungsform von Magnetismus in Materie. Ein Paramagnet magnetisiert sich in einem externen Magnetfeld so, dass er das Magnetfeld in seinem Innern verstärkt. Die Magnetisierung ist proportional zur magnetischen Feldstärke; der Faktor wird durch die magnetische Suszeptibilität bestimmt.

Paramagnetismus tritt in allen Materialien auf, deren Atome bzw. Moleküle ein magnetisches Moment besitzen. In der Physik werden alle Materialien mit positiver magnetischer Suszeptibilität und ohne magnetische Ordnung als paramagnetisch klassifiziert.

Ursache eines paramagnetischen Verhaltens liegt in der Ausrichtung der mikroskopischen magnetischen Momente eines Stoffes in einem Magnetfeld. Die einzelnen magnetischen Momente sind dabei voneinander unabhängig. Im Unterschied zu Ferromagneten wird eine solche Ausrichtung nach Abschalten des Magnetfeldes durch thermische Fluktuationen sofort wieder zerstört. Die Magnetisierung **M** des Stoffes ist proportional zum angelegten Magnetfeld **H** .

$$M = \chi H$$

Ferromagnetismus ($\chi_{mag} \gg 0$, $\mu_{rel} \gg 1$)

Ein Material wird „ferromagnetisch“ genannt, wenn es in einem externen Magnetfeld selbst eine Magnetisierung zeigt. Die Elementarmagnete richten sich entsprechend diesem Magnetfeld aus. Die beiden Magnetfelder haben die gleiche Ausrichtung, daher entsteht zwischen dem Gegenstand und dem Magneten eine magnetische Anziehungskraft. Ein ferromagnetisches Material wird aus diesem Grund sowohl von magnetischen Nordpolen als auch von Südpolen angezogen.

Die bekanntesten ferromagnetischen Stoffe bei Raumtemperatur sind Eisen, Kobalt und Nickel. Die meisten anderen Metalle sind nicht ferromagnetisch und sind daher weder (in ferromagnetischer Weise) magnetisierbar, noch werden sie von einem Magneten angezogen, z. B. Aluminium, Kupfer, Messing, Silber, Gold.

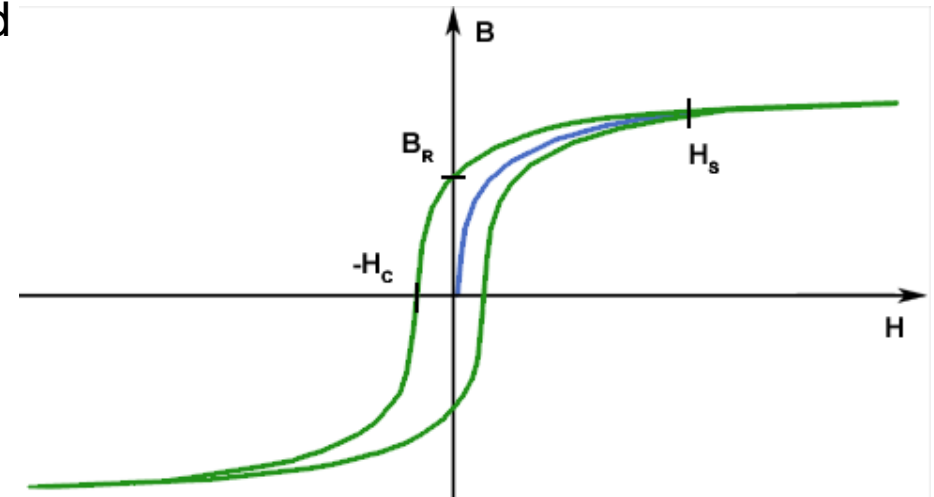
Ferromagnetische Werkstoffe weisen eine hohe Permeabilität mit $\mu_{rel} \gg 1$ auf. Dadurch werden die magnetischen Feldlinien gut im Vergleich zum umgebenden Material (etwa Luft mit $\mu_{rel} \approx 1$) geleitet. Dadurch finden ferromagnetische Werkstoffe etwa in Elektromagneten und Transformatoren Verwendung.

Ferromagnetismus und Remanenz

Ein wesentliches Charakteristikum der Ferromagneten ist die S-förmige Hysterese-Kurve, die entsteht, wenn man die Magnetisierung des Materials über dem von außen angelegten Magnetfeld aufträgt.

