Biowasserstoff-Magazin

Energie für neues Denken

Themenheft Elektromotoren • 15. Dezember 2014

Themen in dieser Ausgabe:

Elektromotoren
- Kennzahlen
  - Einschaltdauer
  - Betriebsarten
  - Wirkungsgrad / Effizienz
  - Leistungsklassen / Stromverbrauch
- Typen-Übersicht
  - Linearmotor
  - Drehstromasynchron-motor (DASM)
  - Schleifringläufermotor
  - Drehstromsynchron-motor
  - Schrittmotor
  - Servomotor
  - Universalmotor
  - Gleichstrommotor
  - Polumschaltbare Motore
  - Anwurfmotor
  - Kondensatormotor
  - Spaltpolmotor
  - Kappelmotor
  - Rohrmotor
  - Scheibenläufer
  - Ultraschallmotor
  - Micro-Motor
  - Nanomotor

Beispiele
- Anlasser
- Startergenerator
- DynaStart®
- Hybridmodul

- Neuer Wein in alten Schläuchen... | Wo leben wir denn?

Impressum: Seite 36

Elektromotoren – Manfred Richey

Elektromotoren gehören zur Gruppe der elektrischen Maschinen.

Zitat aus de.wikipedia.org

Eine elektrische Maschine ist eine in der elektrischen Energietechnik eingesetzte Maschine und stellt eine Form von Energiewandler dar. Es wird zwischen rotierenden elektrischen Maschinen, dazu zählen verschiedene Typen von Elektromotoren und elektrischen Generatoren, und ruhenden elektrischen Maschinen, zu denen nur Transformatoren zählen, unterschieden. Allen elektrischen Maschinen gemeinsam ist, dass sie in ihrem Aufbau über einen magnetischen Kreis verfügen, welcher für die Funktion wesentlich ist.

Zitat-Ende

Neben den in der Definition genannten *„rotierenden elektrischen Maschinen“* gibt es in neuerer Zeit auch noch die so genannten Linearmotoren, die keine rotierende, sondern eine lineare Bewegung ausführen. Einsatz z. B. in der Magnetschwebebahn.

Abb. 1 – Diverse Elektromotoren, mit 9V-Batterie als Größenvergleich. Quelle: de.wikipedia.org, Urheber: en:User:C_J_Cowie

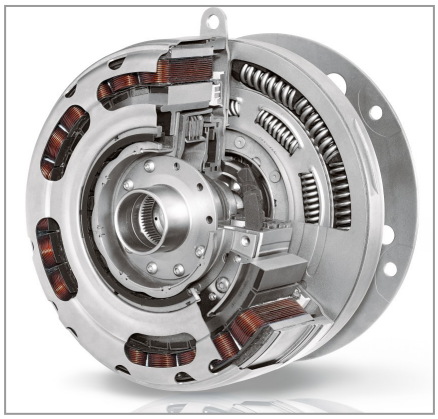

Abb. 2 – Modernes Hybridmodul, Bild-Quelle/©: zf.com

Elektromotoren und Elektrogeneratoren werden heute in fast allen Bereichen des Alltags, der Technik, der Industrie, des Verkehrswesens, der Medizin und anderer Gebiete verwendet. Der Leistungsbereich erstreckt sich im Bereich von unterhalb von einem Mikrowatt (z. B. Uhrwerke oder Mikrosystemtechnik) bis hin zum Gigawattbereich (1 GW = 1.000.000.000 Watt), z. B. wie bei den im Kraftwerksbereich eingesetzten Turbogeneratoren.

(Fortsetzung auf Seite 2)

(Fortsetzung von Seite 1)

Je nach Anwendung und Einsatz gibt es Elektromotoren/Generatoren, die für einen Betrieb mit Gleichstrom, Wechselstrom oder Drehstrom ausgelegt sind. Zusätzlich gibt es Modelle, die an Frequenzumrichtern betrieben werden sowie Schritt- und Servomotoren. Und dann sind da noch die Hybridmodelle – also Motor und Generator in einem.

Die folgenden Beiträge befassen sich mit Elektromotoren und Elektrogeneratoren für den allgemeinen Einsatz sowie in herkömmlichen und modernen Fahrzeugen. Hier kommen auch die so genannten DynaStart®-Anlagen zum Einsatz, die sowohl als Elektromotor zum Antrieb dienen als auch als Generator zur Energieerzeugung/Energierückgewinnung.

Anforderungen und Spezifikationen

Je nach Anwendung und vorgesehenem Einsatzgebiet können die Anforderungen – und damit auch die Spezifikationen – der Elektromotoren/Elektrogeneratoren sehr große Unterschiede aufweisen. So sind beim klassischen Anlasser (Startermotor) für PKW/LKW kurzzeitig höchste Leistungen gefordert, danach kommt eine sehr lange Ruhephase, in der das Gerät abkühlen kann. Zudem hält sich die Gesamtzahl der Verwendung in Grenzen von einigen Tausend bis Zehntausend Zyklen – bezogen auf die vorgesehene Gesamtnutzungsdauer. Bei modernen Systemen mit Start-/Stopptechnik – z. B. Motor-Stopp beim Stand vor Ampeln usw. – sehen die Anforderungen schon ganz anders aus. In Phasen stockenden Verkehrs können die Zeiten zwischen dem Stopp und Start bei wenigen Minuten liegen und das über eine halbe Stunde oder längere Zeiträume. Hier muss dafür gesorgt werden, dass keine Überhitzung eintritt. Zudem steigt die Häufigkeit der Zyklen stark an und kann über die gesamte Nutzungsdauer einige Hunderttausend oder Millionen erreichen.

Bei einem Antriebsmotor für ein Elektroauto sind sowohl ein kurzzeitiger Betrieb als auch mehrere Stunden Dauerbetrieb gefordert. Rechnet man mit einer Nutzungsdauer von mehreren Jahren und z. B. 200.000 km Laufleistung, dann kommt man bei einer angenommenen durchschnittlichen Geschwindigkeit von 50 km/h auf 4.000 Stunden Nutzungsdauer.

Bei einer Umwälzpumpe für die Heizungsanlage kommt man bei der Nutzugsdauer von 15 Jahren locker auf mehr als das Zwanzigfache. Beispiel: Heizperiode Oktober bis Ende April im Vollbetrieb = 7 Monate x 30 Tage x 24 Stunden = 5.040 Stunden + ca. 1.000 Stunden in der Übergangszeit, wo die Pumpe nicht ständig läuft, ergibt rund 6.040 Stunden pro Jahr x 15 Jahre = 90.600 Stunden.

Allein diese beiden Beispiele zeigen, wie unterschiedlich die Anforderungen und damit die Spezifikationen sein können.

Als weitere Parameter sind Umwelteinflüsse wie Temperatur, Temperaturwechsel – hier besonders die sehr schnellen Wechsel z. B. von Minustemperaturen auf höhere Plustemperaturen im Einsatz in Kraftfahrzeugen, Feuchtigkeit, Spritz-/Sprüh-Wasser oder –Nebel, auch salzhaltig, ebenso zu beachten, wie auch der Luftdruck – z. B. in großen Höhen.

Für besonders sicherheitsrelevante Anwendungen ist die Zuverlässigkeit ein weiterer wichtiger Faktor und beim Einsatz in Fahrzeugen spielt das Gewicht eine große Rolle, da jedes zu bewegende Kilogramm Energie und damit Treibstoff kostet. Und bei alle dem muss auch der Wirkungsgrad der Geräte so hoch wie möglich sein, um die eingesetzte Energie optimal zu nutzen.

