

Elektrische MASCHINEN

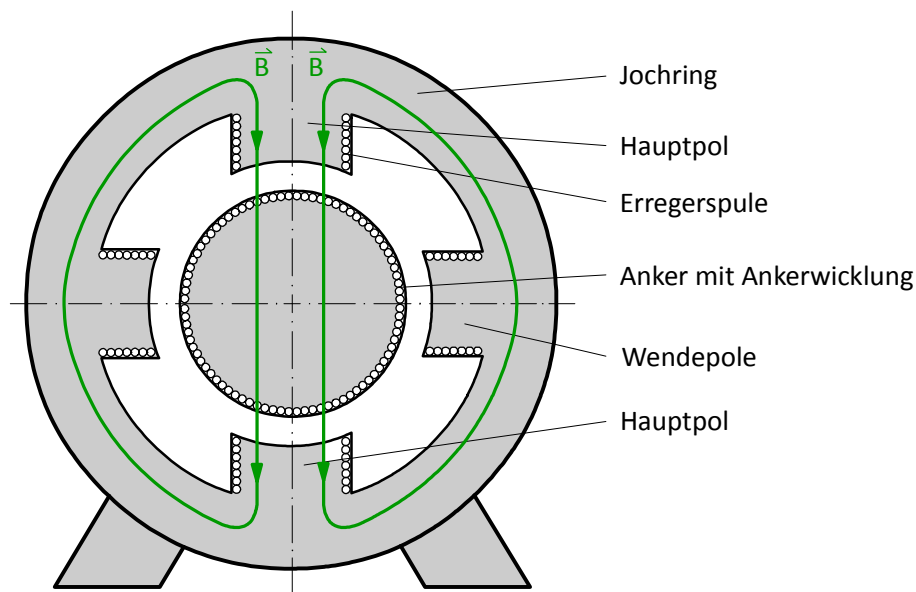
Best Of Elektronik

www.kurcz.at

© Florian Kurcz

1	Gleichstrommaschinen	1
1.1.1	Ohne Stromwender	1
1.1.2	Mit Stromwender	2
1.1.3	Einteilung nach Art der Erregung	3
1.2	Gleichstromgenerator	4
1.2.1	Fremderregter Generator	4
1.2.2	Nebenschlussgenerator	5
1.2.3	Reihenschlussgenerator	5
1.2.4	Doppelschlussgenerator	6
1.3	Gleichstrommotor	6
1.3.1	Fremderregter Motor	7
1.3.2	Nebenschlussmotor	8
1.3.3	Reihenschlussmotor	8
1.3.4	Doppelschlussmotor (Verbundmotor)	8
2	Drehfeldmaschinen	9
2.1	Synchronmaschine	9
2.1.1	Synchrongenerator	10
2.1.2	Synchronmotor	11
2.2	Asynchronmaschine	12
2.2.1	technische Ausführungsformen	13
3	Einphasenwechselstrommotoren	14
3.1	Einphasen-Reihenschlussmotor	15
3.2	Kondensatormotor	15
3.3	Spaltpolmotor	15
4	Schrittmotor	16
4.1	unipolaren Zweistrangschrittmotors	16
4.1.1	Vollschrittbetrieb	16
4.1.2	Halbschrittbetrieb	17
4.2	Bipolarer Zweistrangmotor	18
4.2.1	Ansteuerung	18
5	Elekt. kommutierter Gleichstrommotor	20

1 Gleichstrommaschinen



Die Gleichstrommaschine besteht aus einem stillstehenden Teil dem Stator und einem rotierenden Teil Rotor, Läufer, Anker.

Der Anker besteht aus einer Welle auf der das Ankerblechpaket (Dynamoblech) sitzt. In den Nuten des Ankerblechs befindet sich die Ankerwicklung, die vom magnetischen Fluss der Erregerwicklung durchsetzt wird. Die Stromzufuhr zum Anker erfolgt über Schleifkontakte am Kollektor. Zur Kühlung befindet sich meist ein Lüfter auf der Antriebswelle.

Entstehung einer Spannung => Induktionsgesetz

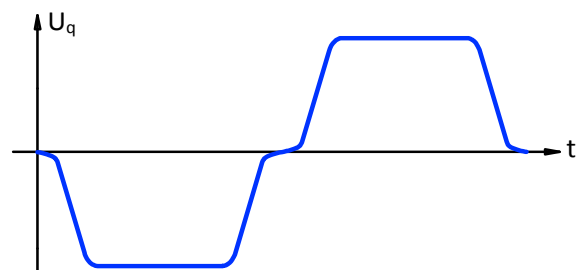
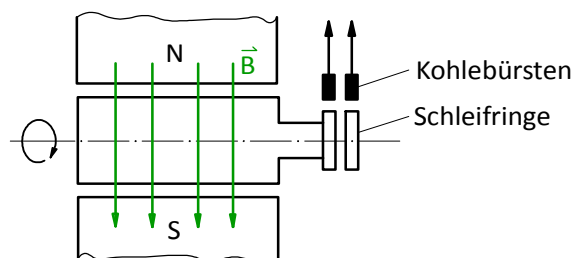
$$U_Q = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = N \cdot \frac{dB \cdot A}{dt} = N \cdot B \cdot \frac{dA}{dt}$$

$$A = A_{max} \cdot \cos(\omega \cdot t) = 2 \cdot r \cdot l \cdot \cos(\omega \cdot t)$$

$$\frac{dA}{dt} = -2 \cdot r \cdot l \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

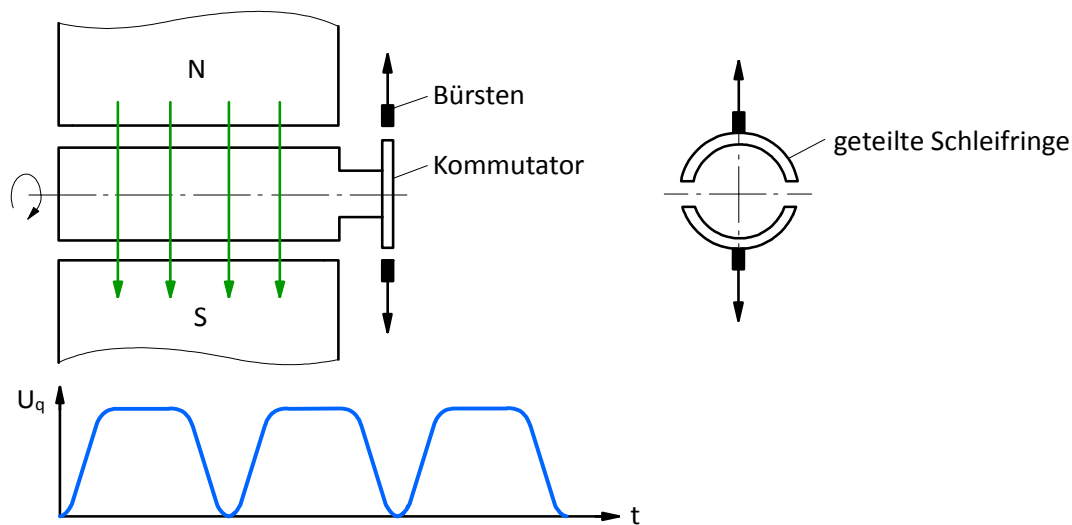
$$U_Q = -N \cdot B \cdot 2 \cdot r \cdot l \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

1.1.1 Ohne Stromwender



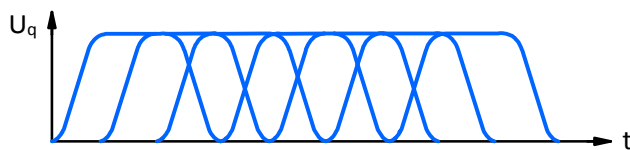
Dieser Spannungsverlauf ergibt sich aus der Krümmung der Polschuhe

1.1.2 Mit Stromwender

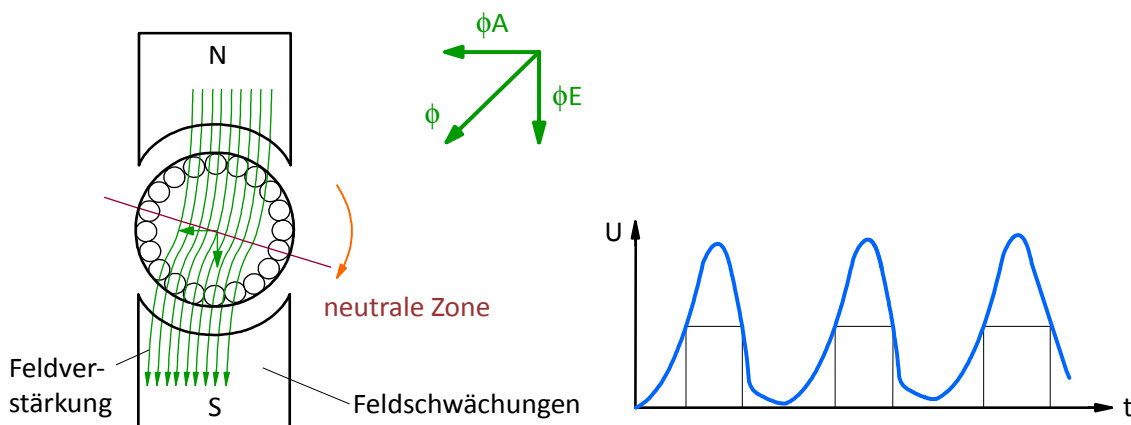


Am Kollektor wird beim Spannungsnulldurchgang die Spannung umgepolt = Mechanischer Gleichrichter.