Im Normalfall verliert sich die Magnetisierung zum größten Teil sofort, wenn der Gegenstand wieder aus dem externen Magnetfeld entfernt wird. Lediglich ein kleiner Restmagnetismus bleibt zurück, die so genannte Remanenz.

Es gibt jedoch auch Materialien, bei denen diese Remanenz größer ist und eine dauerhafte (permanente) starke Magnetisierung erreicht werden kann. Solche ferromagnetischen Körper, z. B. aus gehärtetem Stahl, können zu Permanentmagneten magnetisiert werden, das heißt, eine deutliche erkennbare Magnetisierung annehmen.



$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M}) = \mu\vec{H}$$

Beispiel: magnetische Datenspeicherung

Kernspeicher
Tonbandgerät
Festplatte
Kreditkarte

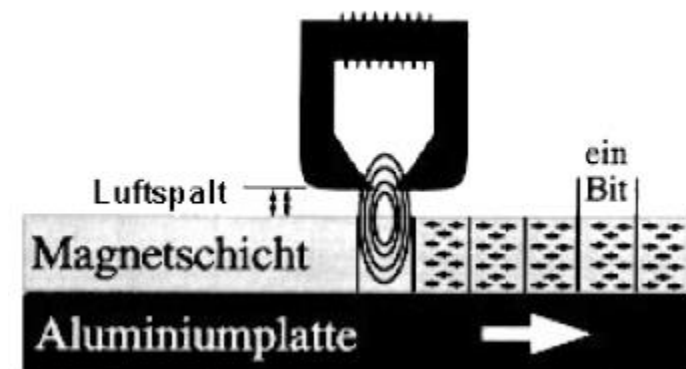
Eine Festplatte ist ein magnetisches Speichermedium der Computertechnik, welches binäre Daten auf die Oberfläche einer rotierenden, ferromagnetischen Scheibe schreibt.

Dazu wird die hartmagnetische Beschichtung der Plattenoberfläche entsprechend der aufzuzeichnenden Information magnetisiert. Durch die Remanenz erfolgt die Speicherung der Information.

Das Auslesen der Information erfolgt durch Abtastung der Magnetisierung der Plattenoberfläche mittels des Lesekopfes.



Schreib- Lesekopf



Speicherichte von Festplatten

Montag, 05. Januar 2009

Der Festplatten-Hersteller Seagate hat heute ein neues Speichermedium vorgestellt, dass auf der nächsten Platten-Generation basiert. Pro 3,5-Zoll-Scheibe liegt die Kapazität nun bei 500 Gigabyte.

Die Barracuda 7200.12 HD wird bereits ausgeliefert. In dem Speichermedium sind zwei der neuen Platten enthalten, die Gesamtkapazität liegt somit bei einem Terabyte. Man arbeite damit mit der höchsten derzeit verfügbaren Speicherichte von 329 Gigabit pro Quadratzoll, so Seagate.

$329 \text{ Gbit} / \text{inch}^2 = 547 \text{ bit} / \mu\text{m}^2$

Das entspricht $1828 \text{ nm}^2 / \text{bit}$ (etwa $43 \text{ nm} \times 43 \text{ nm}$ pro bit).

Ferrimagnetismus

Der Ferrimagnetismus (lat.: ferrum Eisen; von griech.: magnetis (lithos) Stein aus Magnesia) ist ein kooperatives, magnetisches Phänomen.

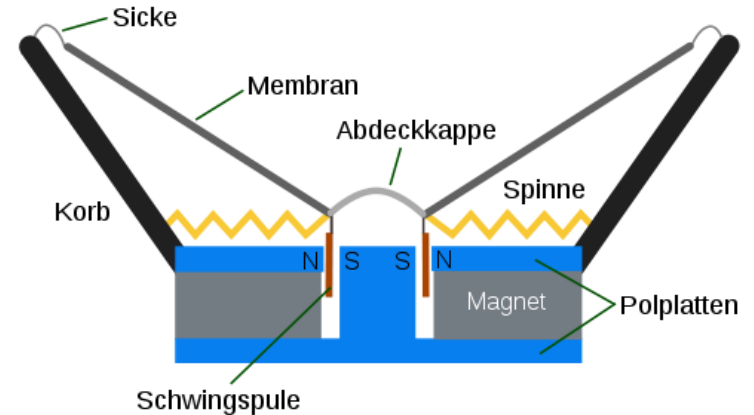
Beim Ferrimagnetismus sind die magnetischen Momente der Atome innerhalb gewisser Bereiche (Weiss'sche Bezirke) eines Kristalls abwechselnd antiparallel und parallel zueinander ausgerichtet. Im Gegensatz zum Antiferromagnetismus heben sie sich jedoch nicht gegenseitig auf, da eine der beiden Richtungen jeweils ein stärkeres Moment hat als die andere Richtung.

