



Station 3:

Synchronmotor

In einem Elektroauto ist kein Stromwendermotor, sondern ein Synchronmotor verbaut.

Aufgabe 1: Stabmagnet in der Hand

Lege einen Kompass auf den Tisch und nimm einen Stabmagneten in die Hand. Versuche den Stabmagneten so zu bewegen, dass sich die Kompassnadel im Kreis dreht. Achtung! Berühre mit dem Stabmagneten nicht den Kompass!



Wie musst du den Stabmagneten bewegen, damit sich die Kompassnadel im Kreis dreht?

Aufgabe 2: Rotierender Hufeisenmagnet

Das war natürlich sehr unpraktisch. Die Kompassnadel soll sich allein drehen.

Hänge dazu einen Hufeisenmagneten an eine Schnur so auf, dass der Hufeisenmagnet knapp über dem Kompass hängt. Der Kompass soll genau mittig unter dem Hufeisenmagneten auf der Tischplatte liegen. Bringe den Hufeisenmagneten nun in Rotation, indem du ihn einige Male um seine Längsachse drehst und dann wieder loslässt. Nun drehen sich die Pole des Magneten um die Kompassnadel.



Wie dreht sich die Kompassnadel im Vergleich zum Hufeisenmagneten? Vergleiche die Drehgeschwindigkeiten!



Wieso nennt man den Motor, der nach diesem Modell arbeitet, Synchronmotor?



Aufgabe 3: Magnetrührer

Auf einen Magnetrührer werden von Chemikern Gläser mit Flüssigkeiten gestellt, die umgerührt werden sollen. Gibt man in das Gefäß einen Magneten, dreht sich dieser, da in dem Rührer auch ein sich drehendes Magnetfeld erzeugt wird (in der Fotomontage kann man ins Innere schauen).

Stelle eine Kompassnadel auf den Magnetrührer und erhöhe ganz langsam die Drehzahl.



Die Schleifkontakte eines Stromwendermotors (Station 1 und 2) sind beim Betrieb des Motors ständiger Belastung ausgesetzt. Wie ihr Name schon sagt, schleifen sie und werden so mit der Zeit abgerieben und verbraucht. Außerdem kann es Funkenüberschläge geben, die besonders bei großen Motorleistungen erheblichen Verschleiß verursachen. Durch eine übermäßige Funkenbildung entsteht Hitze, die zusätzlich den Verschleiß verstärkt.

In den Haushaltsmotoren sind die Schleifkontakte aus Kohle, die sich abnutzt. Bei großen Motoren werden sie ausgewechselt, Haushaltsgeräte werden bei abgenutzten Kohlestiften weggeworfen.

Beim Synchronmotor besteht der Rotor aus einem Dauermagneten und es gibt ein rotierendes Magnetfeld im Stator. Der Strom muss dann nicht in den beweglichen Teil des Motors gespeist werden.

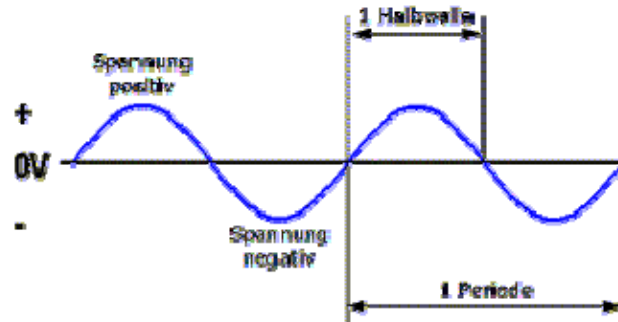


Welchen Vorteil gegenüber dem Stromwendermotor lässt sich bereits am Modell des Synchronmotors erkennen?



Aufgabe 4: Simulation des Magnetfeldes eines Synchronmotors

An unserer Steckdose liegt Wechselspannung an. Hier wechselt das Vorzeichen mit einer bestimmten Frequenz (Einheit Hertz: $1 \text{ Hz} = 1/\text{s}$). Ein Hertz entspricht einer Wiederholung (Periode) pro Sekunde.