Die Praktische Ausführung einer Gleichstrommaschine enthält mehrere Ankerwicklungen die jeweils um einen Winkel α versetzt angeordnet sind. Daher enthält der Kollektor auch dementsprechend viele Lamellen. Die Bürsten greifen nun die Spannung an jener Wicklung ab, die gerade die höchste Spannung liefert.



Ankerrückwirkung:



Wird die Maschine belastet so kommt es zu einem Stromfluss im Anker, dieser erzeugt wiederum ein Magnetfeld das sich dem Erregerfeld überlagert. Durch die Überlagerung beider Felder kommt es zu einer Feldverzerrung und die neutrale Zone, die immer Senkrecht zum Feld liegt verdreht sich.

Dadurch ergeben sich folgende Nachteile:

- Spannungsverlust. Die Bürsten stehen nicht mehr in der neutralen Zone und greifen nicht mehr am Spannungsmaximum ab.

- Bürstenfeuer. Die Spannungen zwischen 2 Benachbarten Lamellen sind bei der Kommutierung verschieden. Dadurch kommt es zu einem Kurzschluss, hervorgerufen durch die Bürsten
- Durch die Feldverzerrung werden auch die induzierten Spannungen verzerrt. Dadurch können die Spannungsunterschiede zwischen den Kollektorlamellen so groß wird, dass es zu Funkenüberschlägen kommt
- Eisenverluste. Durch die ungleiche Felddichte erwärmt sich das Eisen stärker
- Gesamt Fluss wegen der Sättigung kleiner.

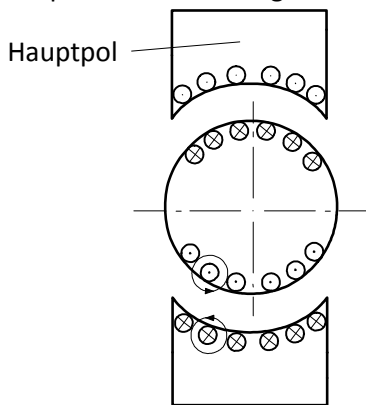
Abhilfe:

- Wendepole:

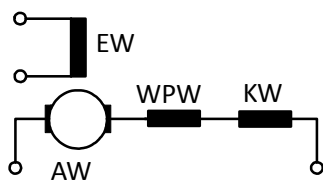
Das Ankerfeld wird in der so genannten Wendezone durch ein gleichgroßes entgegengesetztes Wendefeld kompensiert. Sie werden für Maschinen Leistung größer 1 KW eingesetzt. Damit das Wendepolefeld immer proportional zur Belastung ist, wird die Wendepolwicklung in Serie zur Ankerwicklung gehängt.

Mit der Wendepolwicklung können circa 90% der Feldverzerrungen kompensiert werden. Bei sehr großen (ab 100KW) müssen auch die Restlichen 10% noch kompensiert werden. Dies erreicht man durch die Kompensationswicklung.

- Kompensationswicklung:



Dadurch können auch die Feldverzerrungen im Bereich der Hauptpole vermindert werden. Wodurch es zu einer Reduktion der Eisenverluste und damit zu der Erwärmung der Maschine kommt. Die Kompensationswicklung wird ebenso wie die Wendepolwicklung in Serie geschaltet.



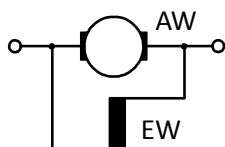
1.1.3 Einteilung nach Art der Erregung

1.1.3.1 Fremderregte Maschinen

Die Erregerwicklung wird durch eine externe Spannungsquelle gespeist

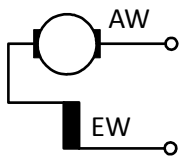
1.1.3.2 Selbsterregte Maschinen

- Nebenschlussmaschine



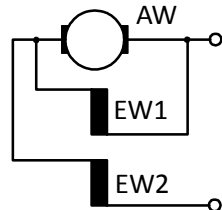
Die Erregerwicklung besitzt viele Windungen aus dünnem Draht.

- Reihen-, Hauptschlussmaschine



Die Erregerwicklung besitzt wenige Windungen aus dickem Draht

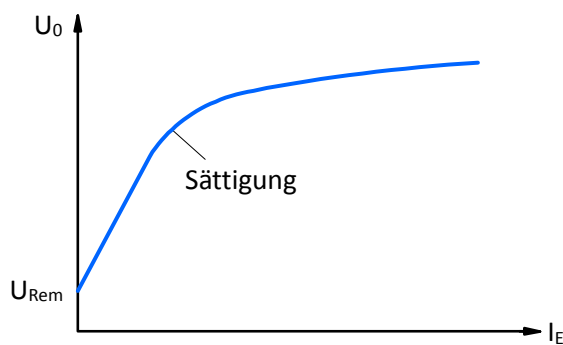
- Doppelschluss-, Verbundmaschine



1.2 Gleichstromgenerator

1.2.1 Fremderregter Generator

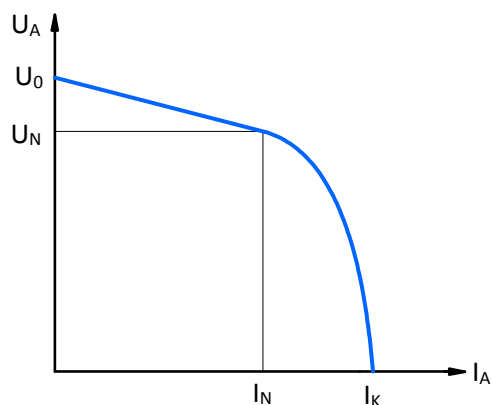
1.2.1.1 Leerlaufkennlinie ($n=0$)



U_{Rem} ...Remanenzspannung (Restmagnetismus)

1.2.1.2 Belastungskennlinie

$I_E = \text{konstant}$



U_0 ...Leerlaufspannung

$U = U_0 - I_A \cdot R_A$

U_N ...Nennspannung

I_N ...Nennstrom

I_K ...Kurzschlussstrom

Bei Belastung sinkt die Quellenspannung nur ein wenig ab, da der Innenwiderstand der Ankerwicklung sehr klein ist. Dafür ist der Kurzschlussstrom unzulässig hoch.

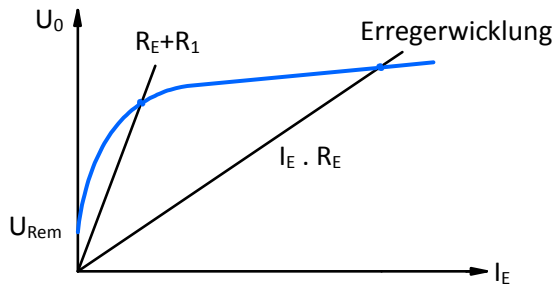
1.2.1.3 Verwendung

- Wo konstante Spannungen gewünscht werden.

1.2.2 Nebenschlussgenerator

Hier wird die Erregerwicklung parallel zum Anker geschaltet. Besitzt die Maschine einen Restmagnetismus, so wird durch diesen eine kleine Spannung induziert, diese führt zur Verstärkung des Erregerfeldes. Die Maschine erregt sich selbst.

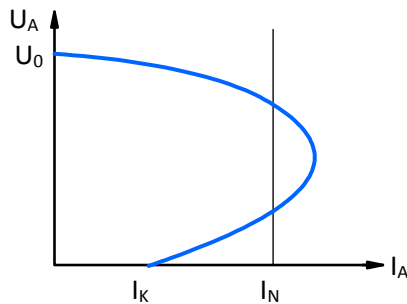
1.2.2.1 Leerlaufkennlinie



Durch einen Serienwiderstand R_1 zur Erregerwicklung (Feldsteller) kann die Spannung eingestellt werden. Bei Belastung sinkt die Klemmenspannung stärker als beim Fremderregten Generator, da die Erregerwicklung direkt an der Klemmenspannung liegt.

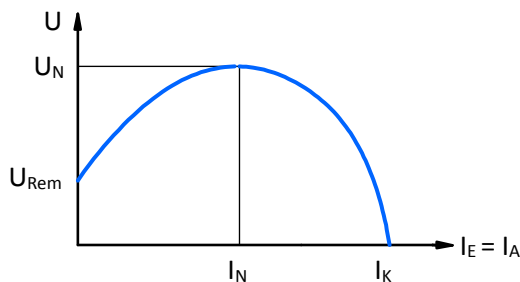
$$I_K = \frac{U_{Rem}}{R_A}$$

1.2.2.2 Belastungskennlinie



1.2.3 Reihenschlussgenerator

Da hier die Erregerwicklung in Reihe zur Ankerwicklung geschaltet ist, kann nur ein Erregerfeld entstehen wenn der Generator belastet wird. Mit zunehmender Belastung steigt die Spannung des Generators an. Wegen der extremen Belastungsabhängigkeit findet der Reihenschlussgenerator keine technische Verwendung.