Die am häufigsten genutzte Material-Gruppe mit ferrimagnetischen Eigenschaften sind Ferrite, die man sich als Magnetite vorstellen kann, bei denen das zweiwertige Eisen durch ein anderes zweiwertiges Metallion (z.B. Kupfer, Nickel, Zink, Magnesium, Mangan) oder Mischungen von diesen ersetzt ist.

Zum Einsatz als Permanentmagnet sollen sie dagegen einen möglichst rechteckförmigen Verlauf der Hystereseschleife haben. Solche Magnete finden sich im Alltag als Haftmagnet oder Feldmagnet elektrodynamischer Lautsprecher.

Beispiel: Lautsprecher

Ein Lautsprecher ist ein Gerät, das niederfrequente elektrische Signale in Schall umwandelt. Dauermagnete mit ausreichender Kraft (magnetischer Induktion bzw. magnetischem Fluss) gab es zu Anfang des 20. Jahrhunderts noch nicht, und deshalb erzeugten damals Elektromagnete das erforderliche Magnetfeld. Der Engländer Paul G. A. H. Voigt zählt zu den Pionieren der Lautsprecher mit Permanentmagnet; nachdem er mit seiner 1927 gegründeten Firma Lowther Voigt Ltd. zunächst Schallwandler mit „Energized Magnet“ hergestellt hatte, präsentierte er im Jahr 1936 den ersten Prototypen eines Lautsprechers mit „Permanent Magnet“. Aber erst die Militärforschung des Zweiten Weltkriegs erbrachte leistungsfähige Magnetmaterialien aus Legierungen von Metallen, die ab 1945 die Lautsprecher mit Feldspule auf breiter Front verdrängten.



Der magnetische Fluss

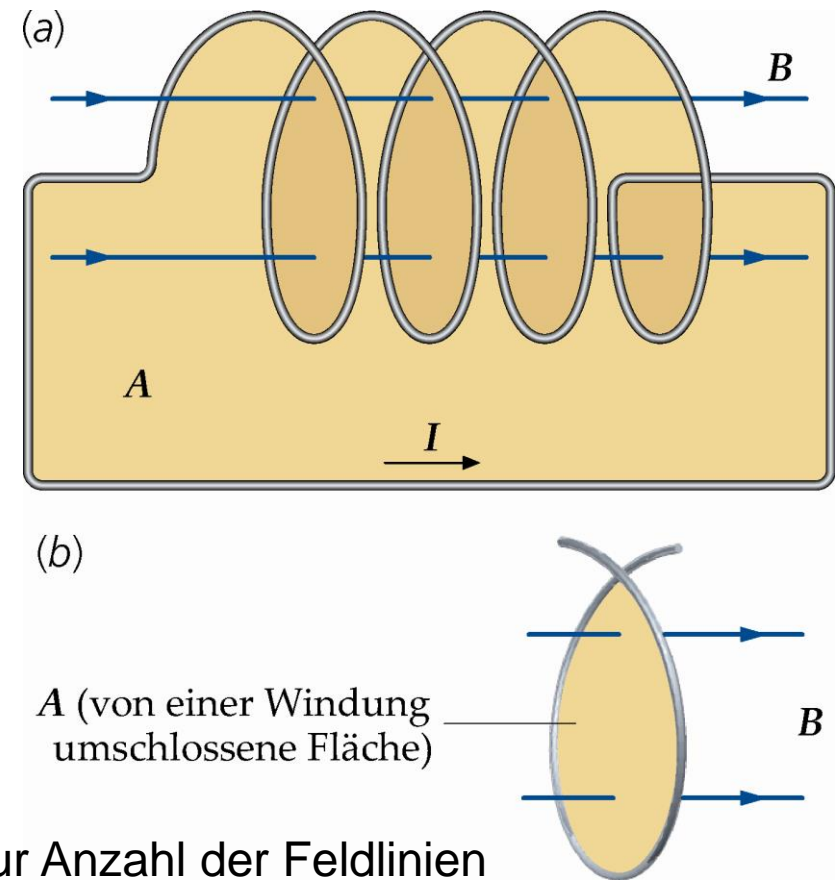
Den Fluss eines Vektorfeldes durch eine Fläche können wir analog zum elektrischen Fluss berechnen. Der magnetische Fluss durch A ist:

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

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:

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

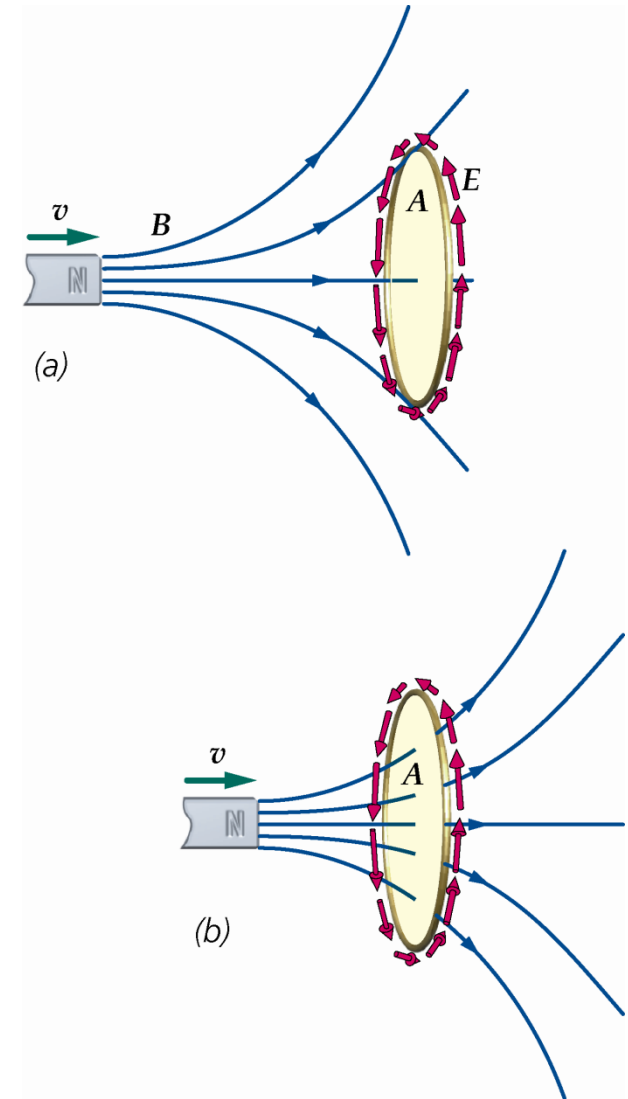
Induktionsspannung

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**.