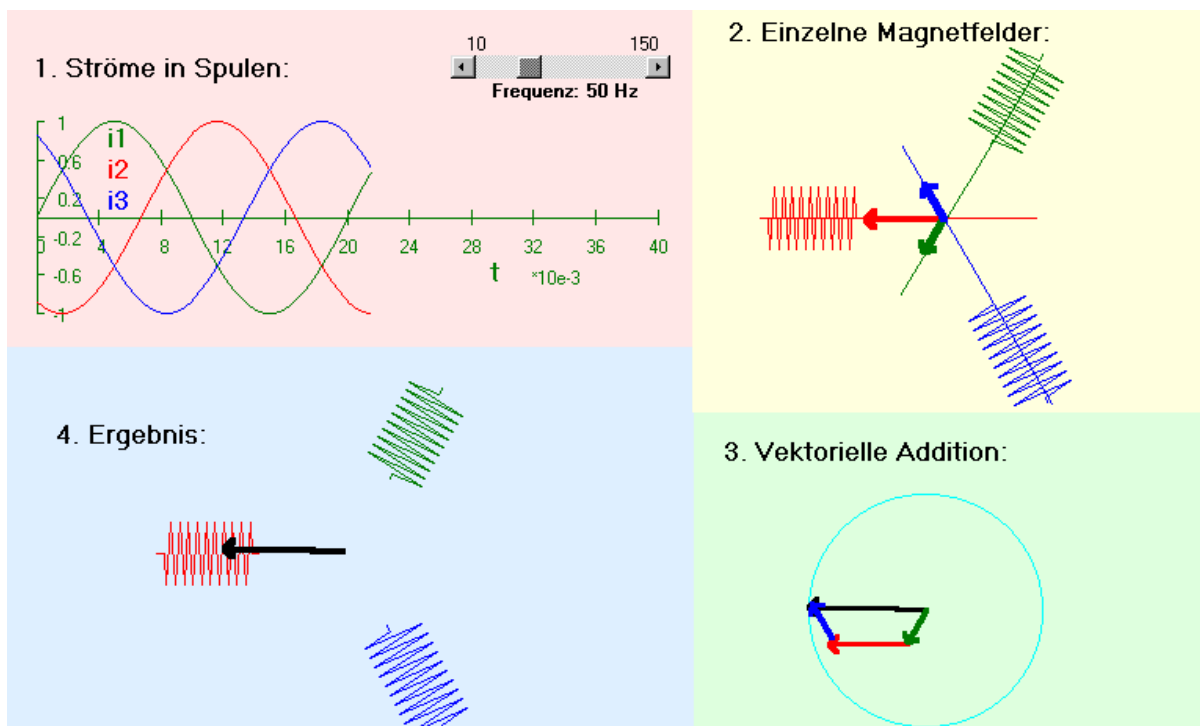


Im deutschen Stromnetz wird Wechselspannung mit 50 Hz eingespeist. Das bedeutet 100 Wechsel des Vorzeichens pro Sekunde. Bei einer Starkstromsteckdose hat man das dreimal, wobei die drei Wechselspannungen gegeneinander verschoben sind.

Legt man diese drei Spannungen auf drei Spulen, erzeugt jede ein anderes Magnetfeld. Das Ergebnis wird in der Simulation drehstrommotor.prj (im Programm PAKMA) betrachtet.

Starte die Simulation, indem du zuerst auf den Button „ Simulation laden“ drückst und dann auf den „ Play“-Button rechts daneben. Um die Simulation anzuhalten, drücke auf den „ Stop“-Button oder den Pausen-Button.

An dem Regler links oben können verschiedene Frequenzen gewählt werden. Im ersten Teilbild sieht man die drei Ströme, die in den drei farblich zugeordneten Spulen fließen. Verändere die Frequenz und beobachte das Ergebnis.





Rechts im gelben Teilbild 2 der Simulation sieht man, welche Magnetfelder die einzelnen, farblich zugeordneten Spulen an einer Stelle, dem Mittelpunkt zwischen den drei Spulen, erzeugen.



Wie verändert sich das Magnetfeld einer Spule?

