Elektromotoren und Generatoren, allgemeine Bezeichnung für elektrische Maschinen, mit denen sich elektrische Energie in mechanische Energie bzw. umgekehrt mechanische Energie in elektrische Energie umwandeln läßt. Ein Generator wandelt mit Hilfe elektromagnetischer Induktion mechanische Energie in elektrische Energie um. Im Gegensatz dazu läuft in einem Elektromotor der umgekehrte Prozeß ab.

Der Wirkungsweise von Elektromotoren und Generatoren liegen zwei verwandte physikalische Vorgänge zugrunde. Im Fall des Generators handelt es sich um die elektromagnetische Induktion, die erstmals Michael Faraday 1831 experimentell nachweisen konnte. Wenn ein Leiter durch ein Magnetfeld bewegt wird, induziert (erzeugt) dieser Vorgang eine elektrische Spannung in dem Leiter. Den genau umgekehrten Fall, daß ein elektrischer Strom ein Magnetfeld beeinflußt, konnte André Marie Ampère im Jahr 1820 erstmals beobachten – Ampère untersuchte dabei die Ablenkung einer Magnetnadel durch elektrischen Strom. Befindet sich ein elektrischer Leiter in einem Magnetfeld und wird dieser zusätzlich von einem elektrischen Strom durchflossen, übt das Magnetfeld eine mechanische Kraft auf den Leiter aus.

Eine einfache elektrische Maschine ist beispielsweise der so genannte Scheibendynamo von Faraday. Er besteht im wesentlichen aus einer Kupferscheibe, die so montiert ist, daß sich ein Teil der Scheibe von Mittelpunkt bis zum Rand zwischen den Polen eines Hufeisenmagneten befindet. Wenn die Scheibe in Drehung versetzt wird, entsteht durch die Wirkung des Magnetfeldes zwischen dem Mittelpunkt und dem Rand der Scheibe ein elektrischer Strom (*siehe* Induktion). In diesem Falle arbeitet die Apparatur nach dem Prinzip eines Generators. Auch der umgekehrte Fall ist mit dem Scheibendynamo möglich. Dazu legt man zwischen dem Rand und dem Mittelpunkt der Scheibe eine elektrische Spannung an, wobei sich die Scheibe aufgrund der induzierten Kraft dreht.

Das Magnetfeld eines Dauermagneten reicht nur für den Betrieb eines kleinen Dynamos (*siehe* Werner von Siemens) oder Motors aus. Deshalb werden für große Maschinen Elektromagneten verwendet. Sowohl Motoren als auch Generatoren bestehen aus zwei grundlegenden Einheiten: zum einen aus dem Elektromagneten mit seinen Spulen und zum anderen aus dem Anker, der die Leiter trägt. Letztere schneiden das Magnetfeld und erzeugen praktisch bei einem Generator den induzierten Strom bzw. bei einem Motor den Antriebsstrom. Der Ankerkern besteht meist aus Weicheisen, um den Leitungsdrähte in Form einer Spule gewickelt sind.

Gleichstromgeneratoren

Dreht sich der Anker des Generators zwischen zwei stationären Feldpolen, fließt der elektrische Strom im Anker eine halbe Umdrehung lang in eine Richtung und eine halbe Umdrehung lang in die entgegengesetzte Richtung. Um Gleichstrom zu erhalten, ist eine Vorrichtung außerhalb des Generators erforderlich, welche die Stromrichtung umkehrt und praktisch nur eine Fließrichtung zuläßt. Diese Umkehrung ermöglicht der so genannte Kollektor (*Stromwender* oder *Kommutator*).

In der primitivsten Ausführung besteht der Kollektor eines Gleichstromgenerator aus einem gespaltenen Metallring, der auf der Welle des Ankers montiert ist. Die beiden Hälften des Ringes sind voneinander getrennt und bilden die Enden der Ankerspule. Feststehende Metall- oder Kohlebürsten werden gegen den rotierenden Kollektor gedrückt und stellen den elektrischen Kontakt der Spule zu den Drähten außerhalb des Generators dar. Bei der Umdrehung des Ankers haben die Bürsten abwechselnd mit den Hälften des Kollektors Kontakt. In dem Augenblick, in dem der Strom in der Ankerspule seine Richtung ändert, tauschen auch die Kollektorhälften ihre Position. Daher fließt in dem Stromkreis, mit dem der Generator verbunden ist, ein Gleichstrom. Gleichstromgeneratoren werden meist mit ziemlich niedrigen Spannungen betrieben, um die Funkenbildung zwischen Bürsten und Kollektor zu vermeiden. Die höchste Spannung, die von solchen Generatoren erzeugt wird, beträgt meist 1 000 Volt. Heutzutage besitzen Generatoren zur Gleichrichtung leistungsstärkere Vorrichtungen wie z. B. Diodengleichrichter.