Nicht zuletzt spielen dann noch die Kosten und der Preis für Serienprodukte eine wichtige Rolle. An die Entwickler, Konstrukteure und Produktion sind also hohe Anforderungen gestellt.

Quellenhinweis: Bilder und Texte von de.wikipedia.org stehen unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ und dürfen, bei entsprechender Quellenangabe, frei verwendet werden.

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Elektromotoren – Kennzahlen – Manfred Richey

Es gibt verschiedene Kennzahlen für Elektromotoren. So können diese optimal für den jeweiligen Anwendungszweck ausgewählt bzw. beim Entwurf neuer Motoren definiert werden.

Über die ***Einschaltdauer*** wird definiert, ob der Motor für Dauerbetrieb oder eine entsprechend geringere Einschaltdauer geeignet ist. Damit können Material und Gewicht – und damit auch Kosten – bei Motoren mit nur geringer Einschaltdauer eingespart werden.

Eng im Zusammenhang damit steht die ***Betriebsart***. Hier werden dann noch weitere Merkmale mit einbezogen, z. B. Dauerbetrieb mit konstanter Belastung oder mit Laständerung usw.

Weitere, besonders heute wichtige Parameter sind ***Wirkungsgrad*** und ***Effizienz***. Hier gibt es inzwischen Normen und gesetzliche Vorgaben.

Einschaltdauer

Als Einschaltdauer (ED) bezeichnet man ein maximal zulässiges Betriebsintervall eines Betriebsmittels, nach dem eine Ruhephase zu erfolgen hat, um das Betriebsmittel nicht zu beschädigen oder zu zerstören. Die Nennbetriebsarten sind u. a. in der DIN VDE 0530-1 festgelegt.

Kennzahl

Die Einschaltdauer kann dimensionslos als Prozentangabe (Verhältnis von Nutzungsdauer zum Beobachtungszeitraum) angegeben werden. In der Regel wird ergänzend zur Prozentangabe der Nutzungszeitraum angegeben. Wenn nicht, gilt als Nutzungszeitraum 10 Minuten.

Beispiel Gleichstrommotor: 20 % ED S3 – also z. B. 2 Minuten Betrieb, dann 8 Minuten Auskühlung

Eine dimensionsbehaftete Einschaltdauer gibt explizit die maximale kontinuierliche Nutzung und die darauffolgende Ruhezeit an.

Beispiel Schweißgerät: 100 A / 50 % ED S2 30 Minuten: bei 100 A Schweißstrom 15 Minuten schweißen, dann 15 Minuten Pause.

Beide Angaben sind ineinander umrechenbar.

Die Einschaltdauer kann implizit auch als Kriterium zur Abschätzung der Belastbarkeit bzw. Überlastbarkeit, zu den im Gerätedesign realisierten Reserven und somit auch zur Qualitätsbeurteilung herangezogen werden. Bei Elektrowerkzeugen im Heimwerkerbereich ist meist nur eine kurze ED auf den Geräten vermerkt, wohingegen bei Geräten für den gewerblichen Einsatz eine hohe ED (bis hin zu 100 %) zulässig sein kann.

Betriebsarten

VDE 0530-1	Betriebsart
S1	Dauerbetrieb, konstante Belastung
S2	Kurzzeitbetrieb, konstante Belastung
S3	Aussetzbetrieb ohne Einfluss des Anlaufens auf die Temperatur
S4	Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufens auf die Temperatur
S5	Aussetzbetrieb mit Einfluss des Anlaufens & Bremsen auf die Temperatur
S6	Durchlaufbetrieb mit Aussetzbelastung
S7	Dauerbetrieb mit Anlauf & Bremsen
S8	Dauerbetrieb mit Laständerung

(Fortsetzung auf Seite 4)

(Fortsetzung von Seite 3)

Beispiele

Eine Einschaltdauer wird dann angegeben, wenn ein Gerät die Nennleistung nur zeitweise bereitstellen kann. Dies ist meist dann der Fall, wenn die Verlustwärme nicht ausreichend schnell abgeführt werden kann und deswegen auf Dauer Schäden oder vorzeitiges Versagen zu erwarten wären.

Man findet Angaben zur ED z. B. oft bei folgenden Geräten

- Schweißgeräte
- Elektromotoren
- Gleichstrommotoren
- Schleifmaschinen
- Starkstromrelais
- Magnetventile
- Küchengeräte, wie Stabmixer oder Kaffeemühle

Geräte mit 100 % ED können beliebig lange betrieben werden.

Wirkungsgrad und Effizienz

Technologisch veraltete Elektromotoren führen zu einem erhöhten Energieverbrauch. 1998 wurde eine freiwillige Vereinbarung zwischen dem europäischen Sektorkomitee für elektrische Antriebe CEMEP und der Europäischen Kommission getroffen. In dieser heute veralteten Vereinbarung wurden drei Wirkungsgradklassen definiert:

EFF3 = Motoren mit niedrigem Wirkungsgrad

EFF2 = Motoren mit verbessertem Wirkungsgrad

EFF1 = Motoren mit erhöhtem Wirkungsgrad

In Jahr 2009 wurde eine neue weltweit geltende Normierung für die Effizienzklassen (EN 60034-30:2009) eingeführt. Die folgenden Wirkungsgradklassen für Niederspannungs-Drehstrom-Asynchronmotoren im Leistungsbereich von 0,75 kW bis 375 kW sind heute geltend:

IE1 = Standard Wirkungsgrad (vergleichbar EFF2, im Betrieb >90 %, Vertrieb seit Juni 2011 nur noch eingeschränkt gestattet)

IE2 = Hoher Wirkungsgrad (vergleichbar EFF1, im Betrieb >94 %)

IE3 = Premium Wirkungsgrad

IE4 = Super Premium (>97 % realisiert)

Seit 16. Juni 2011 dürfen ungeregelte Motoren (0,75-375 kW) nur noch ab Leistungsklasse IE2 (>94 %) in Verkehr gebracht werden. Der Anteil hocheffizienter Motoren soll stetig ausgebaut werden. Beispiele sind die permanenterregten Synchronmotoren mit höchsten Wirkungsgraden.

Notwendigkeit zur Verbesserung von Wirkungsgrad und Effizienz

In einer Fallstudie des Fraunhofer Instituts aus dem Jahr 2011 sind unter anderem Daten über Leistungsklassen und Marktanteile sowie Stromverbrauch von Elektromotoren weltweit aufgeführt.

Wenn man die Zahlen liest und feststellt, dass im Jahr 2011 ca. 40 % des gesamten Welt-Stromverbrauchs mit insgesamt rund 7.200 TWh auf Elektromotoren entfiel, dann wird schnell klar, dass jede Verbesserung des Wirkungsgrades und der Effizienz hilft, damit dieser Wert durch die weiter zunehmende Verwendung von Elektromotoren nicht noch weiter steigt.

(Fortsetzung auf Seite 5)

(Fortsetzung von Seite 4)

Zwar wird der größte Anteil des Stromverbrauchs durch Elektromotoren durch Industrieanwendungen verursacht, aber zunehmend kommen auch immer mehr Elektroautos auf die Straße. Auch dadurch entsteht neuer Bedarf an Strom. Je höher die Effizienz der Elektromotoren ist, umso so geringer wird der Zuwachs ausfallen.