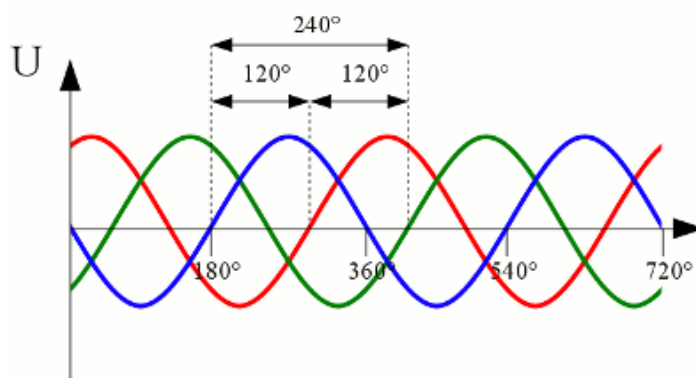
Magnetfelder haben nicht nur eine Stärke, sondern auch eine Richtung. Die Länge des Pfeils gibt die Stärke des Magnetfeldes wieder, während die Spitze des Pfeils in die Richtung des Magnetfeldes zeigt. Wirken mehrere Magnetfelder gleichzeitig, können die Pfeile mit ihrer Länge und Richtung aneinander gehängt werden, um die Magnetfelder zu addieren. Die direkte Verbindung vom Anfang des ersten bis zur Spitze des letzten Pfeils ergibt das resultierende Gesamtmagnetfeld mit seiner Stärke und Richtung. Im grünen Teilbild 3 der Simulation werden die drei Magnetfelder addiert. Im blauen Teilbild 4 der Simulation sieht man das Ergebnis: das Gesamtmagnetfeld an der einen Stelle in der Mitte.



Wie sieht das Gesamtmagnetfeld aus?

Aufgabe 5: Drehfeld durch Dreiphasenwechselstrom

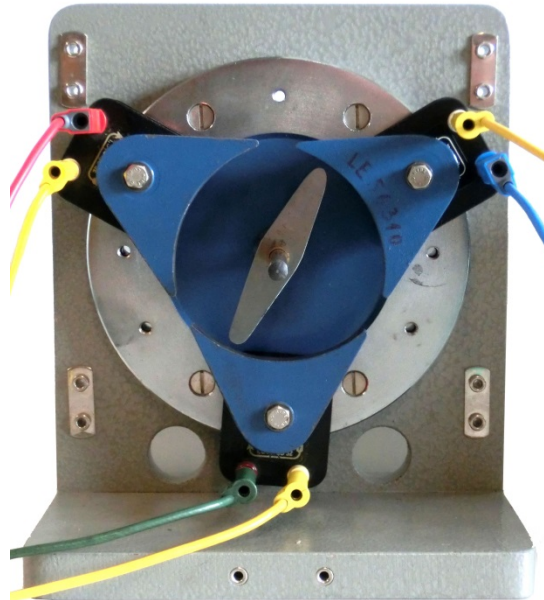
Der Strom für die drei Spulen kann auch mittels Elektronik erzeugt werden. Für das nächste Modell wird ein Gerät verwendet, mit dem auch drei Spannungen nach gewünschten Vorgaben erzeugt werden können. Das Gerät liefert drei um 120° phasenverschobene Ströme. Zudem ermöglicht es, die Frequenz und die Spannung zu regeln.



Werden diese phasenverschobenen Ströme an drei Spulen mit Eisenkernen angelegt und diese im Winkel von 120° um einen Rotor gestellt, wirkt auf diesen insgesamt ein rotierendes Magnetfeld.



An dem großen Regler in der Mitte lässt sich die Frequenz stufenlos von 0-500 Hz einstellen. An dem Regler links oben lässt sich ein Faktor für die Frequenz einstellen. Stellen wir zum Beispiel den Faktor 0,01 ein und drehen die Frequenz auf 200 Hz, ergibt sich eine Frequenz von 2 Hz. An dem Regler rechts oben lässt sich die Spannung einstellen. **L1 (rot)**, **L2 (blau)** und **L3 (grün)** sind die drei einzelnen Spannungen, die du auf die orange Anschluss der Spulen legst. **N (gelb)** ist der Nullleiter, die Erde. Er wird mit allen weißen Anschlüssen der Spule verbunden.



In der oben gezeigten Schaltung wird an jede Spule eine Spannung angeschlossen. Als Rotor wird eine große Kompassnadel verwendet.

Stelle eine Spannung von 3 V ein und erhöhe die Frequenzen langsam von 0 Hz bis 20 Hz (zuerst **Faktor 0,01**: das bedeutet $0,01 \cdot 0-500$ Hz ergibt 0-5 Hz; dann **Faktor 1**: das bedeutet entsprechend $1 \cdot 0-500$ Hz ergibt 0-500 Hz). Falls die Kompassnadel einmal hängen bleibt, bitte per Hand anwerfen.



Welchen Einfluss hat die Frequenz der Spannungen auf die Bewegung des Rotors?
Wie kann man das bei Elektroautos nutzen?