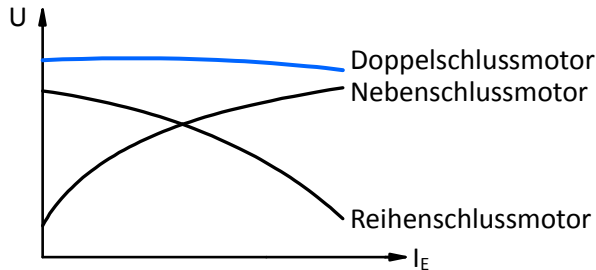


Eine Ausnahme bilden Reihenschlussmotoren die im Generatorbetrieb zum Bremsen verwendet werden, hierbei geht es nur darum Energie in einem Bremswiderstand zu vernichten.

1.2.4 Doppelschlussgenerator

Durch eine Kombination von Reihen und Nebenschlusswicklungen, kann eine besonders Lastunabhängige Spannung erzeugt werden

Als Erregermaschinen für Synchrongeneratoren in Kraftwerken.



1.3 Gleichstrommotor

Sie entwickeln ein hohes Anzugsmoment und ihre Drehzahl ist Stufenlos regelbar.

Wirkungsweise:

Durch den Ankerstrom I_A entsteht im Erregerfeld eine Kraftwirkung auf die Ankerwicklung.

$$M_A = C_M \cdot I_A \quad C_m \dots \text{Motorkonstante, Drehmomentkonstante} \left[\frac{Nm}{A} \right]$$

Die Motorkonstante hängt vom konstruktiven Aufbau des Motors ab und kann aus dem Datenblatt des Motors entnommen werden.

$$\text{Dieses Drehmoment beschleunigt nun den Anker } \alpha = \frac{M_A}{J} \quad \begin{matrix} \alpha \dots \text{Winkelbeschleunigung} \\ J \dots \text{Massenträgheitsmoment} \end{matrix}$$

Je kleiner das Massenträgheitsmoment des Motors ist, desto leichter kann er beschleunigen und bremsen, da das Massenträgheitsmoment quadratisch mit dem Durchmesser des Läufers steigt. Daher besitzen dynamische Motoren (Servomotoren) immer eine schlanke Bauform (lang, kleiner Durchmesser). Servomotoren dienen für Bewegungsabläufe in Maschinen (Robotersysteme, Vorschubsysteme bei Werkzeugen). Motoren die für Hauptantriebe verwendet werden (Antrieb von Werkzeugen, Hydraulikpumpen, etc...) hingegen besitzen ein hohes Massenträgheitsmoment (kurz, großer Durchmesser), da diese unempfindlich gegenüber Lastschwankungen sind.

Aus der Beschleunigung folgt die Drehzahl

$$\omega = \int \alpha(t) dt = \frac{1}{J} \int M_A(t) dt \quad \left[\frac{1}{s} \right]$$

Anschaulicher für die Drehzahl ist die Einheit U/min => rpm = rotations per minute

$$n = 60 \cdot \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{30}{\pi} \cdot \omega$$

Dreht sich der Motor so wird in der Ankerwicklung eine Spannung induziert, die der treibenden Spannung entgegengerichtet ist.

Man spricht hier von der Gegen-EMK EMK = elektromotorische Kraft

$$U_A = U_K - K_e \cdot \omega$$

Der Motor beschleunigt solange bis ein Gleichgewicht zwischen U_K und der Gegen-EMK (K_e · ω) entsteht

$$[K_e] = V_s = \frac{W_s}{A} = \frac{J}{A} = \frac{Nm}{A} = [C_M]$$

Wird der Motor belastet so verringert sich seine Drehzahl und die induzierte Gegenspannung sinkt.

Dadurch steigt U_A und der Motor nimmt einen höheren Strom auf $I_A = \frac{U_A}{R_A}$

Durch den höheren Strom kann er nun auch das höhere Drehmoment erzeugen.

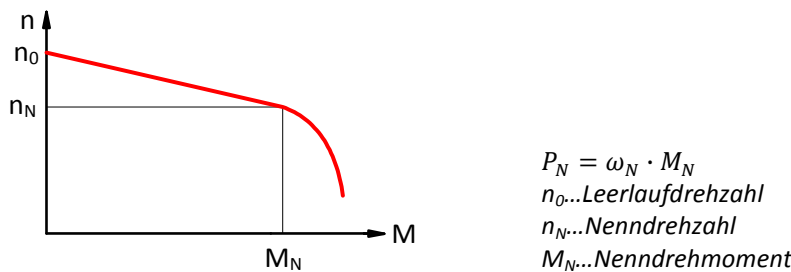
Im Stillstand liegt die volle Klemmenspannung an der Ankerwicklung, dies führt bei größeren Motoren zur Überlastung.

Abhilfe: Einschalten über Anlasswiderstand, bei elektronisch geregelten Motoren

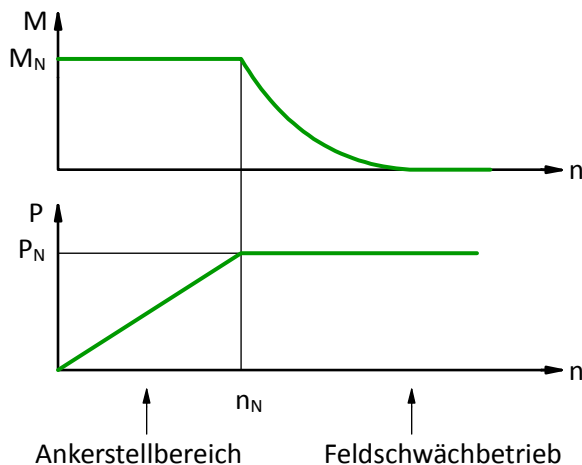
=> Stromregler mit Strombegrenzung.

1.3.1 Fremderregter Motor

Zur Drehzahlverstellung verändert man die Ankerspannung



Bei Belastung sinkt die Drehzahl geringfügig ab, sodass die induzierte Gegenspannung kleiner wird und der Ankerstrom steigt um das benötigte Drehmoment zu liefern. Oberhalb des Nennbetriebpunktes wird durch die auftretenden Verluste die Kennlinie nichtlinear. Verringert man den Erregerstrom, so sinkt die Gegen-EMK, was eine Drehzahlerhöhung zur Folge hat. Somit kann die Drehzahl über die Nenndrehzahl erhöht werden (Feldschwächbetrieb), dabei sinkt aber das Drehmoment, wodurch sich die Leistung nicht weiter erhöht.



Die maximal erreichbare Drehzahl im Feldschwächbetrieb, ist durch die im Anker auftretenden Fliehkräfte begrenzt. Bei sehr großen Motoren kommt es durch die Erwärmung der Erregerwicklung zu einem Absinken des Erregerstromes und somit zu einer Drehzahlüberhöhung. Um dies zu vermeiden verwendet man eine zusätzliche Reihenschluss hilfswicklung (Compound-Wicklung).

1.3.1.1 Verwendung

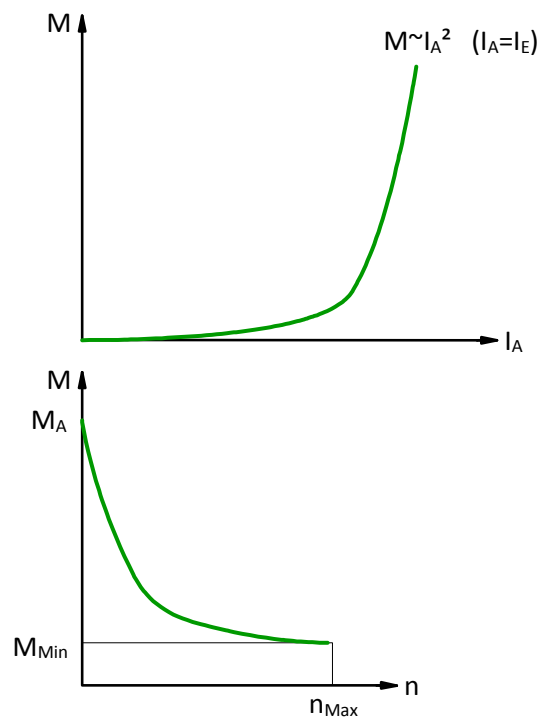
Für Drehzahlregelte Antriebe bis in den MW-Bereich

1.3.2 Nebenschlussmotor

Verhält sich ähnlich wie der Fremderregte Motor. Die Erregerwicklung liegt an der gleichen Spannung wie die Ankerwicklung, daher kein Feldschwächbetrieb möglich.

1.3.3 Reihenschlussmotor

Diese Motoren haben von allen Motoren das größte Anzugsmoment, da der gesamte Ankerstrom durch die Erregerwicklung fließt und während der Anlaufphase der Ankerstrom und das Erregerfeld maximal sind.



Wird der Motor nicht belastet, sinkt der Ankerstrom was eine Feldschwächung zur Folge hat, damit erhöht sich die Drehzahl ins unendlich das heißt, der Motor geht durch. Daher dürfen Reihenschlussmotoren nie in Leerlauf oder in Verbindung mit Keilriemen verwendet werden.