Moderne Gleichstromgeneratoren besitzen trommelförmige Anker mit vielen Wicklungen. Diese sind mit entsprechenden Segmenten eines Mehrfachkollektors verbunden. In einem Anker mit nur einer Drahtschleife nimmt der erzeugte Strom leicht zu und ab, je nachdem in welchem Teil des Magnetfeldes sich die Schleife bewegt. Ein Kollektor mit vielen Segmenten verbindet den äußeren Stromkreis immer mit einer Drahtschleife, die sich durch einen Bereich des Magnetfeldes bewegt. Als Folge bleibt der von den Ankerwindungen erzeugte Strom praktisch konstant. Die Felder moderner Generatoren besitzen zur Verstärkung des Magnetfeldes meist vier oder mehr Pole. Kleinere Zwischenpole gleichen Verzerrungen des Magnetfeldes aus, die durch die magnetische Wirkung des Ankers verursacht werden.

Gleichstromgeneratoren werden häufig nach der Art der Bereitstellung des Stromes für das Magnetfeld unterschieden. Das Magnetfeld eines seriell gewickelten Generators steht in Reihenschaltung mit dem Anker. Ein Nebenschlussgenerator hat ein Feld, das parallel zum Anker geschaltet ist. So genannte Verbund- oder Doppelschlussgeneratoren haben einen Teil ihrer Felder in Reihe und einen Teil parallel. Sowohl Nebenschluss- als auch Verbundgeneratoren haben den Vorteil, bei unterschiedlicher elektrischer Last eine verhältnismäßig gleichmäßige Spannung zu liefern. Seriell gewickelte Generatoren werden hauptsächlich zur Erzeugung eines gleichmäßigen Stromes mit schwankender Spannung eingesetzt. (Zu Reihen- und Parallelschaltung *siehe* elektrischer Stromkreis)

Gleichstrommotoren

Im Großen und Ganzen sind Gleichstrommotoren ähnlich aufgebaut wie Gleichstromgeneratoren. In einem Gleichstrommotor wird bei Stromfluss durch den Anker ein Drehmoment erzeugt, das den Anker in Drehbewegung versetzt. Die Funktion des Kollektors und die Verbindung der Feldspulen des Motors sind genauso wie beim Generator. Die Drehung des Ankers induziert eine Spannung in den Ankerwicklungen. Diese induzierte Spannung ist der von außen an den Anker angelegten Spannung entgegengesetzt und wird daher auch als *Gegenspannung* bezeichnet. Sie kann bei schneller laufendem Motor fast so groß werden, wie die angelegte Spannung. In diesem Fall ist die Stromstärke sehr gering und der Motor läuft mit konstanter Geschwindigkeit. Im Lastbetrieb wird der Anker langsamer. Als Folge nimmt die Gegenspannung ab und der Stromfluss durch den Anker zu. Dadurch ist der Motor in der Lage, mehr Leistung aufzunehmen und mehr mechanische Arbeit zu verrichten.

Weil die Rotationsgeschwindigkeit die Stromstärke im Anker steuert, sind zum Starten eines Gleichstrommotors spezielle Vorrichtungen erforderlich. Wird bei stillstehendem Anker die normale Arbeitsspannung angelegt, fließt ein sehr starker Strom, der den Kollektor und die Ankerwicklungen beschädigen kann. Zur Vermeidung solcher Schäden wird meist ein Widerstand vor den Anker geschaltet – der so genannte Vorwiderstand. Dieser reduziert die Stromstärke bis der Motor eine ausreichende Gegenspannung aufgebaut hat. Während der Beschleunigungsphase wird die Wirkung des Vorwiderstandes langsam verkleinert. Diese Verringerung kann entweder von Hand oder automatisch erfolgen.

Die Geschwindigkeit, mit welcher der Gleichstrommotor läuft, hängt von der Stärke des auf den Anker wirkenden Magnetfeldes und von der Stromstärke im Anker ab. Je stärker das Magnetfeld, desto geringer die Drehzahl, mit der die Gegenspannung erzeugt wird.

Wechselstromgeneratoren

Wie oben beschrieben erzeugt ein einfacher Generator ohne Kollektor einen elektrischen Strom, dessen Richtung sich mit der Drehung des Ankers ändert. Da Wechselstrom Vorteile bei der Übertragung von elektrischer Energie hat, erzeugen die meisten großen Generatoren Wechselstrom. Die einfachste Form des Wechselstromgenerators unterscheidet sich von einem Gleichstromgenerator nur in zwei Punkten: die Ankerwicklungen enden in durchgehenden Ringen

an der Welle des Generators und nicht an einem Kollektor, und die Feldspulen werden von einer externen Gleichstromquelle und nicht vom Generator selbst mit Strom versorgt. Langsam laufende Wechselstromgeneratoren haben bis zu 100 Pole, wodurch ihr Wirkungsgrad gesteigert wird und die gewünschte Frequenz leichter erzielt werden kann. Wechselstromgeneratoren, die von Hochgeschwindigkeitsturbinen angetrieben werden, sind häufig mit zwei Polen ausgestattet. Die Frequenz des von Wechselstromgeneratoren erzeugten Stromes ist die Hälfte des Produkts aus der Anzahl der Pole und der Anzahl der Umdrehungen des Ankers pro Sekunde.