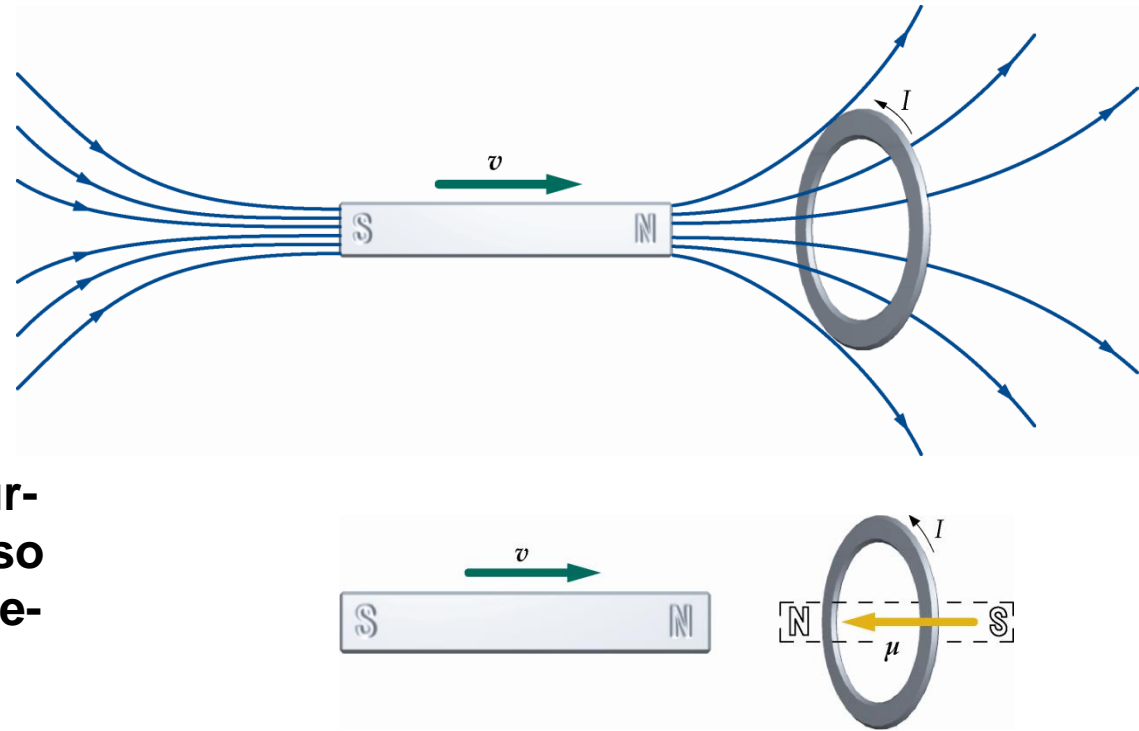


Die Lenzsche Regel

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

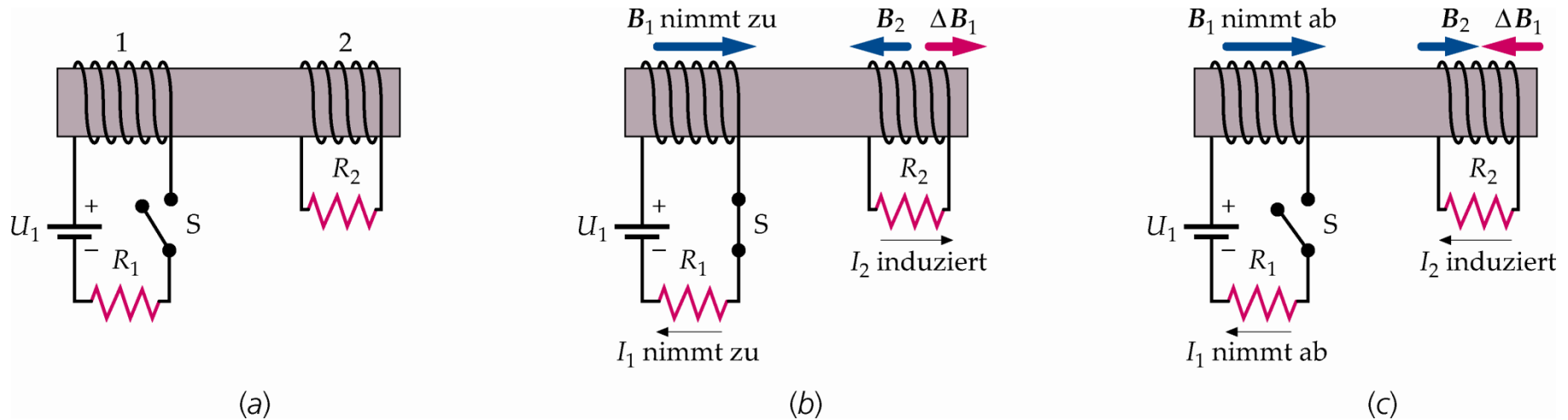


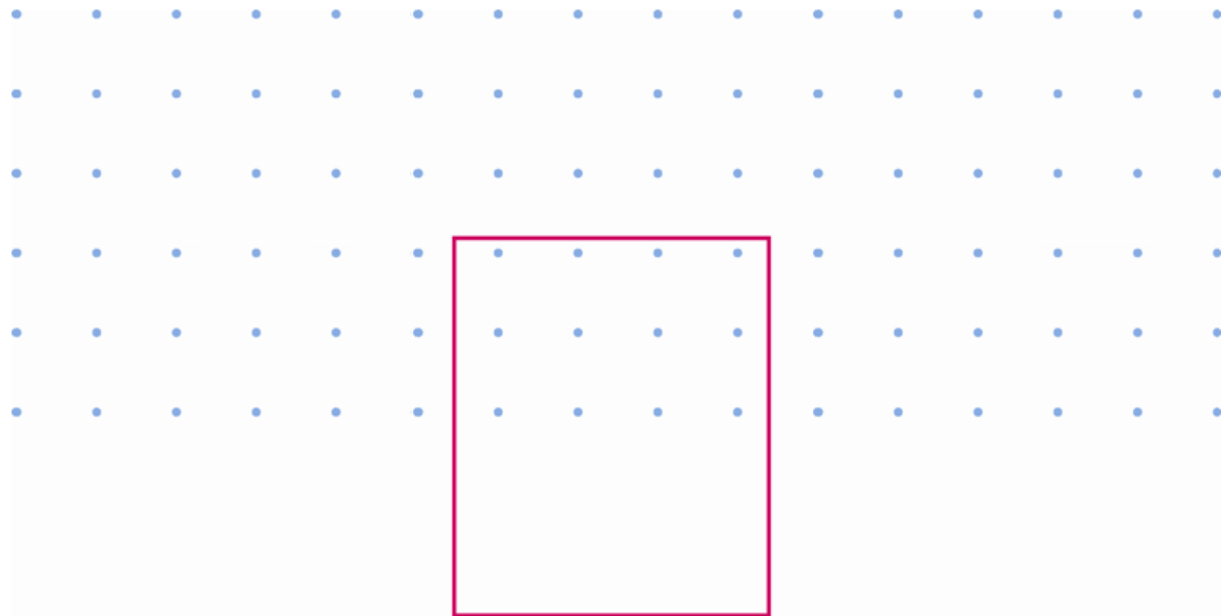
Abb. (b): Wird der Schalter geschlossen, so nimmt I_1 in der gezeigten Richtung zu. Der veränderliche magnetische Fluss durch die Spule von Kreis 2 induziert dort einen Strom I_2 . Dieser Strom erzeugt ein Magnetfeld, dass dem induzierten Fluss von I_1 entgegenwirkt.