Dreht man die Frequenz zu hoch, kann der Rotor dem schnellen Feld nicht mehr synchron folgen.

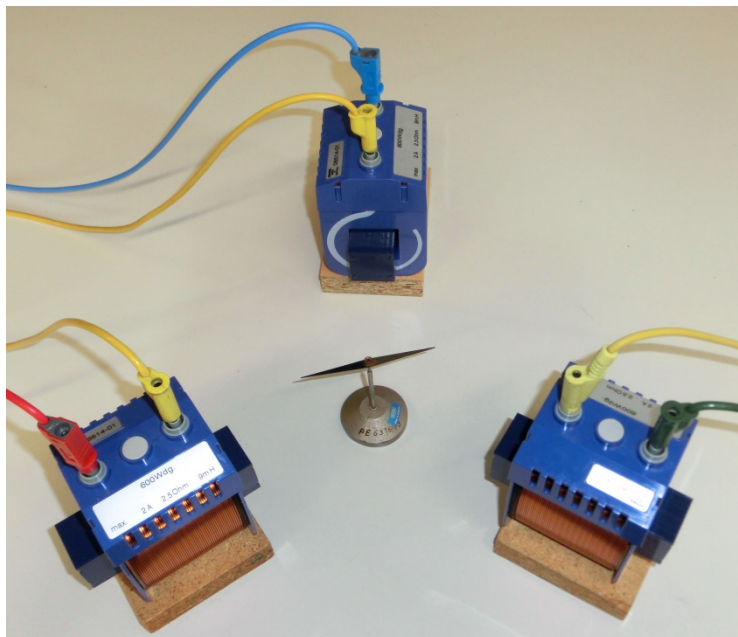


Ermittle, bis zu welcher Frequenz der Motor funktioniert.

Der Motor funktioniert bis zu einer Frequenz von _____ Hz.

Aufgabe 6: Modell mit frei beweglichen Spulen

Ein Modell eines Synchronmotors kann auch mit Spulen und Eisenkernen sowie einer Kompassnadel als Rotor auf dem Tisch nachgebaut werden. Dazu musst du die drei Spulen per Augenmaß in einem 120° -Winkel um die Kompassnadel aufstellen. Der Abstand darf nicht zu gering sein, da die Kompassnadel sonst umgeworfen wird. Er darf aber auch nicht zu groß sein, da die magnetische Wirkung mit der Entfernung stark abnimmt. Bei jeder Spule schaltest du die Innenseite auf N und die Außenseite auf einen Anschluss L1, L2 und L3.



Suche eine Frequenz, bei der sich der Rotor gleichmäßig dreht.



Was passiert, wenn du nun zwei L-Anschlüsse vertauschst? Wie kann man das beim Elektroauto nutzen?



Aufgabe 7: Ein Zeitungsartikel:

Elektromotoren für Elektroautos

Synchronmotoren sind keine Stromwendermotore

Viele Autohersteller investieren erheblichen Entwicklungsaufwand in Elektroautos. Verwendet werden dabei eigens entwickelte Elektromotoren, die sich deutlich von den Elektromotoren unterscheiden, die man aus dem Haushalt oder dem Schulunterricht kennt.

Elektromotoren verursachen im laufenden Betrieb keine schädlichen Abgase. Sie sind also völlig sauber. Eine gänzliche CO₂-Neutralität ohne jede Belastung kann aber nur erreicht werden, wenn sowohl die Herstellung der Fahrzeuge, als auch die Stromproduktion ebenfalls vollständig emissionsfrei erfolgt.

Elektroauto bezeichnet ein durch elektrische Energie angetriebenes Automobil. In den letzten Jahren erfährt das Elektroauto wieder gesteigerte Aufmerksamkeit. Zumeist wird die Antriebsenergie in Akkus, also aufladbaren Batterien, im Fahrzeug mitgeführt.

Vor- und Nachteile

Der Elektroantrieb ist dem weit verbreiteten Antrieb mit Benzinmotoren in vielen Eigenschaften überlegen. Dazu zählen beispielsweise der viel höhere Wirkungsgrad, was einen geringeren Energiebedarf bedeutet. Außerdem gibt es einen einfacheren Aufbau. Während man beim Benzinmotor einen großen Motor

hat, dessen Bewegung über Kurbelstangen an die Räder übertragen werden muss, kann man Elektromotore direkt an das Rad bauen.