Vorteilhaft ist die Induktion einer möglichst hohen Spannung. Umlaufende Anker sind für solche Anwendungen wenig geeignet, da es an den Bürsten zu Funkenbildung kommen kann und mechanische Defekte zu Kurzschlüssen führen können (*Siehe auch* elektrischer Stromkreis). Wechselstromgeneratoren haben daher einen feststehenden Anker, in dem sich ein Rotor mit Feldmagneten dreht.

Der induzierte Strom in Wechselstromgeneratoren steigt abwechselnd auf einen positiven Spitzenwert, sinkt auf Null, fällt auf einen negativen Spitzenwert und steigt wieder auf Null. Dieser Wechsel erfolgt, je nach der Frequenz, für die der Generator ausgelegt ist, mehrmals pro Sekunde. Man bezeichnet so einen Strom als *einphasigen Wechselstrom.* Besitzt der Anker zwei Wicklungen, die im rechten Winkel zueinander stehen und zwei getrennte Anschlüsse haben, werden zwei Wechselströme erzeugt, die jeweils dann ihr Maximum erreichen, wenn der andere seinen Nulldurchgang hat. Dieser Strom nennt man auch *Zweiphasenwechselstrom.* Besitzt der Anker drei Wicklungen, die in einem Winkel von 120 Grad zueinander stehen, entsteht ein Strom, der einer dreifachen Welle entspricht. Man erhält den so genannten *Dreiphasenwechselstrom* – kurz auch als *Drehstrom* bezeichnet. Durch weitere Anzahlzunahme der Ankerwicklungen lassen sich weitere Phasen erzielen.

Der heute am häufigsten verwendete Generator ist der Drehstromgenerator. Er wird normalerweise für die Erzeugung von elektrischem Strom verwendet. Die von Wechselstromgeneratoren erzeugten Spannungen betragen üblicherweise bis zu 13 200 Volt.

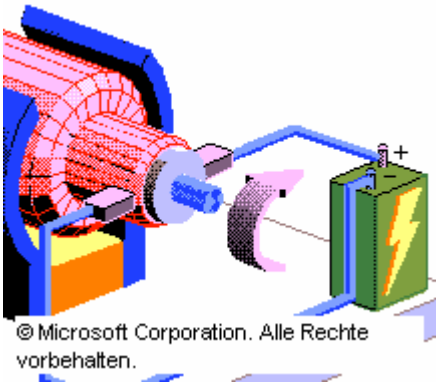
Wechselstrommotoren

Für den Betrieb mit mehrphasigem Wechselstrom gibt es zwei Arten von Motoren: Drehstromsynchronmotoren und Induktionsmotoren (auch Drehstromasynchronmotoren). Die Feldmagnete beim Drehstromsynchronmotor sind auf dem Rotor montiert und werden durch Gleichstrom angeregt. Die Ankerwicklung ist in drei Teile unterteilt und wird, wie der Name bereits andeutet, mit Drehstrom betrieben. Die wellenförmige Änderung der drei Ströme im Anker bewirkt eine sich ändernde magnetische Wechselwirkung mit den Polen der Feldmagnete. Dadurch dreht sich das Feld mit einer konstanten Geschwindigkeit, die durch die Frequenz des Antriebsstromes bestimmt wird.

In Einsatzgebieten, wo die mechanische Last des Motors sehr groß wird, können jedoch keine Drehstromsynchronmotoren eingesetzt werden, da der Motor unter Last seine Drehzahl verringert und „aus dem Tritt kommt“. Läuft der Motor nicht mehr im Einklang mit der Stromfrequenz, bleibt er stehen. Drehstromsynchronmotoren können auch so ausgelegt sein, daß sie mit einphasigem Strom laufen. Sie benötigen dann eine Vorrichtung zur Drehung des Magnetfeldes.

Die einfachste und die verbreitetste Art eines Drehstrommotors ist der Induktionsmotor. Der Anker (Rotor) eines solchen Motors besteht aus drei feststehenden Spulen und ähnelt damit dem Anker eines Drehstromsynchronmotors. Der rotierende Teil besteht aus einem Kern, in den mehrere dicke Leiter eingelagert sind. Diese liegen in einem Kreis um die Welle parallel zu dieser. Der Drehstrom, der durch die feststehenden Ankerwicklungen fließt, erzeugt ein sich drehendes Magnetfeld, das wiederum einen Strom in den Leitern des Rotors erzeugt. Die magnetische Wechselwirkung

zwischen dem rotierenden Feld und den Strom führenden Leitern des Rotors versetzt den Rotor in eine Drehbewegung. Wenn sich der Rotor mit der gleichen Geschwindigkeit wie das Magnetfeld dreht, wird im Rotor kein Strom induziert. Daher sollte der Rotor nicht synchron laufen. Beim Betrieb differieren die Umdrehungsgeschwindigkeiten von Rotor und Feld um etwa zwei bis fünf Prozent.



© Microsoft Corporation. Alle Rechte vorbehalten.