1.3.3.1 Verwendung

- Einphasenwechselstrommotor
- Bahnmotoren
- Starter für Verbrennungsmotoren

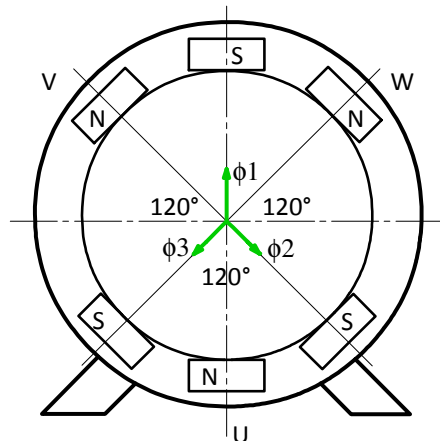
1.3.4 Doppelschlussmotor (Verbundmotor)

Der Doppelschlussmotor ist im Wesentlichen ein Reihenschlussmotor mit einer Nebenschlusshilfswicklung, das heißt er besitzt ein hohes Anzugsmoment geht aber im Leerlauf nicht durch.

1.3.4.1 Verwendung

- für elektrische Hebewerkzeuge,
- Krananlagen,
- Elektrofahrzeuge etc.

2 Drehfeldmaschinen



Drehfeldmaschinen besitzen im Stator mehrere gleichmäßig verteilte Wicklungsstränge, die mit entsprechend phasenverschobenen Strömen gespeist werden. Zur Speisung verwendet man Dreiphasenwechselstrom (Drehstrom) dieser besteht aus 3 um jeweils 120° verschobene Wechselspannungen daher besitzt eine Drehfeldmaschine im einfachsten Fall 3 Wicklungspaare. Durch Überlagerung der 3 Einzelfelder

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1 &= \Phi \cdot \sin(\omega \cdot t) \\ \Phi_2 &= \Phi \cdot \sin(\omega \cdot t + 120^\circ) \\ \Phi_3 &= \Phi \cdot \sin(\omega \cdot t + 240^\circ) \end{aligned} \right\} \Phi_{Ges} = \begin{cases} \Phi_x = 1,5 \cdot \Phi \cdot \cos(\omega \cdot t) \\ \Phi_y = 1,5 \cdot \Phi \cdot \sin(\omega \cdot t) \end{cases}$$

$$|\Phi| = \sqrt{\Phi_x^2 + \Phi_y^2} = 1,5 \cdot \Phi \cdot \sqrt{\sin^2(\omega \cdot t) + \cos^2(\omega \cdot t)} = 1,5 \cdot \Phi \cdot 1$$

$$\tan(\varphi) = \frac{\Phi_x}{\Phi_y} = \frac{\cos(\omega \cdot t)}{\sin(\omega \cdot t)} = \tan(\omega \cdot t)$$

$$\varphi = \omega \cdot t$$

Das heißt Φ_{Ges} ist ein kreisförmig umlaufendes Magnetfeld mit dem 1,5 fachen Scheitelwert eines Wicklungsstranges und der Umlauffrequenz ω . Die Umlauffrequenz ist also gleich der Wechselstromfrequenz. Die Drehzahl beträgt bei 50Hz 3000 Umdrehungen. Diese kann reduziert werden, indem pro Wicklungsstrang mehrere Polpaare gebaut werden. Daraus ergibt sich die Synchrondrehzahl

$$n_s = \frac{60}{p} \cdot f$$

n_s Synchrondrehzahl
 f Netzfrequenz
 p Polzahl

p	Zahl der Wicklungen	$n_s \left[\frac{U}{min} \right]$
1	3 Wicklungspaare je 120°	3000
2	6 je 60°	1500
3	12 je 30°	750

2.1 Synchronmaschine

Synchronmaschinen sind Drehfeldmaschinen ohne Stromwender. In ihrem Anker wird ein Gleichfeld erzeugt, dass sich mit dem Drehfeld der Statorwicklung überlagert. Diese Maschine kann wieder als Generator oder Motor betrieben werden. Bei Synchronmaschinen ist Drehfeldzahl und Läuferdrehzahl stets gleich.

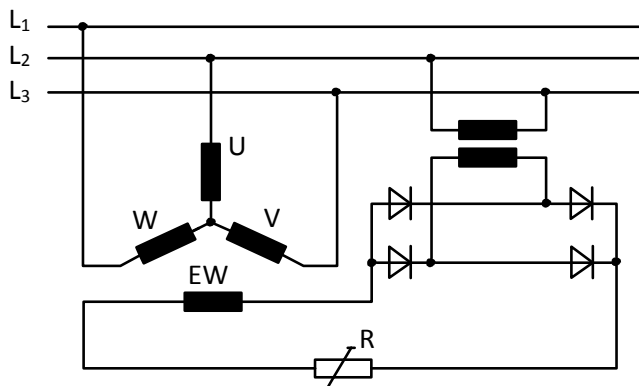
2.1.1 Synchrongenerator

Dreht sich der Anker so werden in den Statorwicklungen drei um jeweils 120° phasenverschobene Wechselspannungen induziert.

$$U_0 \approx B \cdot \omega \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

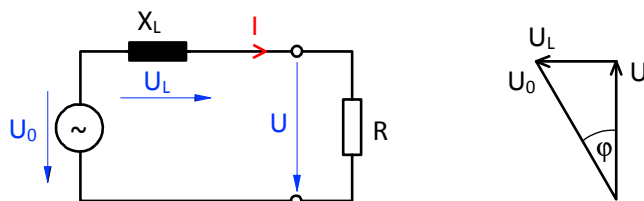
Wegen der Frequenz muss die Maschine zuerst auf ihre Synchrondrehzahl gebracht werden. Die Angleichung der Spannungshöhe erfolgt durch ändern des Erregerfeldes. Die Leerlaufkennlinie ist ident mit der des Gleichstromgenerators.

Die Generatorspannung in Kraftwerken liegt meist bei 6-11kV. Bei höheren Spannungen gibt es Probleme bei Funkenüberschlägen bei der Isolation. Die Erregung des Synchrongenerators erfolgt durch die Ankerwicklung. (Außer bei Kleinstmaschinen, diese sind permanent erregt; Fahrraddynamo) Die Ankerwicklung wird entweder durch eine Erregermaschine, (Verbundgenerator) die auf der gleichen Welle sitzt oder über einen Stromrichter (Selbsterregung) gespeist.

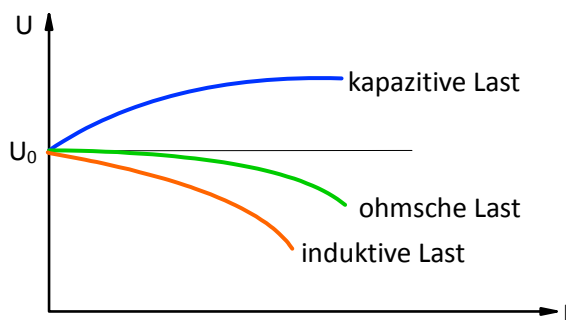


Anstatt des in der Skizze entstandenen Widerstandes verwendet man zum Einstellen des Stromes Thyristor gesteuerte Brücken.

Wird der Synchrongenerator belastet so fließt durch die Statorwicklung ein Strom, dieser verursacht neben dem Spannungsabfall am Wicklungswiderstand auch einen induktiven Spannungsabfall.



Der Spannungsabfall an der Wicklungsinduktivität eilt um 90° voraus. Deshalb ist die Klemmenspannung niedriger und ist gegenüber der Quellenspannung um den Lastwinkel ϑ verschoben.

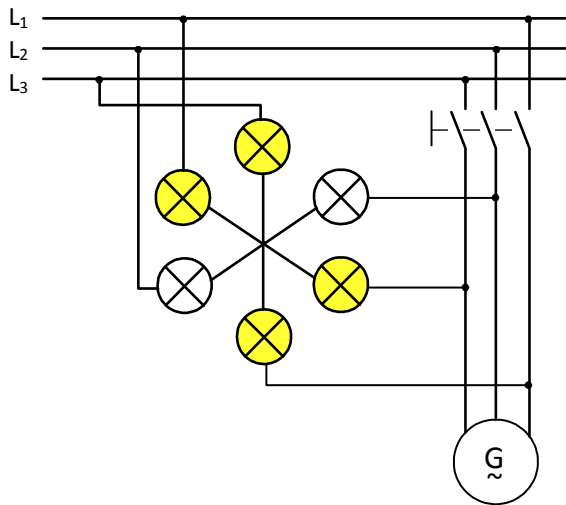


Die Last abhängige Spannungsänderung muss durch variieren des Erregerstromes ausgeglichen werden.

Wird ein Synchrongenerator ans Netz geschaltet, so müssen Frequenz und Phase übereinstimmen. Die Spannung kann, da die Frequenz vorgegeben ist, nur durch den Erregerstrom eingestellt werden. Erhöht man bei einem Generator der am Netz hängt,

(U und f konstant) die Erregerspannung, so ändert sich auch U_L , da der Strom immer senkrecht auf U_L steht, eilt er nun gegenüber der Klemmenspannung nach. Das heißt der Generator liefert Induktive Blindleistung. Wird der Generator zu wenig erregt, so liefert er kapazitive Blindleistung, somit ist es möglich, über den Erregerstrom, Blindleistung entsprechend auszuregeln.

Vor der Parallelschaltung des Generators müssen Frequenz, Spannung und Phase gleich sein. Dies wird mit Hilfe einer Synchronisierereinrichtung eingestellt. Dazu wird zuerst die Frequenz über die Drehzahl eingestellt. Als nächstes muss die Phase angeglichen werden.