Hier nun die Daten *(Zitat, auszugsweise)*

Stromverbrauch durch Elektromotoren weltweit

Quelle: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fallstudie_Elektromotoren.pdf

Leistungsklassen Elektromotoren

Motorengröße		Marktanteil	Anteil am Stromverbrauch von Elektromotoren
Klasse	**Leistung**		
Klein	< 0,75 kW	90 %	9 %
Mittel	0,75 – 375 kW	10 %	68 %
Groß	> 375 kW	0,03 %	23 %
Gesamt			**ca. 40 % Weltstromverbrauch**

Quelle: nach (Waide und Brunner 2011), S. 30

Stromverbrauch Elektromotoren weltweit

Leistung	Ø Betriebs-stunden	Ø Last	Stromverbrauch pro Jahr	
			Absolut	**Anteil**
< 0,75 kW	1500	40 %	650 TWh	9 %
0,75 – 375 kW	3000	60 %	4900 TWh	68 %
> 375 kW	4500	70 %	1650 TWh	23 %
insgesamt			**7200 TWh**	100 %

Quelle: (Waide und Brunner 2011, 38)

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Elektromotoren – Typen-Übersicht – Manfred Richey

Elektromotoren – lange Historie, aber erst seit einigen Jahrzehnten richtig bedeutend

Geschichte der Entwicklung

1820 entdeckte der dänische Physiker und Philosoph Hans Christian Ørsted die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms, ein grundlegendes Phänomen des Elektromagnetismus. Ein Jahr später veröffentlichte Michael Faraday seine Arbeitsergebnisse über „elektromagnetische Rotation“. Er konstruierte eine Vorrichtung, bei der ein elektrischer Leiter um einen festen Magneten rotierte und im Gegenexperiment ein beweglicher Magnet um einen festen Leiter. 1822 entwickelte Peter Barlow das nach ihm benannte Barlow-Rad. Der britische Wissenschaftler William Sturgeon erfand 1832 einen weiteren Motorvorläufer. Auf dem europäischen Kontinent wirkten Ányos Jedlik (1827) und Hermann Jacobi an der Weiterentwicklung des Gleichstrom-Elektromotors. So entwickelte Jacobi bereits 1834 den ersten praxistauglichen Elektromotor in Potsdam und stattete 1838 in Sankt Petersburg ein sechs Personen fassendes Boot mit dem von ihm entwickelten 220 Watt starken Motor aus, was somit gleichzeitig auch die erste Anwendung eines Elektromotors in der Praxis darstellte. Auch der amerikanische Grobschmied Thomas Davenport in Vermont entwickelte einen Kommutatormotor. Auf sein Design wurde ihm am 25. Februar 1837 ein Patent erteilt.

Damit war um 1837/1838 die Grundlage für einen elektromotorischen Antrieb bekannt und auch bis zur anwendungstauglichen Arbeitsmaschine entwickelt. Werner von Siemens ließ im Jahre 1866 seine Dynamomaschine patentieren. Sie ermöglichte erstmals eine Erzeugung elektrischer Energie in größerem Umfang. Dies verhalf dem Elektromotor zum Durchbruch bei einer praxistauglichen breiten Anwendung.

Seit der ersten Entwicklung von Elektromotoren wurde eine Vielzahl von Typen entwickelt. Die folgende Übersicht erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und erhält zu einigen Typen kurze, bzw. teilweise etwas ausführlichere Erläuterungen.

Übersicht verschiedener Elektromotor–Typen

• Linearmotor

Ein Linearmotor (englisch Linear Motor) versetzt – anders als die weit verbreiteten rotierenden Maschinen – die von ihm getriebenen Objekte nicht in eine drehende Bewegung, sondern schiebt sie auf einer geradlinigen oder gekurvten Bahn (Translationsbewegung).

Der Begriff des Linearmotors wird auch für Antriebe verwendet, bei denen der Läufer sich dreht, aber nur zum Teil vom Stator umgeben ist (zum Beispiel Plattenteller- oder Waschtrommelantriebe).

Der Linearmotor wurde vor dem rotatorischen Motor erfunden. 1854 ließ Charles Grafton Page einen Solenoid-Linearmotor mit Schubkurbel patentieren (US-Patent 10480 "Improvement in electro-magnetic engines"). Die Maschine war für den Antrieb von Lokomotiven gedacht.

Einsatz in der Industrie

Linearmotoren werden in Werkzeugmaschinen, Positioniersystemen und Handlingsystemen in Bearbeitungszentren verwendet. Herkömmlich werden die Vorschubkräfte von einem sich drehenden Elektromotor erzeugt und in einem Getriebe in eine translatorische (lineare) Bewegung umgesetzt – die Bewegung wird also indirekt ausgeführt.

Linearmotoren ermöglichen es hingegen, direkt eine translatorische Bewegung darzustellen, man nennt sie deshalb auch Direktantriebe.

(Fortsetzung auf Seite 7)

(Fortsetzung von Seite 6)

Linearmotoren haben in diesem Bereich den Vorteil hoher Beschleunigungen von bis zur sechsfachen Fallbeschleunigung und von Verfahrgeschwindigkeiten bis 800 m/min (48 km/h). Die maximalen Kräfte, die mit asynchronen Polysolenoid-Linearmotoren erreicht werden, liegen derzeit bei 30 kN. Für das Erreichen noch höherer mechanischer Kräfte werden ebenfalls Konzepte mit gekühlten, supraleitenden Spulen entwickelt. Außerdem sind sie wegen der wenigen aufeinander reibenden Teilen besser für einen Einsatz in Reinräumen geeignet.

Linearmotoren werden auch häufig in Positioniergeräten oder verschiedenen anderen Maschinenarten, etwa bei Ultraschallmikroskopen, Plasmaschneidanlagen, Laserschneidanlagen und Wasserstrahlschneidanlagen, eingesetzt. Sie eignen sich auch als Pumpen für flüssige Metalle (zum Beispiel Natriumkreislauf in Atomkraftwerken), wobei die Spulen fest montiert sind und das flüssige Metall selbst als Läufer im Durchlaufrohr in Bewegung bringen.

Des weiteren werden Linearmotoren auch für Bahnantriebe (Transrapid/RailCab HSST oder auch Achterbahnen) eingesetzt.

Verstärkt werden Linearmotoren wegen der vielen konstruktiven Vorteile mittlerweile in Haushalts-Elektro-Kleingeräten wie elektrischen Zahnbürsten, elektrischen Rasierern, Mundduschen usw. verwendet. Als Stator kommen hierbei Magnete aus Neodym-Eisen-Bor zum Einsatz.

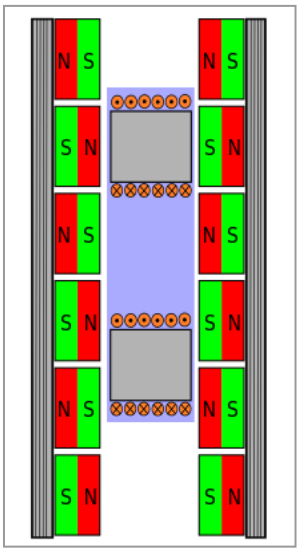

Abb. 1 – Schnittdarstellung eines Linearmotors.