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

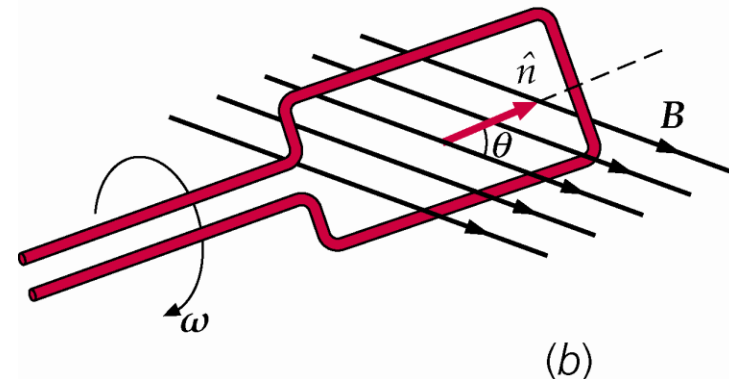
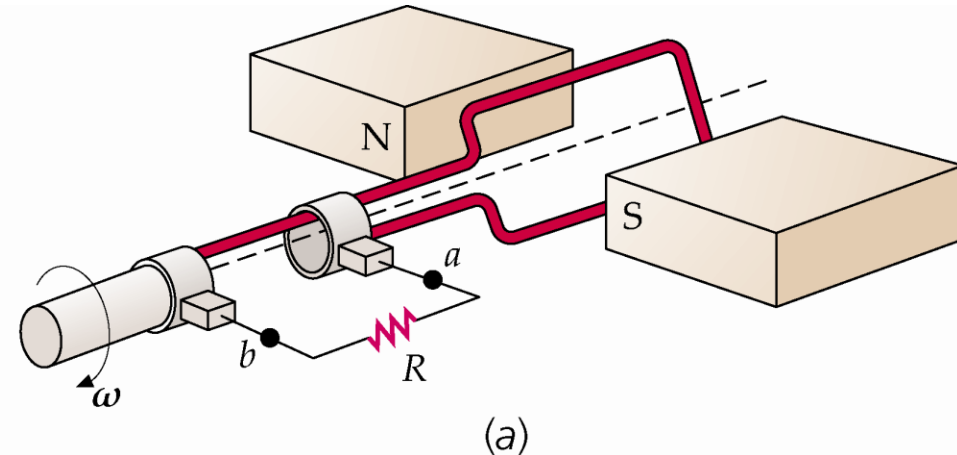
Rotiert die Spule mit konstanter Winkelgeschwindigkeit ω in einem statischen äußeren Magnetfeld B , so wird eine sinusförmige Spannung induziert.