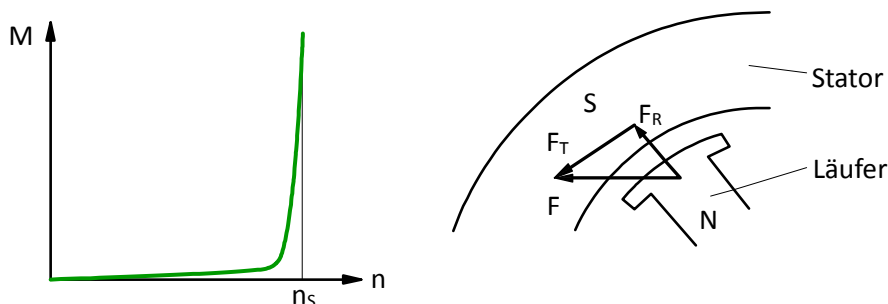


Die Phasenlage muss nun so hingeregelt werden, dass die Lampen in der angegebenen Position leuchten. Stimmt die Frequenz nicht, rotiert das Lauflicht. Als letztes muss noch die Erregerspannung so eingestellt werden, dass die Scheitelwerte der Spannungen gleich sind zwischen Netz und Generator. Danach kann der Generator ans Netz geschaltet werden. Die Zuschaltung erfolgt heute automatisch.

2.1.2 Synchronmotor

Drehstrom-Synchronmotoren sind wie Synchrongeneratoren aufgebaut. Durch die Statorwicklung wird ein Drehfeld erzeugt. Die Pole des Drehfeldes wirken auf den Läufer und ziehen diesen Synchron mit. Steht der Läufer still, so laufen die Pole des Drehfeldes so rasch am Läufer vorüber, dass sich keine Kraftwirkung aufbauen kann und der Motor nicht wegläuft. Erst wenn der Läufer annähernd Synchrondrehzahl hat wird er vom Drehfeld mitgezogen, deshalb benötigen Synchronmotoren eine Anlasshilfe. Zum Beispiel Asynchroner Anlauf durch eine zusätzliche Kurzschlusswicklung oder durch hohe Wirbelstromverluste im Läufer (bei Kleinmotoren).

Bei Belastung, hinkt der Läufer dem Drehfeld nach.



Wird der Lastwinkel so groß, dass der Anker zwischen zwei Polen des Drehfeldes zum liegen kommt, so erreicht das Drehmoment sein Maximum. Jedoch wird hier der Motor instabil, dass heißt, die Kraft kann abreißen und der Motor bleibt stehen. Daher spricht man auch vom Kippmoment. Daher wird der Synchronmotor in der Praxis nicht sehr gerne eingesetzt.

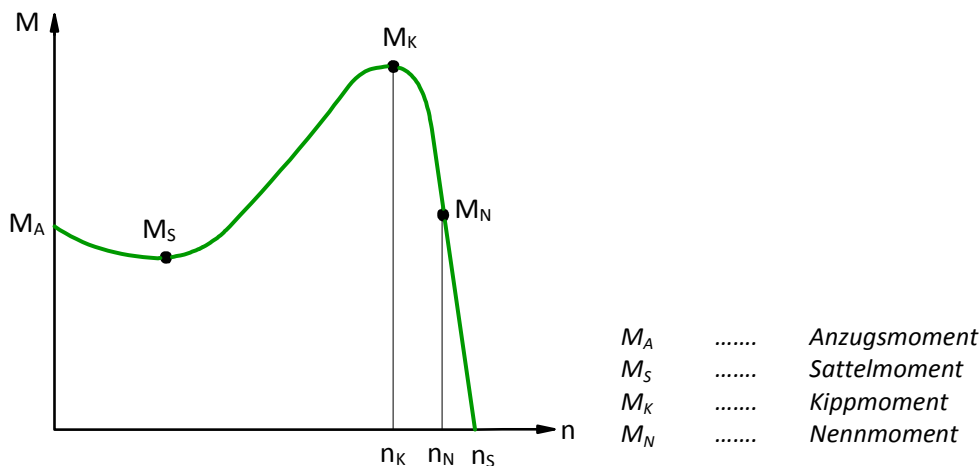
Eine Anwendung des Synchronmotors ist die Blindleistungskompensation. Da beim Synchronmotor ähnlich wie beim Synchrongenerator beim ändern des Erregerstromes Blindleistung produziert werden kann, dabei wird der Motor im Leerlauf betrieben und über die Erregung die momentan benötigte Blindleistung erzeugt.

2.2 Asynchronmaschine

Bei der Asynchronmaschine wird das Läuferfeld nicht wie bei der Synchronmaschine durch eine externe Stromquelle, sondern durch Selbstinduktion erzeugt. Dazu wird die Läuferwicklung kurzgeschlossen. Das umlaufende Drehfeld induziert im Läufer eine Spannung, die in Folge des Kurzschlusses einen Strom hervorruft. Dadurch erfährt die Läuferwicklung eine Kraftwirkung und der Läufer beginnt sich zu drehen. Die induzierte Spannung ist umso höher, je höher die Frequenz des zu erregenden Feldes ist. Bei Stillstand des Läufers ist sie am höchsten. Dreht sich der Läufer mit Synchrondrehzahl, so wird keine Spannung induziert und das Drehmoment sinkt auf null. Daher dreht sich die Asynchronmaschine stets langsamer um das nötige Drehmoment liefern zu können. Diese Abweichung bezeichnet man als Schlupf.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

n_s Synchrondrehzahl
 n Läuferdrehzahl



Daher auch der Name Asynchronmaschine. Je stärker die Maschine belastet wird desto größer ist der Schlupf. Er liegt meistens zwischen 4-10%.

Das maximale Drehmoment entwickelt die Asynchronmaschine nicht beim Anlauf, obwohl hier die höchste Läuferspannung induziert wird, sondern bei ca. 80% der Synchrondrehzahl. Der Grund dafür ist der Blindwiderstand der Läuferwicklung, der proportional zur Frequenz des Läuferstromes ist, Diese sinkt mit steigender Drehzahl des Läufers.

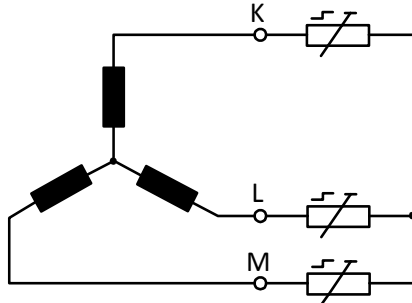
$$f_L = f_{Netz} \cdot s \quad (\text{bei Stillstand } s=1)$$

Und damit auch der Blindwiderstand. Steigt die Drehzahl über n_K , so wird der Blindwiderstand gegenüber dem ohmschen Wicklungswiderstand vernachlässigbar und der Läuferstrom fällt proportional mit der Induzierten Spannung ab. Das Minimum bei M_S kommt durch unerwünschte Oberschwingungen zustande. Bei Drehzahlen über n_s geht die Asynchronmaschine in den Generatorbetrieb über (Kennlinie ist spiegelsymmetrisch)

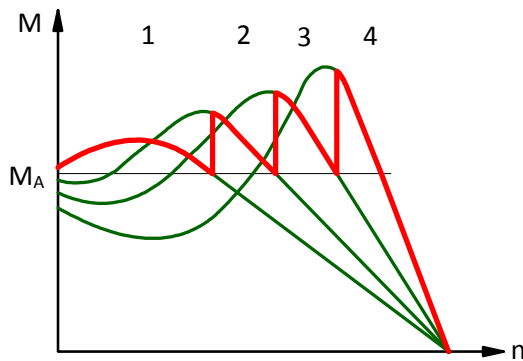
2.2.1 technische Ausführungsformen

2.2.1.1 Schleifringläufermaschine

Der Läufer besteht aus einer in sterngeschalteten Dreiphasenwicklung, die über Schleifringe an Widerstände angeschlossen ist.



Durch die Widerstände, wird der Anlaufstrom verkleinert aber die Phasenverschiebung zum Statorfeld verringert das heißt die Maschine nimmt jetzt mehr Wirkleistung auf und das Anzugsmoment erhöht sich. Um den Motor mit relativ konstantem Drehmoment hochzufahren, werden die Widerstände stufenweise weggeschaltet.



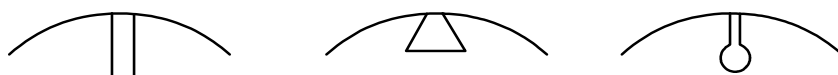
1-4 Kennlinien mit abnehmendem Widerstand

Verwendung: für Motoren mit sehr großer Leistung die unter Last hochgefahren werden müssen. Z.B.: Pumpen für Pumpspeicherkraftwerke, Ölpipelines Bergbaumaschinen, Gesteinsmühlen etc. Außerdem ändert sich die Drehzahl bei konstanter Last, wenn der Widerstand verändert wird (Kurven werden flacher) Dadurch lässt sich eine geringe Drehzahlbeeinflussung erzielen. Diese Anwendung ist aber durch die Frequenzumrichtertechnik überflüssig geworden.

2.2.1.2 Kurzschlussläufer

Hier besteht die Läuferwicklung aus Kupferstäben, die an den Stirnseiten des Läufers durch Kupferringe kurzgeschlossen sind, bei kleineren Motoren wird aus Kostengründen auch Aluminium verwendet. Die Wicklung hat die Form eines Käfigs daher auch die Bezeichnung Käfigläufer. Die Stege werden meist schräg gestellt um ein von der Läuferstellung unabhängiges Drehmoment zu erzeugen. Die Form der Stäbe, ist entweder rund oder beim so genannten Stromverdrängungsläufer sehr schmal.