Bild: wikimedia.org,
Autor: Mikiemike (talk)

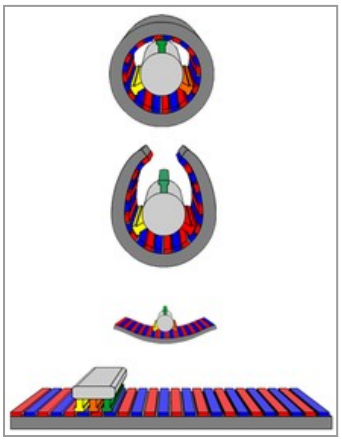

Abb. 2 – Von der rotierenden Maschine zum Linearmotor.

Bild: wikimedia.org,
Autor: Schnibbi678

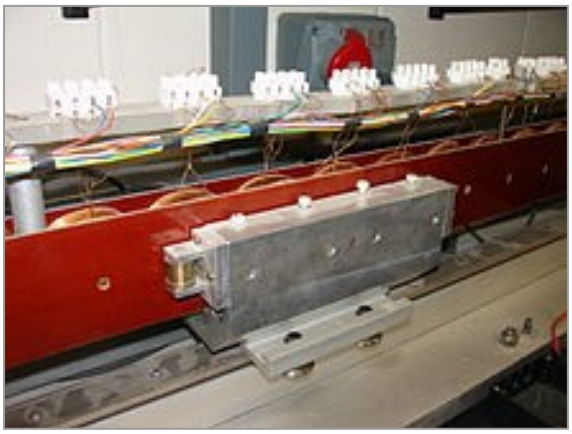

Abb. 3 – Praktisch aufgebauter Linearmotor.

Bild: wikimedia.org,
Autor: Zureks

Abb. 1 zeigt eine Schnittdarstellung eines Linearmotors. In der Mitte befinden sich die Spulen, rechts und links die Permanentmagnete. Die Linearbewegung tritt zwischen den Spulen und Permanentmagneten auf.

(Fortsetzung auf Seite 8)

(Fortsetzung von Seite 7)

• Drehstromasynchronmotor (DASM)

Eine Drehstrom-Asynchronmaschine, auch Drehstrom-Induktionsmaschine genannt, **kann entweder als Motor oder als Generator verwendet werden**. Sie besitzt einen passiven Läufer, der entweder ständig (Kurzschlussläufer, Käfigläufer) oder fallweise kurzgeschlossen wird (Schleifringläufer).

Beim Einsatz als Generator kann der Läufer dieser Asynchronmaschine auch mit einer abweichenden Frequenz erregt werden (Doppelt gespeiste Asynchronmaschine). Einphasig betreibbare Asynchronmotoren sind Kondensatormotor, Wechselstrommotor und Spaltpolmotor.

Die Drehstrom-Asynchronmaschine wurde 1889 von Michail Ossipowitsch Doliwo-Dobrowolski bei der Firma AEG entwickelt.

Der Asynchronmotor ist heute der am meisten verwendete Elektromotor. Drehstrom-Asynchronmaschinen werden mit Leistungen von bis zu mehreren Megawatt hergestellt. Der Vorteil gegenüber anderen Elektromotoren ist das Fehlen von Kommutator und Bürsten. Bürsten verschleißen und erzeugen Funken („Bürstenfeuer“), wodurch das Leitungsnetz mit hochfrequenten Schwingungen gestört wird. Außerdem dürfen Maschinen mit Bürsten wegen möglicher Wirkung des Bürstenfeuers als Zündquelle nicht in explosionsgeschützten Bereichen eingesetzt werden. Allerdings verursachen auch Asynchronmotoren – insbesondere beim Betrieb an einem Frequenzumformer – Oberschwingungen, die auf das Netz zurückwirken.

Typischer Aufbau

Der Motor besteht aus zwei Teilen, dem äußeren, feststehenden Ständer oder Stator und dem sich darin drehenden Läufer oder Rotor. Beidseits des schmalen Luftspalts fließen elektrische Ströme im Wesentlichen in axialer Richtung. Die Ströme sind in Spulendrähten konzentriert, die von weichmagnetischem Eisen umgeben sind. Das Eisen ist senkrecht zur Achse geblecht.

Abb. 1 – Normmotor mit Gebläse und Kühlrippen, Stern: 0,75 kW, 1420/min

Bild: wikipedia.org, Autor: Zureks

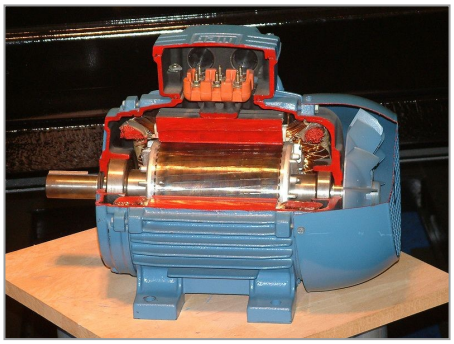

Abb. 2 – Schnittmodell durch den Stator bis zum Rotor

Bild: wikipedia.org, S.J. de Waard

Steuerung

Die Steuerung erfolgt meistens durch Schütze, je nachdem welche Betriebsart vorgesehen ist. Ein Beispiel ist die Stern-Dreieck-Schaltung. Man kann die Motordrehzahl auch über Umrichter, wie z. B. Frequenzumrichter steuern, indem man die Frequenz erhöht oder reduziert. Das ist sinnvoll bei Anlagen, die eine variable Drehzahl benötigen, ohne dass ein verstellbares Getriebe eingesetzt werden soll. In der Holzverarbeitung werden beispielsweise Motoren an Fräsmaschinen über einen Frequenzumrichter angeschlossen, um aus der Netzfrequenz von 50 Hz beispielsweise 200 Hz zu generieren, wobei

(Fortsetzung auf Seite 9)

(Fortsetzung von Seite 8)

die Drehzahl dann auf über 10.000 min^{-1} gesteigert werden kann. Die hohen Fliehkräfte, die auf den Rotor wirken, erfordern Sonderausführungen der Maschinen.

Anlaufschaltung

Asynchronmotoren besitzen einen hohen Einschaltstrom. Ist der Einschaltstrom nicht bekannt, geht man vom Achtfachen des Nennstromes aus. Um das Netz und angeschlossene Getriebe zu schonen, sowie das Auslösen vorgeschalteter Sicherungen zu vermeiden, verwendet man bei Asynchronmotoren spezielle Anlassverfahren. Das am häufigsten verwendete Verfahren ist die Stern-Dreieck-Schaltung. Hierdurch wird die Anlaufleistung auf etwa ein Drittel herabgesetzt. Das Anlaufmoment wird im gleichen Verhältnis reduziert. Mit dieser Schaltung wird der Motor durch Umsteuerung der Schütze nach der Hochlaufzeit mit in Stern geschalteten Wicklungssträngen auf Dreieckbetrieb umgeschaltet.

Frequenzumrichter können bei entsprechender Konfigurierung beziehungsweise Programmierung Asynchronmotoren sanft und lastangepasst hochfahren. Bei stärkeren Motoren muss das jeweilige Anlassverfahren mit dem Netzbetreiber abgestimmt werden.

Drehzahlregelung

Asynchronmaschinen können

- am starren Netz
- am Frequenzumrichter oder Direktumrichter
- mit Polumschaltung
- als Schleifringläufer als unter- oder übersynchrone Kaskade

betrieben werden.