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

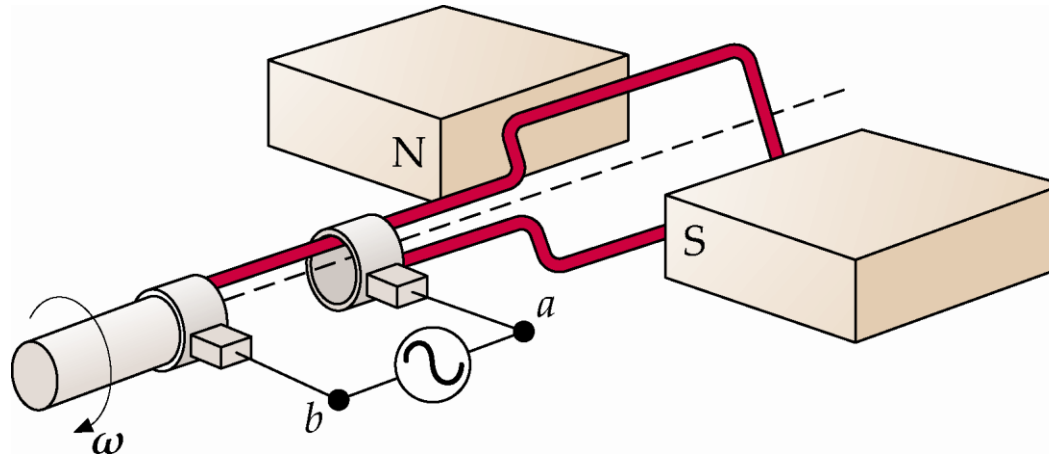
Über Schleifringe wird die Energie an Bürsten und damit an einen äußeren Stromkreis abgegeben.

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: $U_{ind,max} = n \cdot B \cdot A \cdot \omega$



Wechselstrommotor

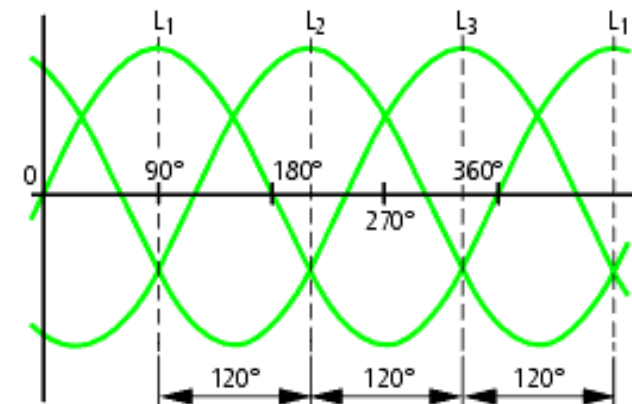
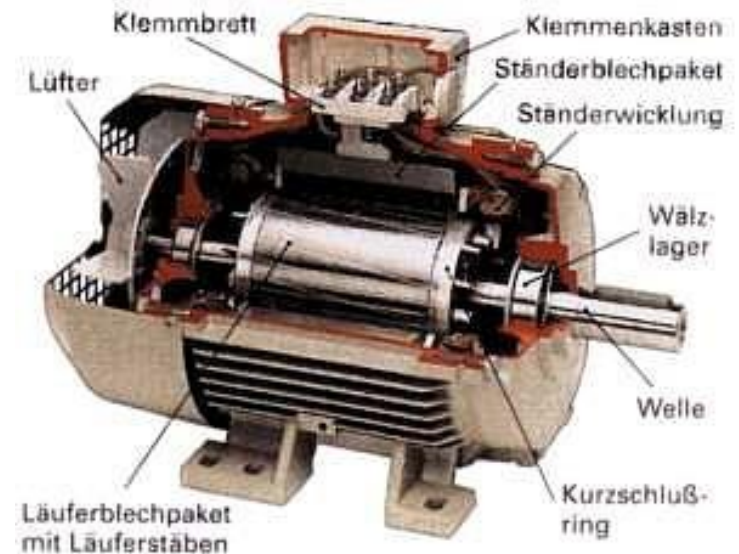


Wird der Spule eine Wechselspannung zugeführt, so arbeitet sie als Motor. Durch die Drehung der Spule wird eine Spannung induziert, die dem Strom entgegen wirkt.

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.