Stromverdrängungsläufer:



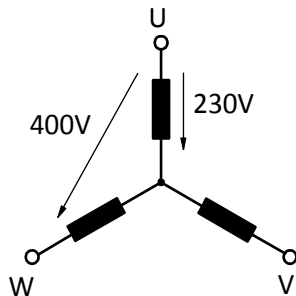
Durch diese Formen steigt der Wirkwiderstand aufgrund der Stromverdrängung bei höheren Frequenzen an. Dies hat eine ähnliche Wirkung wie die Anlasswiderstände der Schleifringläufermaschine. Nämlich das Absinken des Stromes bei gleichzeitiger Erhöhung des Drehmoments.

Durch diese Formen steigt der Wirkwiderstand auf Grund der Stromänderung, bei höheren Frequenzen an. Dies hat eine ähnliche Wirkung wie der Anlasswiderstand bei der Schleifringläufermaschine. Nämlich das Absinken des Stromes, bei gleichzeitiger Erhöhung des Drehmoments.

Beim Anlassen des Kurzschlussläufermotors, muss wiederum der Einschaltstrom begrenzt werden (ähnlich wie beim Gleichstrommotor).

Bis cirka 4KW kann der Motor direkt ans Netz geschaltet werden. Bis cirka 11kW kann ein so genannter Ster-Dreieck-Anlauf erfolgen.

Stern Dreieckschaltung:



$$U_{st} = \frac{400V}{\sqrt{3}} = 230V$$

Dadurch nimmt der Motor nur 1/3 der Leistung auf. Wenn der Motor seine Drehzahl erreicht hat, wird der Motor in Dreieck geschaltet.

Somit erklärt jeder Wicklungsstrang die volle Spannung und der Motor kann seine Nennleistung abgeben.

Bei nach größeren Leistungen müssen Anlasswiderstände verwendet werden bzw. die Zeitgemäße Lösung wäre eine Kurzschluss-Sanftanlauf-Schaltung (KUSA).

Bei dieser wird der Strom über eine Phasenanschnittsteuerung langsam hochgefahren und die eingestellte Stromgrenze wird überwacht. Damit kann auch während des Betriebs eine Kurzschlussüberwachung erfolgen. Kurzschlussläufermotoren sind die am häufigsten verwendeten Motoren, da sie kostengünstig sind und keine Verschleißteile besitzen.

3 Einphasenwechselstrommotoren

Prinzipien:

Einphasenwechselstrommotoren

Gleichstrommotor
(Reihenschluss)

Drehfeldmotor (Synchron, asynchron)
(2 Phasen => Hilfsphase erzeugt)
Kondensatormotor
Spaltpolmotor

3.1 Einphasen-Reihenschlussmotor

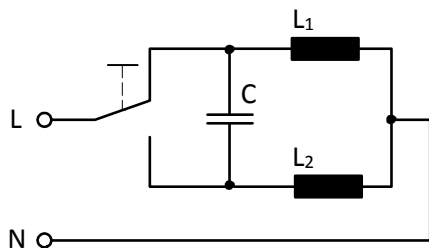
Da Ankerstrom und Erregerstrom stets gleich sind, bleibt die Drehrichtung auch dann gleich wenn die Spannung umgepolt wird. Das heißt, wird eine Wechselspannung an den Motor angelegt, so ergibt sich ein Drehmoment, das mit doppelter Netzfrequenz um seinen Mittelwert schwankt. Auf Grund der Massenträgheit stellt sich ein Mittleres Drehmoment ein. Ein Nebenschlussmotor eignet sich hierfür nicht, da durch die unterschiedlichen Wicklungsinduktivitäten eine hohe Phasenverschiebung zwischen den Strömen besteht und der Motor somit viel Blindleistung aufnimmt.

Reihenschlussmotoren werden bis cirka 1KW in sehr großer Zahl eingesetzt, für Elektrowerkzeuge, Haushaltsgeräte etc. Für größere Leistungen müssen wiederum Wendepole und Kompensationswicklungen vorgesehen werden, allerdings erzeugt die Selbstinduktionsspannung die beim Betrieb mit Wechselstrom auftritt, ein erhöhtes Bürstenfeuer. Dieses kann durch Reduzieren der Netzfrequenz reduziert werden (16 2/3 Hz). Der Reihenschlussmotor ist wiederum über die Höhe der Spannung drehzahlregelbar (Phasenanschnittsteuerung).

Ein Nachteil des Reihenschlussmotors ist das Durchgehen wenn keine Last vorhanden ist. Falls dieser Betriebsfall auftreten kann, so kann durch Parallelschalten eines Widerstands zur Ankerwicklung dies verhindert werden (Barkhausenschaltung).

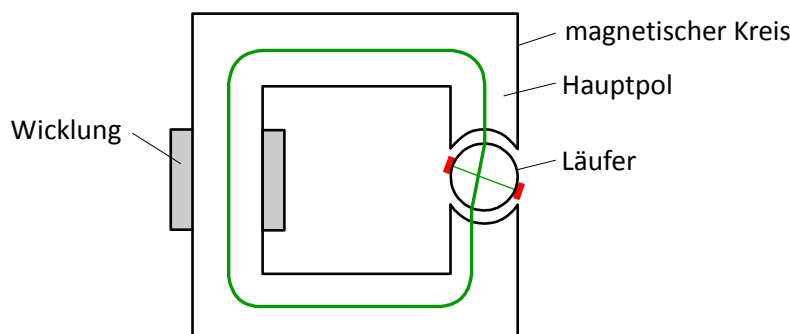
3.2 Kondensatormotor

Ist ein Zweiphasendrehfeldmotor, wobei die 2. Phase durch eine 90° Phasenverschiebung des Stromes über einen Kondensator erzeugt wird.



Je nach Schalterstellung ist der Kondensator einmal zu L_1 in Serie und einmal zu L_2 . Somit kann die Drehrichtung geändert werden. Der Läufer besteht meistens aus einem Dauermagneten (Synchronmotor), kann aber auch als Kurzschlusskäfig (Asynchron) Motor ausgeführt werden. Er wird häufig für geringe Leistungen mit wenigen Watt gebraucht. Verwendung: zum Antrieb für Nockenschaltwerken (z.B. Programmsteuerung von Waschmaschinen) als Betriebsstundenzähler oder ähnliches.

3.3 Spaltpolmotor

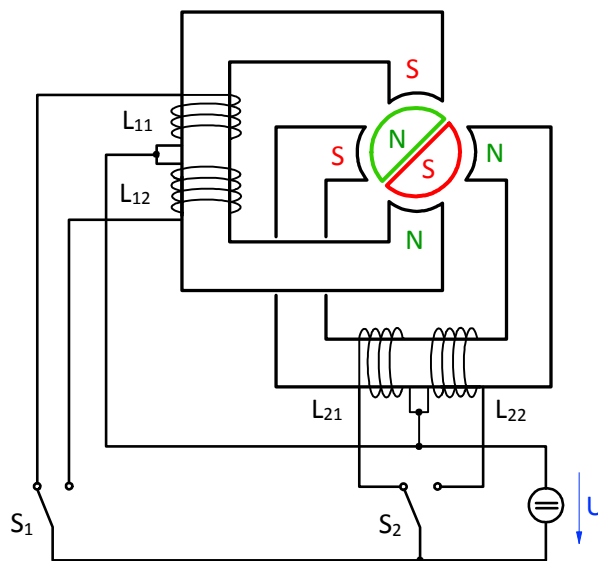


Die beiden senkrecht aufeinander stehenden Feldkomponenten werden durch einen asynchron gespaltenen Hauptpol erzeugt. Ein Teil des Feldes liefert der Hauptpol selbst, der zweite Teil wird durch den Kurzschlussring im Spaltpol erzeugt. Dieser ist, da er durch Induktion erzeugt wird, 90° Phasen verschoben. Da das Spaltpolfeld schwächer ist, als das Hauptfeld, entsteht ein elliptisches Drehfeld. Daher haben Spaltpolmotoren einen schlechten Wirkungsgrad. Sie sind aber in der Herstellung billig und werden daher für untergeordnete Anwendungen verwendet. z.B.: Laugenpumpen in Waschmaschinen, Lüfter. Die Drehrichtung ist nicht umschaltbar so läuft immer von Haupt zu Spaltpol. Der Läufer kann wiederum als Synchron oder Asynchron ausgeführt werden.