Polzahl	Polpaarzahl	n_{sync} 50 Hz	n_{sync} 60 Hz
2	1	3000 min^{-1}	3600 min^{-1}
4	2	1500 min^{-1}	1800 min^{-1}
6	3	1000 min^{-1}	1200 min^{-1}
8	4	750 min^{-1}	900 min^{-1}
10	5	600 min^{-1}	720 min^{-1}
12	6	500 min^{-1}	600 min^{-1}
14	7	429 min^{-1}	514 min^{-1}
16	8	375 min^{-1}	450 min^{-1}

Unterschiedliche Polzahlen und Frequenzen ergeben folgende Drehzahlen für das Drehfeld:

Dies sind die Ständerdrehfeld-Drehzahlen, also die Drehzahl, die das Netz dem Motor über die Feldwicklungen im Stator aufprägt. Sie wird auch als synchrone Drehzahl bezeichnet.

Im Motorbetrieb liegen alle mechanischen Drehzahlen aufgrund des prinzipbedingten Schlupfes je nach Bauweise und aktueller Belastung jeweils geringfügig unter diesen Werten (meist 1 – 8 %). Prinzipbedingt deshalb, weil erst die Drehzahldifferenz zwischen Ständerdrehfeld und Rotor eine Spannung im Rotor induziert.

(Fortsetzung auf Seite 10)

(Fortsetzung von Seite 9)

Wichtige Drehzahlen sind die Leerlaufdrehzahl (Motor läuft ohne Last), die Nenndrehzahl (Motor liefert Nennleistung als Produkt von Nenndrehzahl und Nennmoment), Kippdrehzahl (maximales Drehmoment; wird dies von der Last überschritten, bleibt der Motor stehen) und Kurzschlussdrehzahl (Motor steht, Anlaufmoment, Anlaufstrom).

Wird die Drehstrom-Asynchronmaschine auf eine höhere als die synchrone Drehzahl angetrieben, so speist sie Leistung ins Netz zurück (Generatorbetrieb).

Vor- und Nachteile

Mit dem Siegeszug der Spannungsumformer werden heute nahezu ausschließlich Kurzschluss-Käfigläufermotoren (engl. squirrel cage induction motor) verwendet. Dieser Ausführungsart verdankt der Asynchronmotor seine Bezeichnung als „Arbeitspferd“ der elektrischen Antriebstechnik. Kombiniert mit einem entsprechend gesteuerten Frequenzumrichter ist er auch in der Lage, gegen große Gegenmomente von Arbeitsmaschinen anzulaufen. Die Frequenzumrichterbaugruppen übernehmen derzeit zunehmend auch die Aufgabe des Motorschutzes. Außerdem werden Motoren mit angebautem Frequenzumrichter angeboten. Hierdurch verringert sich der Verdrahtungs- und Entstöraufwand.

Vorteile

- lange Lebensdauer, wartungsarm, kein Bürstenverschleiß beim Kurzschlussläufer
- kurzzeitig stark überlastbar (bis größer 2× Nennmoment)
- Anlauf gegen hohe Gegenmomente ohne Hilfsmittel (auch abhängig von Läuferbauform)
- nahezu konstante Drehzahl, kein „Durchgehen“ im Leerlauf
- einsetzbar im Ex-Bereich (explosionsgefährdeter Bereich), da keine Bürsten oder Schleifringe (Vermeidung des Bürstenfeuers - Funkenbildung)
- vergleichsweise geringe Herstellungskosten
- der Läufer ist spannungslos und kann auch in Flüssigkeiten, Gasen oder im Vakuum laufen
- hohe Drehzahltauglichkeit, im Betrieb mit Frequenzumrichter durchgehend hoher Wirkungsgrad

Nachteile

- Drehzahlveränderung nur bei Sonderbauformen mit Polumschaltung oder mit zusätzlichem Frequenzumrichter möglich
- insbesondere bei kleinen Ausführungen ca. 20 bis 30 % mehr Volumen bei gleichem Drehmoment gegenüber permanent–magnetisierten Synchronmotoren
- Drei Außenleiter zur Versorgung notwendig (ersatzweise Frequenzumrichter oder Betriebskondensator (Kondensatormotor) bei Einphasenwechselstrom möglich)
- kleinerer Wirkungsgrad im Vergleich zur permanent magnetisierten Synchronmaschine bei hoher Momentausnutzung
- komplexe theoretische Verfahren zur Berechnung (im Vergleich zu anderen elektrischen Maschinen)
- Schritt- bzw. Servomotoren haben bei Positionieraufgaben Vorteile und sind im Vergleich leichter

• Schleifringläufermotor

Der Schleifringläufermotor ist ein Elektromotor der Bauart Drehstrom-Asynchronmaschine. Er unterscheidet sich von jenen meist mit Kurzschlussläufer ausgeführten Motoren dadurch, dass die Läuferwicklung nicht kurzgeschlossen, sondern über Schleifringe nach außen geführt ist.

(Fortsetzung auf Seite 11)

(Fortsetzung von Seite 10)

• Drehstromsynchronmotor

Eine Drehstrom-Synchronmaschine ist eine Drehstrommaschine, in der der Läufer immer synchron mit dem Statordrehfeld läuft. **Vom Prinzip her kann jede Drehstrom-Synchronmaschine als Motor und Generator betrieben werden**. Drehstrom-Synchrongeneratoren dienen in der Energiewirtschaft in einem weiten Leistungsbereich der Bereitstellung von elektrischer Energie und sind dort unentbehrlich. Drehstrom-Synchronmotoren finden vielseitigen Einsatz als Antriebsmaschinen in der Industrie, zum Beispiel als Antriebe für Fahrzeuge, Schiffe und Züge.

Anwendung

Hauptanwendungen der Synchronmaschinen sind die Drehstromgeneratoren in Kraftwerken. Fast die gesamte konventionelle Produktion elektrischer Energie erfolgt mit Synchrongeneratoren. In Wärmekraftwerken kommen Vollpolmaschinen mit Leistungen bis fast 2000 MVA und Ausgangsspannungen von 21 kV bis 27 kV zum Einsatz.

Im Mülheimer Siemens-Werk wurde der weltweit größte Generator für das finnische Kernkraftwerk Olkiluoto gefertigt. Er hat eine Bemessungsscheinleistung von 1992 MVA. Diese Generatoren, mit ihren schnell umlaufenden Turboläufern, werden in Einheit mit den Turbinen Turbosätze genannt.

Die langsamlaufenden Schenkelpolmaschinen in Wasserkraftwerken werden Wasserkraft- oder Hydrogeneratoren genannt und liefern bei maximal 25 kV Ständerspannung Leistungen bis zu 1000 MVA. Generatoren kleinerer Leistung von 10 kVA bis 10 MVA kommen in Kleinkraftwerken und Dieselgeneratoren zum Einsatz und sind meist ebenfalls als Schenkelpolmaschine ausgeführt.

Synchrongeneratoren für Windkraftanlagen werden zurzeit mit bis zu 6 MW Leistung gefertigt. Hinzu kommt der Einsatz bei der Versorgung von lokalen Netzen. So findet der Synchrongenerator auch Verwendung bei der Bereitstellung von Elektroenergie zum Betrieb von Schienenfahrzeugen und Schiffsantrieben sowie wohl zukünftig auch von Straßenfahrzeugen.

Eine Sonderbauform der Schenkelpolmaschine bildet die Klauenpolmaschine und kommt vor allem als Kfz-Generator (Lichtmaschine) zum Einsatz.

Drehstrom-Synchronmotoren großer Leistung dienen als Antrieb für Gebläse, Pumpen und Verdichter sowie teilweise als Bahnantriebe (TGV, AGV).