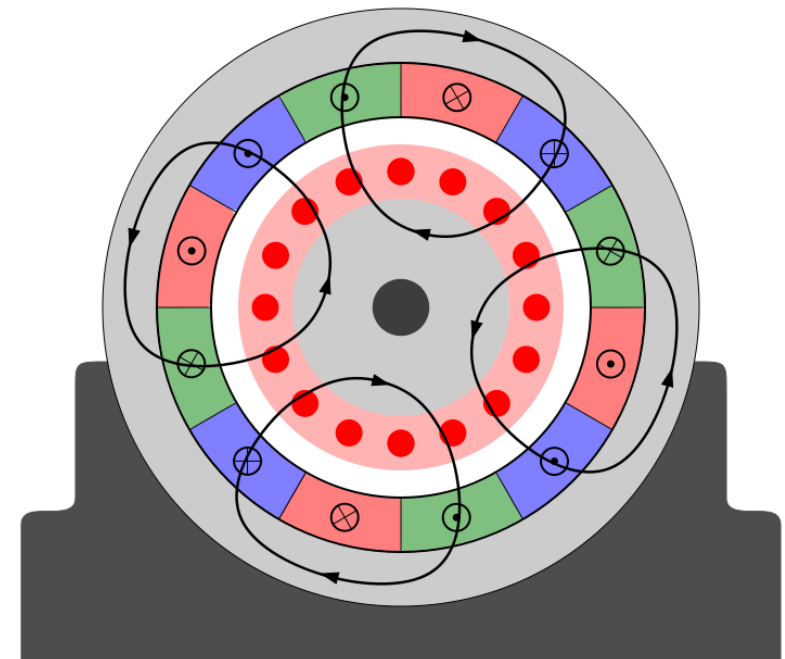
Beim Drehstrommotor-Asynchronmotor sind drei Wicklungsstränge, um je $120^\circ/p$ (p = Polpaarzahl) gegeneinander versetzt, angeordnet. Durch Aufschalten einer drei-phasigen, um je 120° zeitlich verschobenen, Wechselspannung wird im Motor ein Drehfeld erzeugt.



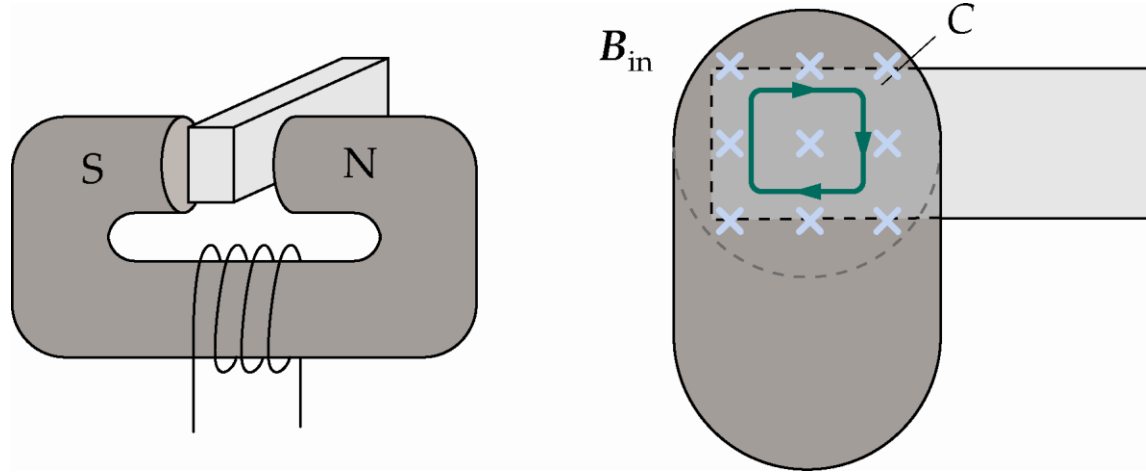
Drehstrom-Asynchronmotor (2)

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.



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.

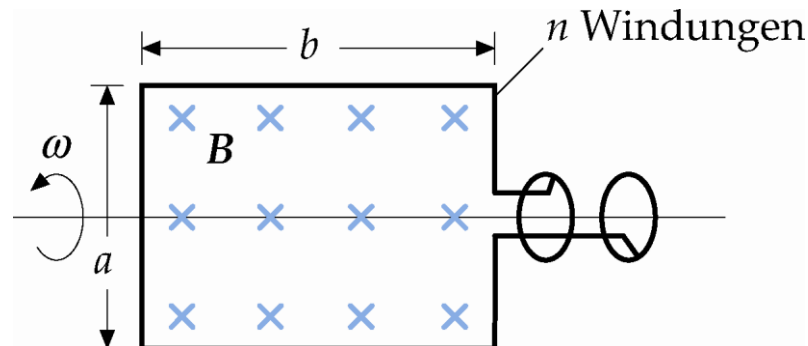
Aufgaben

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?



Literatur und Quellen

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

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



Technische Hochschule Deggendorf – Edlmaistr. 6 und 8 – 94469 Deggendorf