4 Schrittmotor

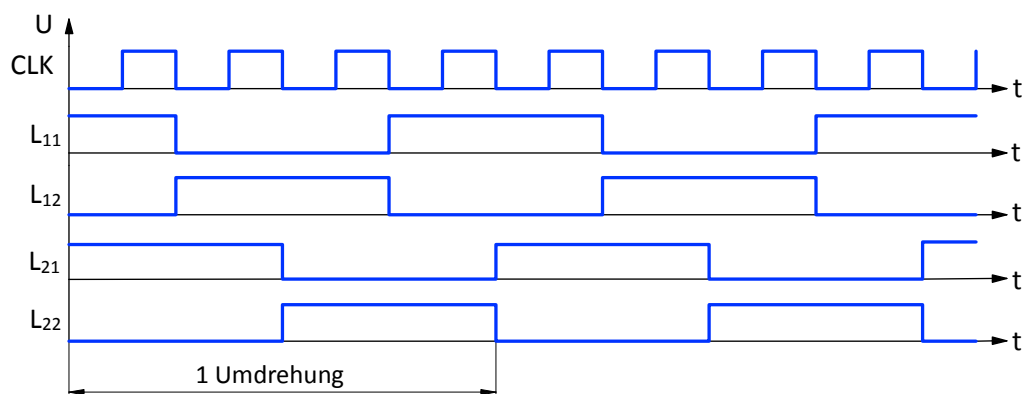
Schrittmotoren gehören wieder zur Kategorie der Drehfeldmotoren. Meist wird es durch 2 Magnetische Kreise angesteuert (2 Strangschrittmotor) seltener werden 1 oder 5 Strangmotoren gebaut. Der Läufer des Schrittmotors dreht sich bei jedem Stromimpuls (Rechteck) um einen gleich bleibenden Winkelschritt weiter. Bei Rascher Impulsfolge geht die Schrittbewegung in eine kontinuierliche Drehbewegung über. Die Bewegung des Schrittmotors ist stets proportional zur Impulszahl.

4.1 unipolaren Zweistrangschrittmotors



Durch abwechselndes Umpolen der 2 Magnetischen Kreise entsteht im Läufer ein Drehfeld welches zu einer Drehung um jeweils einen Schrittwinkel führt.

4.1.1 Vollschrittbetrieb



- Schrittwinkel

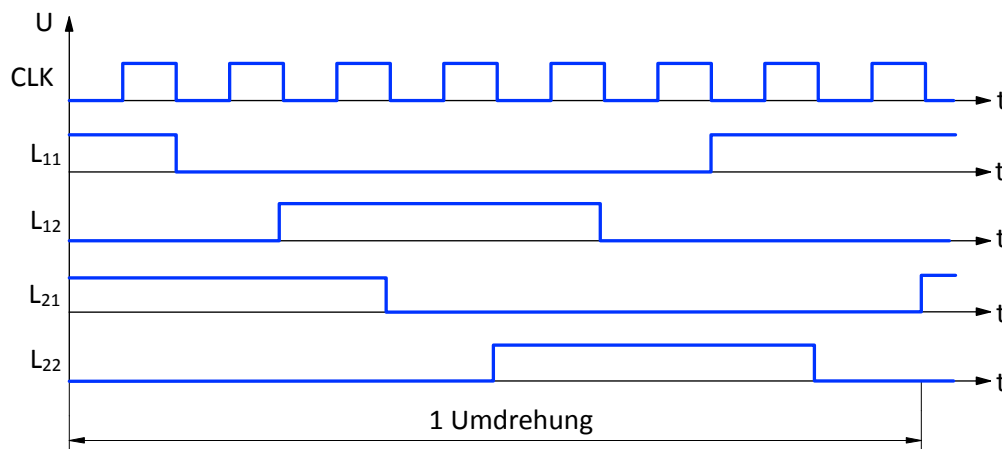
$$\alpha = \frac{360^\circ}{p \cdot m}$$
m...Strangzahl
p...Polzahl des Läufers
- Schrittzahl

$$Z = p \cdot m$$
- Drehzahl

$$n = \frac{f_{Sch}}{Z}$$
f_{Sch}...Schrittfrequenz

4.1.2 Halbschrittbetrieb

Hier wird beim Umschalten eines Stranges ein Zwischenschritt eingefügt, indem der Wicklungsstrang einen Takt lang abgeschaltet wird. Dadurch dreht sich der Läufer nur um den halben Schrittwinkel wodurch sich die Schrittzahl verdoppelt.



- Schrittwinkel

$$\alpha = \frac{360^\circ}{2 \cdot p \cdot m}$$
- Schrittzahl

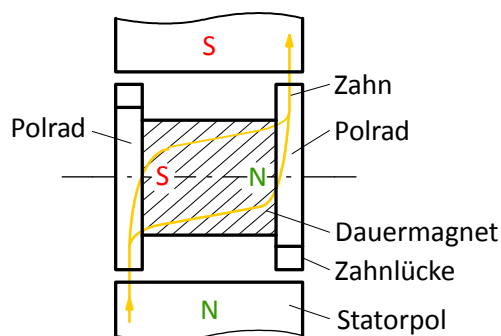
$$Z = 2 \cdot p \cdot m$$
- Drehzahl

$$n = \frac{f_{Sch}}{Z}$$

Um den Schrittwinkel des Motors zu verkleinern, erhöht man die Polzahl des Läufers.

Um die hohe Zahl an Polen zu erreichen, gibt es 2 Möglichkeiten.

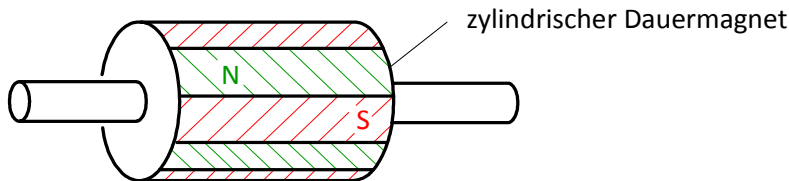
a. Gleichpolprinzip



Dabei ist ein Zylindrischer Dauermagnet zwischen 2 gezahnten Polrädern angeordnet. Dadurch erhalten die Zähne jedes Polrades dieselbe Polung. Die beiden Polräder sind jeweils um eine halbe Zahnteilung versetzt.

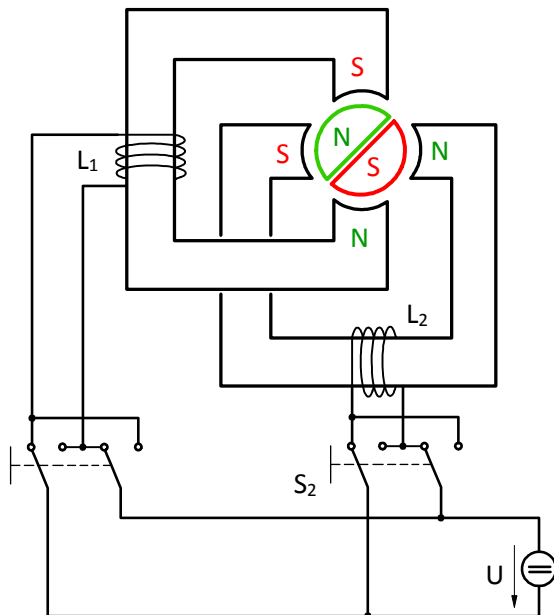
Der magnetische Fluss geht über die einen Polzähne des Polrades, durch den Stator über die Zähne des anderen Polrades wieder zurück in den Läufer. Der Fluss wechselt also bei jedem Schritt von einem Polrad zum anderen da sich der magnetische Widerstand ändert.

b. Klauenpolprinzip



Diese Variante ist billiger hat aber eine wesentlich geringere Auflösung.

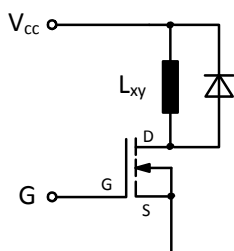
4.2 **Bipolarer Zweistrangmotor**



Neben der unipolaren Ansteuerung gibt es auch eine bipolare Ansteuerung. Bei dieser befindet sich in jedem magnetischen Kreis nur eine Wicklung. Die abwechselnd umgepolt wird. Das Impulsdigramm verläuft genauso wie beim unipolaren Motor, es ist ebenfalls wieder Voll- und Halbschrittbetrieb möglich.

4.2.1 **Ansteuerung**

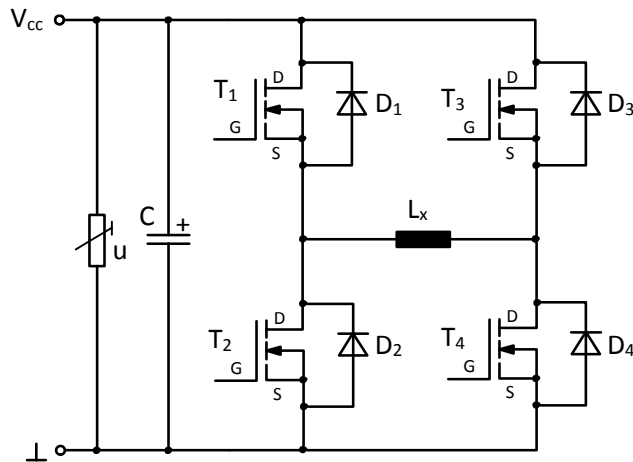
4.2.1.1 Unipolar



Für jede der vier Wicklungen wird eine Schaltstufe benötigt. Die die jeweilige Wicklung Ein- bzw. Ausschaltet. Um die beim abschalten Selbstinduzierte Spannung zu unterdrücken, werden Freilaufdioden eingebaut.