Mit der Möglichkeit, die Drehzahlregelung über Frequenzumrichter vorzunehmen, verdrängte der Synchronmotor große Gleichstrommaschinen, aber auch Gasturbinen zum Antrieb von Turboverdichtern. Im Bereich kleiner und mittlerer Leistung kommen Motoren mit Permanentmagneten für Hilfs- und Fahrzeugantriebe zur Anwendung.

Eine Anwendung im Bereich der Automatisierungstechnik stellt die Kombination von zwei Synchronmaschinen dar. Diese Kombination dient als Sensor und Aktuator zur Übermittlung von Winkelpositionen des Läufers und wird auch als Drehmelder oder als Drehmeldetransformator bezeichnet. Neben Synchronmaschinen werden als Drehmelder auch andere Maschinentypen eingesetzt.

Wirtschaftliche Aspekte

Die Wirtschaftlichkeit einer Maschine wird unter anderem durch die Anschaffungs- und Betriebskosten sowie den Wirkungsgrad bestimmt. Der Wirkungsgrad der Synchronmaschine (ca. 95...99 % in Abhängigkeit von der Baugröße und der nötigen Erregerleistung) liegt aufgrund der synchronen Strom- und Spannungsphasen generell über dem der Asynchronmaschine. Große Synchronmaschinen wie z. B. der Turbogenerator zählen damit zu den effektivsten Energiewandlern.

(Fortsetzung auf Seite 12)

(Fortsetzung von Seite 11)

Wegen der Erregereinrichtung der Synchronmaschine ist der Aufbau der Synchronmaschine komplexer als bei der Asynchronmaschine und damit auch teurer. Der Aufwand für die Steuerelektronik ist ähnlich hoch wie bei der Asynchronmaschine.

Permanentmagneterregte Synchronmaschinen erreichen noch höhere Wirkungsgrade, da ihnen keine Erregerleistung zugeführt werden muss. Bei gleichbleibender Leistung und größerer Leistungsdichte verringert sich die Masse der Maschinen oder verringert sich die Baugröße. Generatoren dieser Bauart erreichen in Windkraftanlagen einen Wirkungsgrad von über 98 % und liegen damit über dem Wirkungsgrad von Maschinen gleicher Größe mit elektrischer Erregung.

Permanentmagneterregung kommt nur bei Maschinen kleiner bis mittlerer Baugröße zum Einsatz. Die Kosten für die Magnete fallen bei größeren Maschinen immer mehr ins Gewicht, so dass die Wirtschaftlichkeit gegenüber Maschinen mit elektromagnetischer Erregung nicht mehr gegeben ist. Die komplizierte Montage der Magnete stellt außerdem einen großen Nachteil dar.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- hoher Wirkungsgrad
- geringes Massenträgheitsmoment
- wartungsarm (wenn Erregung ohne Schleifringe)
- Drehzahl von Belastung unabhängig
- Relativ großer Luftspalt möglich
- Blindleistungssteuerung bei elektrischer Erregung möglich (siehe Phasenschieberbetrieb)

Nachteile:

- teures Material für Permanentmagnete bzw. Erregerleistung notwendig, wenn nicht permanenterregt
- hoher Regelaufwand
- kein Selbstanlauf (ohne größere Dämpfung)

Beispiel

Abb. 1 zeigt einen Drehstrom-Synchrongenerator im Kernkraftwerk Balakowo. Das im Betrieb gasdichte Generatorgehäuse ist turbinenseitig geöffnet und Teile der Ständerwicklung und des Läufers liegen frei. Über die einzelnen weißen Rohrleitungen wird den braun lackierten Hohlleitern der Ständerwicklung das Kühlmittel aus der außen umlaufenden blauen Rohrleitung zugeführt.

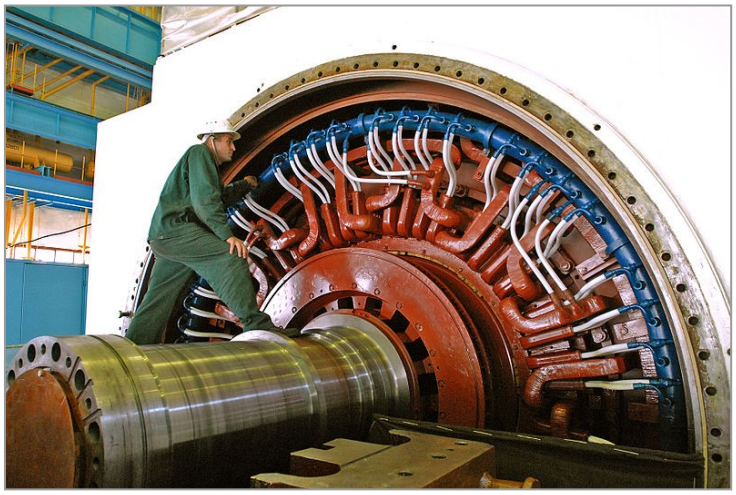

Abb. 1 – Quelle: wikipedia.org, Autor: Александр Ситенький (Alexander Seetenky)

(Fortsetzung auf Seite 13)

(Fortsetzung von Seite 12)

• Schrittmotor

Ein Schrittmotor ist ein Synchronmotor, bei dem der Rotor (drehbares Motorteil mit Welle) durch ein gesteuertes, schrittweise rotierendes, elektromagnetisches Feld der Statorspulen (nicht drehbarer Motorteil) um einen minimalen Winkel (Schritt) oder sein Vielfaches gedreht werden kann. Schrittmotoren existieren auch in Form von Linearmotoren.

Positionierung

Schrittmotoren folgen im Prinzip exakt dem außen angelegten Feld und können ohne Sensoren zur Positionsrückmeldung (Encoder, Drehgeber oder ähnliches) genau betrieben werden. Sie zeigen damit ein ähnliches Verhalten wie Synchronmotoren, weisen aber in der Regel eine deutlich höhere Polpaarzahl auf. Daher können sie einfacher betrieben werden als beispielsweise Servomotoren (i. d. R. Gleichstrom- oder Synchronmotoren mit Positionsgeber), welche auf die gewünschte Position eingeregelt werden müssen. Für einen besonders homogenen Verlauf werden Schrittmotoren mit einem gleichförmigen Drehfeld angesteuert.

Abb. 1 – Zweiphasiger Hybridschrittmotor mit acht Wicklungen und ausgebautem Rotor. Quelle: de.wikipedia.org, Autor: Original uploader was Coyote83 at it.wikipedia

Bauformen

Man unterscheidet den Schrittmotor nach seiner Bauform in:

- Reluktanz-Schrittmotor
- Permanentmagnet-Schrittmotor
- Hybridschrittmotor
- Lavet-Schrittmotor, Einphasen-Schrittmotor für mechanische Anzeigen wie den Antrieb der Zeiger in Quarzuhren.

Kenngrößen

Die Kenngrößen eines Schrittmotors sind:

- der Schrittwinkel (bzw. Schrittweg beim Linearmotor), das heißt der Winkel für einen Vollschritt. Ein Vollschritt tritt bei der Umschaltung des Stromes von einer Wicklung auf die nächste auf.
- die Anzahl der Phasen (zumeist 2)
- die Schrittanzahl n pro Umdrehung mit $n = 360° / \varphi_0$

Die Schrittanzahl pro Umdrehung ist bei zweiphasigen Schrittmotoren ein Vielfaches von 4, da sich nach 4 Schritten wieder die gleichen Zähne mit gleicher Polarität gegenüberstehen. Bei Linearmotoren entsprechend Schritte für den Gesamtstellweg.