Zu nennen ist weiterhin die fast vollständige lokale Emissionsfreiheit in Bezug auf Schadstoffe und Lärm. D.h. sie sind so leise, dass sie kaum zu hören sind, während der Lärm von Benzinmotoren heute ein großes Problem darstellt.

Außerdem sind Elektromotoren klein und leicht und haben eine große Leistung. Wer einmal beim Anfahren eines Elektroautos das Gefühl hatte, stark in den Sitz gedrückt zu werden, weiß, was sie können.

Im Vergleich zu Fahrzeugen mit Benzinmotoren verfügen aktuell ausgeführte Elektrofahrzeuge jedoch zumeist über erheblich geringere Reichweiten. Dies ist in erster Linie auf die geringeren Energiemengen zurückzuführen, die beim derzeitigen Stand der Technik in Energiespeichern mitgeführt werden können. Man braucht für Autos mit großer Reichweite riesige Akkus.

Welcher Elektromotor?

Elektromotoren kennen wir aus unserem Alltag. Sie befinden sich im Föhn, in Küchengeräten, in Werkzeugen und Spielzeugen. Aber stopp! Das sind völlig andere Motoren als sie in Elektroautos

verwendet werden. Im Haushalt werden sogenannte Stromwendermotoren genutzt. Das sind die, die man auch in der Schule im Physikunterricht behandelt hat und die damals keiner verstand. Ihr Vorteil ist, dass sie mit Gleichstrom oder Wechselstrom laufen können. Ihr Nachteil ist, dass die Kohlebürsten, über die der Strom zugeführt wird, schnell verschleifen.

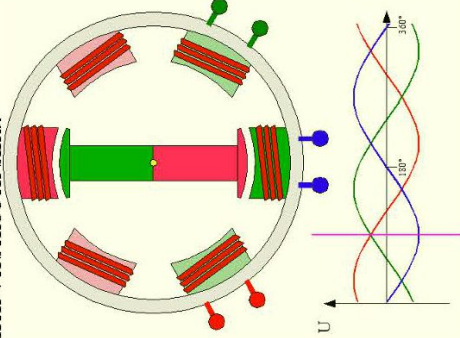
Synchronmotoren

Ein Stromwendermotor wird aber niemals in Elektroautos verwendet. In diesen Fahrzeugen werden von Toyota über Honda bis hin zu BMW und Mercedes von nahezu allen Herstellern Drehstrom-Synchronmotore verwendet.

Die sind viel einfacher zu verstehen: Auf geschickte Weise wird über Spulen ein Magnetfeld erzeugt, das sich dreht. Im Inneren des Motors befindet sich ein Dauermagnet, der von diesem Magnetfeld angezogen wird und ihm in gleicher Geschwindigkeit folgt (siehe Prinzipskizze). Die Drehgeschwindigkeit des Motors lässt sich damit leicht über das Magnetfeld steuern. Da der Dauermagnet im Inneren keine Schleifkontakte hat, gibt es auch keinen Verschleiß und der Motor ist wartungsfrei.

Die technische Kunst liegt darin, dieses rotierende Magnetfeld zu

erzeugen. Aus der Gleichspannung des Akkus müssen nämlich dazu mit effizienter Elektronik drei Wechselspannungen erzeugt werden, die gegeneinander zeitlich verschoben sind.



Kritik

Natürlich gibt es auch Kritik an diesen Motoren. Neodym, das als Dauermagnet in den Motoren verwendet wird, wird zu den seltenen Erden gezählt. Es wird u.a. zum Färben und in vielen starken Magneten verwendet, z.B. für Kernspintomographen, Festplatten, Lautsprecher, Generatoren und Motoren. Auch dieser Rohstoff steht nur begrenzt zur Verfügung, wird z.T. umweltschädlich abgebaut und wir machen uns damit von China als größten Lieferanten abhängig.



Fragen zum Zeitungsartikel:

1. Welche Vorteile hat ein Elektroantrieb gegenüber einem Benzinmotor?

2. Welche Nachteile hat ein Elektroantrieb gegenüber einem Benzinmotor?

3. Welche Vorteile hat ein Synchronmotor gegenüber einem Stromwendermotor?

4. Welche Nachteile hat ein Synchronmotor gegenüber einem Stromwendermotor?

5. Synchronmotor in Elektroautos sind klein, leicht, leise und haben eine große Leistung. Was müsste man noch entwickeln, damit sich diese Technik durchsetzt?