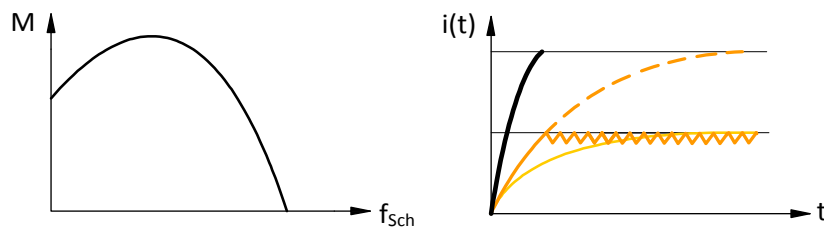
4.2.1.2 Bipolar

H-Brücke:



Da die Spule in beide Richtungen mit Strom durchflossen wird, müssen einmal T_1, T_4 angesteuert werden das andere Mal T_2, T_3 . Beim Abschalten eines Transistorpaares baut sich die Energie im Magnetfeld der Spule ab, das heißt die Wicklung wird zum Spannungserzeuger, dadurch bleibt der Stromfluss aufrecht und die Spannung kehrt sich um. Somit werden die Freilaufdiodes des jeweils anderen Zweiges aktiv und leiten den Strom in den Gleichstromversorgungskreis zurück. Diese kann von einem Kondensator zwischengespeichert werden. Wird die Spannung zu groß, so muss sie durch entsprechende Maßnahmen wieder abgebaut werden.

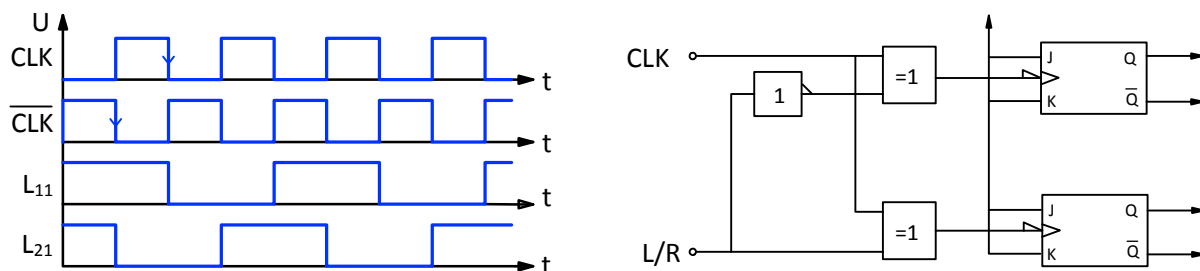
Schwierig gestaltet sich die Ansteuerung der highside Transistoren T_1, T_3 , da ihr Source Potential abhängig vom Schaltzustand schwankt. Sind jedoch mittlerweile Halbleiter erhältlich, die solche Highsidetreiberschaltungen enthalten, sodass der Aufbau relativ einfach wird. Da der Stromaufbau in der Motorwicklung eine gewisse Zeit dauert, Aufgrund der Induktiven Trägheit, fällt bei höheren Taktfrequenzen das Drehmoment sehr rasch ab.



Um den Stromaufbau zu beschleunigen, wird der Motor mittels höherer Spannung versorgt und über einen Stromregler pulswidenmoduliert angesteuert. Für diese Aufgabe gibt es eigene Treiber ICs.

Erzeugung der Schaltsignale für die Wicklungen.

Vollschrittansteuerung für 2 Strangmotoren mit Richtungsumschalter.



Für die Ansterelektronik ist eine Vielzahl verschiedener Halbleiterbausteine erhältlich. Sowohl für die Takterzeugung als auch für den Leistungsteil.

Verwendung:

Stell- und Positionierantriebe für Maschinen und Anlagen, für elektronische Peripheriegeräte wie Drucker, Kurvenschreiber, Schrittmotormesswerke, etc.

5 Elekt. kommutierter Gleichstrommotor

Klassische Gleichstrommotoren besitzen eine mechanische Kommutierungseinrichtung. Diese bringt folgende Nachteile mit sich:

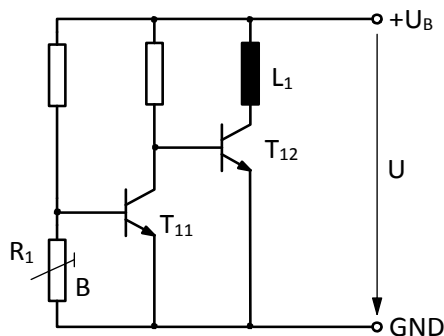
- Begrenzte Lebensdauer durch Verschleiß
- Kontaktprobleme bei kleineren Spannungen
- Elektromagnetische Störungen (Bürstenfeuer)
- Erhöhte Laufgeräusche

Die Kommutierung des Motors kann entfallen, wenn statt des räumlich feststehenden Erregerfeldes, ein rotierendes Feld erzeugt wird. Dieses muss so gesteuert werden, dass es immer senkrecht auf dem Ankerfeld steht. Dann kann das Ankerfeld einen konstanten Wert haben (Dauermagnetläufer) und der Motor zeigt dasselbe Verhalten wie ein Gleichstrommotor. Für die Erzeugung des Erregerfeldes ist eine entsprechende Ansteuerlektronik notwendig. Daher die Bezeichnung elektronisch kommutierter Gleichstrommotor oder Bürstenloser Gleichstrommotor.

Der Stator besteht aus einer Drehfeldwicklung, wobei die Wicklungsstränge in Abhängigkeit von der Rotorstellung ein und ausgeschaltet werden.

Die Ermittlung der Rotorposition erfolgt durch Magnetfeldsensoren (Feldplatten [MDR], Hallensensoren;

Bsp:

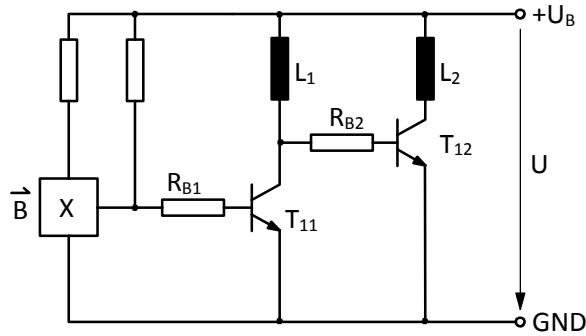


Die Ansteuerwicklung erhält für jede Wicklung eine entsprechende Steuerstufe. Steht der Läufer so, dass die Flussdichte bei R_1 am größten ist, so wird dieser hochohmig wodurch die Spannung an der Basis von T_{11} steigt und der Transistor zu leiten beginnt. Damit zieht er die Basis von T_{12} auf Masse und die Wicklung L_1 wird abgeschaltet. Die übrigen Wicklungen erzeugen ein Magnetfeld, das 90° zum Läuferfeld steht. Dreht sich der Läufer weiter so passiert derselbe Vorgang mit den anderen Schaltstufen. Damit bewegt sich das Erregerfeld stets 90° vor dem Erregerfeld.

Bsp.: PC-Lüfter

Klauenpole, Glockenläufer

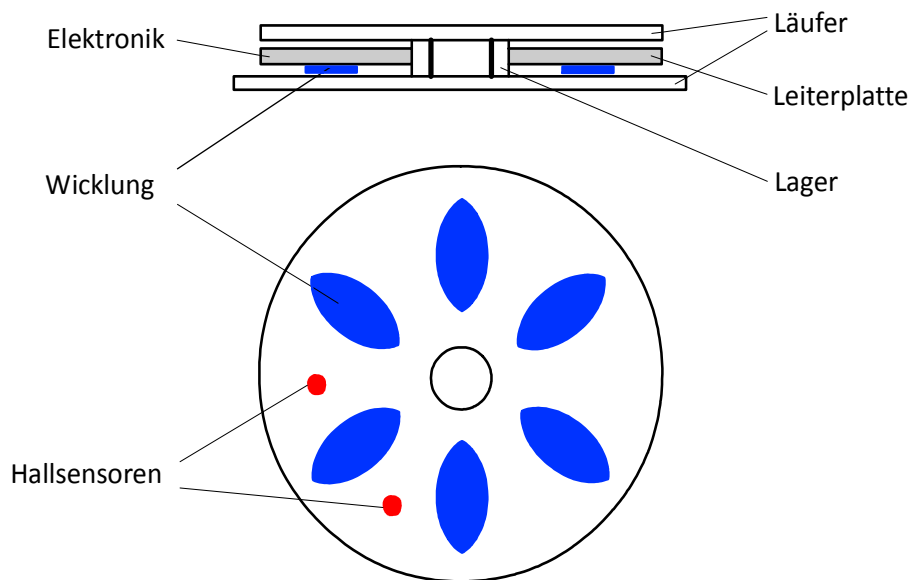
Besteht aus 2 Wicklungen die durch Klauenpole ein 3 poliges Wicklungsfeld erzeugen



Hallsensor (X) mit ok-Ausgang

Bsp.: Antrieb für Disketten, Festplatten, Cd-Laufwerk

=> Scheibenläufermotor



Mitte der 80er Jahre haben die elektrisch kommutierten Gleichstrommotoren auch Einzug in die Servoantriebstechnik gehalten. Durch entsprechende Magnetwerkstoffe (Samarium-Kobalt Legierungen) konnten erstmals Leistungen bis 30KW erzeugt werden. Der Aufbau solcher Servomotoren ist ähnlich dem eines Synchronmotors. Aufgrund der hohen Dynamik wird wider rum eine schlanke Bauform eingesetzt. Die Ansteuerung erfolgt über eine B6-Brückenschaltung. Diese Motoren (AC-Servo) haben die klassischen Gleichstromservoantriebe (DC-Servo) Größtenteils verdrängt.