- der maximale Strangstrom I; er ergibt sich aus der maximal zulässigen thermischen Belastung I^2R. Er kann kurzzeitig höher sein, um ein höheres Drehmoment zu erreichen.
- der ohmsche Spulenwiderstand R
- die Spuleninduktivität L; sie ist wichtig für die Dynamik des Motors und die Dimensionierung der Freilaufdioden.
- das Drehmoment im Stand (Haltemoment) für einen gegebenen Strom sowie der Drehmomentverlauf mit steigender Drehzahl; sie sind abhängig vom Quadrat des Strangstromes und der Verlauf ist von der Treiberschaltung und deren Speisespannung abhängig.

(Fortsetzung auf Seite 14)

(Fortsetzung von Seite 13)

- die Wicklungsanschlussgestaltung (ohne Mittelanzapfung, mit Mittelanzapfung, mit gemeinsamer Mittelanzapfung)

Weiterhin hat das Trägheitsmoment des Läufers eine Bedeutung – es bildet in vielen Anwendungen den Hauptanteil der Massenträgheit und bestimmt somit die Dynamik.

Die Effizienz von Schrittmotoren ist hingegen von untergeordneter Bedeutung, da die Antriebsleistung für die typische Anwendung als Positionierantrieb unwichtig ist. Man nimmt oft eine geringe Effizienz in Kauf, die beispielsweise durch eine geringe Läuferträgheit bedingt ist, um damit hohe Dynamik zu erreichen.

Elektronische Schrittteilung

Um bei einem Schrittmotor den Schrittwinkel zu verkleinern, gibt es die Möglichkeit der elektronischen Schrittteilung. Die Schrittteilung, meist als Mikroschrittbetrieb bezeichnet, bringt höhere Laufruhe (gleichmäßigeres Drehmoment) und kann im Rahmen der Fertigungsgenauigkeit und der Feldgestalt eine höhere Winkelauflösung liefern.

Genauigkeit

Aufgrund der hohen Polpaarzahl bewegt sich der Rotor eines Schrittmotors mit jedem von außen vorgegebenen Schritt nur mit einem geringen Winkelversatz vorwärts. Üblich sind 24 bis 200 Schritte pro Umdrehung. Eine Polpaarzahl von 50 ergibt im Vollschrittbetrieb 200 Schritte je Umdrehung, also 1,8° Vollschrittwinkel. Durch Mikroschrittbetrieb ist ein Auflösungsvermögen von unter 0,1° erreichbar. Die Schrittgenauigkeit liegt meist im Bereich von einigen Prozent.

Anwendungsgebiete

Typische Anwendungsgebiete sind Drucker, vor allem Matrixdrucker, oder der Antrieb des Schreib-/Lesekopfes in einem Diskettenlaufwerk. Aufgrund ihrer hohen Genauigkeit werden sie auch in computergesteuerten Werkzeugmaschinen zur Positionierung der Werkzeuge verwendet. Durch die ständig sinkenden Kosten für die Ansteuerelektronik werden sie auch zunehmend im Konsumgüterbereich verwendet. So sind in Kraftfahrzeugen der mittleren und gehobenen Kategorie heute bis über 50 Schrittmotoren im Einsatz, die Betätigung der vielen Klappen einer automatischen Heizungs- und Klimaanlage ist dafür ein Beispiel.

Schrittmotoren können bis ungefähr 1 kW wirtschaftlich eingesetzt werden.

• Servomotor

Als Servomotor werden spezielle Elektromotoren bezeichnet, die die Kontrolle der Winkelposition ihrer Motorwelle, sowie der Drehgeschwindigkeit und Beschleunigung erlauben. Sie bestehen aus einem Elektromotor, der zusätzlich mit einem Sensor zur Positionsbestimmung ausgestattet ist. Die vom Sensor ermittelte Drehposition der Motorwelle wird kontinuierlich an eine meist außerhalb des eigentlichen Motors angebrachte Regelelektronik übermittelt, den so genannten Servoregler, der die Bewegung des Motors entsprechend eines oder mehrerer einstellbarer Sollwerte – wie etwa Soll-Winkelposition der Welle oder Solldrehzahl – in einem Regelkreis regelt.

Ein elektrischer Schrittmotor kann ebenso gezielt kontrolliert werden, durch den Verzicht auf Sensorik und Regelkreis hat er jedoch insbesondere bei hohen Lasten diverse Nachteile gegenüber dem Servomotor.

(Fortsetzung auf Seite 15)

(Fortsetzung von Seite 14)

Anwendungsgebiete

Servomotoren besitzen eine Vielzahl von Anwendungsfeldern. Sie werden häufig in industriellen Anlagen verwendet, aber auch in diversen Maschinen, etwa in Werkzeugmaschinen, Verpackungsmaschinen oder Industrierobotern.

Servomotoren findet man auch in Servos, wie sie etwa im Modellbau in ferngesteuerten Fahrzeug-, Flug- oder Schiffsmodellen eingesetzt werden. In einem Servo können jedoch auch andere Motortypen verbaut sein. Im allgemeinen Sprachgebrauch werden jedoch der „Servo“ und der „Servomotor“ miteinander verwechselt.

Aufgrund ihrer höheren Zuverlässigkeit im Vergleich zu Drehspulinstrumenten werden Servomotoren auch in Anzeigegeräten des Flugwesens und des Militärs eingesetzt.

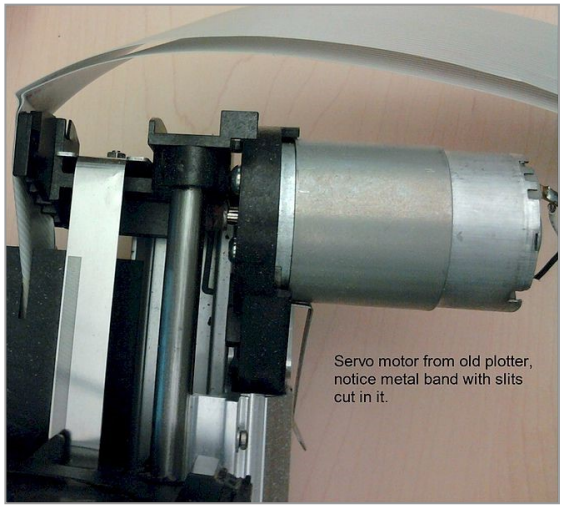

Abb. 1 – Servomotor-Baugruppe, integriert in einem Plotter. Quelle: de.wikipedia.org, Autor: 1sfoerster

• Universalmotor

Der **Einphasen-Reihenschlussmotor** ist ein Elektromotor, der mit Gleich- oder Wechselstrom läuft, ohne Veränderungen am Motor vornehmen zu müssen. Er ist mit dem Gleichstromreihenschlussmotor bis auf wenige Details identisch. Der Einphasen-Reihenschlussmotor gehört zur Gruppe der Wechselstrom-Kommutatormotoren, er wird deshalb auch Einphasen-Kommutatormotor genannt. Kleinere Einphasen-Reihenschlussmotoren werden auch als Universalmotor oder Allstrommotor bezeichnet.

Vor- und Nachteile

Vorteile

- Gute Drehzahlstellmöglichkeiten
- großes Moment bei kleiner Drehzahl
- großes Anzugsmoment (Vorteilhaft für Rührwerke, Schalter; Bohrmaschinen)
- geringere Masse an Eisen und Kupfer als bei einem Asynchronmotor gleicher Leistung (besonders vorteilhaft für tragbare Geräte mit hoher Motorleistung, z. B. Staubsauger, Bohrmaschine)

Nachteile

- höhere Herstellungskosten als Asynchronmaschine

(Fortsetzung auf Seite 16)

(Fortsetzung von Seite 15)

- Drehzahländerung bei Belastung (hyperbolischer Verlauf) → für konstante Drehzahl ist eine Regelung erforderlich
- Bürstenapparat, Kommutator wartungsbedürftig
- Bürstenfeuer
- Funkentstörung nötig

Anwendungsbereiche

Als Bahnmotoren wurden früher Einphasen-Reihenschlussmotoren (mit kleinen Wendepolen und Kompensationswicklungen) eingesetzt. Dazu wurde die Betriebsspannung von 15000 Volt auf ca. 20 Volt bis ca. 600 Volt mittels Traktionstransformator und zugehörigem Stufenwähler heruntertransformiert. Zur Vermeidung von unsymmetrischer Belastung dürfen große Einphasen-Reihenschlussmotoren nicht am öffentlichen Netz betrieben werden.

Heute gehören Einphasen-Reihenschlussmotoren als Universalmotoren zu den wichtigsten Kleinmotoren. Neben dem Antrieb für Elektrowerkzeuge wird dieser Motor in praktisch jedem elektrischen Haushaltsgerät eingesetzt. Oft sind diese Geräte mit einem Stufenschalter ausgerüstet, mit dem für verschiedene Belastungsfälle zwischen Anzapfungen der Feldwicklung umgeschaltet werden kann. Ihre geringe Lebensdauer verbietet aber ihren Dauereinsatz.

Auch in Waschmaschinen sind sie oft zu finden – hierfür müssen sie jedoch umpolbar und mit einem Tachogenerator ausgestattet sein, um Drehrichtung und Drehzahl steuern zu können. Der Einsatzvorteil besteht hier darin, mit einem einfachen Motor ohne Getriebeumschaltung sowohl waschen als auch schleudern zu können.

Anwendungsbeispiele

Haushaltsgeräte

- Staubsauger
- Rühr-, Knet- und Schneidemaschinen
- Mixer
- Waschmaschinen
- Modelleisenbahnen

Elektrowerkzeuge

- Handbohrmaschinen
- Winkelschleifer
- Handkreissägen

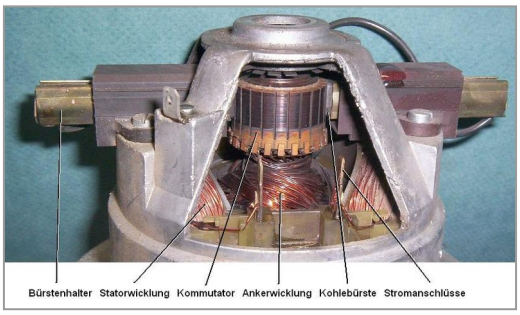

Abb. 1 – Universalmotor für ca. 500 Watt - aus einer Staubsauger-Radialturbine, Quelle: de.wikipedia.org, Autor: Ulfbastel

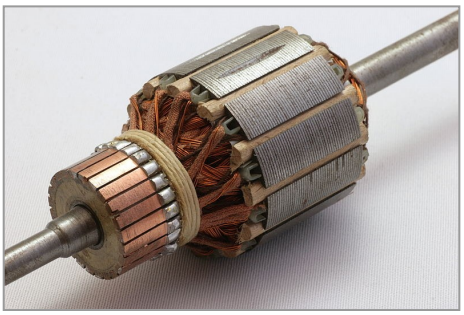

Abb. 2 – Anker eines Universalmotors, Quelle: de.wikipedia.org, Autor: Sebastian Stabinger

(Fortsetzung auf Seite 17)

(Fortsetzung von Seite 16)

• Gleichstrommotor

Eine Gleichstrommaschine, auch Gleichstrommotor, Kommutatormotor oder Kommutatormaschine, ist eine rotierende elektrische Maschine, die mit Gleichstrom betrieben wird oder Gleichstrom erzeugt. Je nach Richtung des Leistungsflusses wird zwischen dem Gleichstrommotor (ein Elektromotor, dem elektrische Energie zugeführt und mechanische Energie entnommen wird) und dem Gleichstromgenerator (ein elektrischer Generator) unterschieden. Gleichstrommaschinen haben gutes Anlaufverhalten und eine gute Regelbarkeit.

Merkmal der klassischen Gleichstrommaschinen ist ein mechanischer Wechselrichter, welcher als Kommutator (Polwender) bezeichnet wird und auf der Achse der rotierenden Maschine angebracht ist. Er dient im Motorbetrieb als Polwender und erzeugt im Rotor einen drehzahlabhängigen Wechselstrom. Im Generatorbetrieb richtet er die vom Rotor gelieferte Wechselspannung gleich und erzeugt eine pulsierende Gleichspannung. In einigen Anwendungsfällen kann die Gleichstrommaschine als Motor oder als Generator betrieben werden.

Eine Sonderform der Gleichstrommaschine ohne Kommutator stellt die Unipolarmaschine dar.

Man unterscheidet:

- Permanenterregte Gleichstrommaschine
- Elektrisch erregte Gleichstrommaschine
    - Reihenschlussmaschine
    - Nebenschlussmaschine
    - Verbundmaschine
    - Fremderregte Maschine

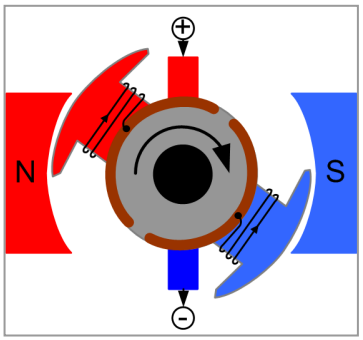

Abb. 1 – Schnittdarstellung durch eine permanent erregte Gleichstrommaschine.
Quelle: http://commons.wikimedia.org
Autor: haade

Bürstenlose Gleichstrom-Maschine

Nachteil der Gleichstrommaschinen sind Funken, die bei den Bürsten entstehen („Bürstenfeuer“). Das Bürstenfeuer ist die Hauptursache für hochfrequente Störungen, die der Motor im Betrieb in das Leitungsnetz zurückspeist und die andere elektrische Verbraucher stören. Es begrenzt auch die maximale Drehgeschwindigkeit, da die Bürsten bei hohen Drehzahlen heiß werden und besonders schnell verschleißen. Weiterhin bewirken hohe Drehzahlen auch höhere Induktionsspannungen, die bis hin zum umlaufenden Bürstenfeuer führen können.

Mit der Entwicklung der Elektronik können kleinere permanenterregte Synchronmotoren so betrieben werden, dass sie von außen ähnlich beschrieben werden können wie eine Gleichstrommaschine. Diese Motoren mit Elektronik-Umrichter wurden besonders im englischen Sprachraum als brushless direct current (BLDC) beworben, auf Deutsch übersetzt bürstenlose Gleichstrommaschine. Die Maschine wird auch als EC-Motor (EC für electronically commutated) bezeichnet. Vom Aufbau her sind diese Motoren ungedämpften permanenterregten Synchronmaschinen gleich und können in Anwendungen, die eine genügende Eigendämpfung haben, auch als Synchronmaschine angesteuert werden.

(Fortsetzung auf Seite 19)

• Spaltpolmotor

Der Spaltpolmotor gehört zu den Asynchronmotoren. Im Unterschied zum drehstromgespeisten Asynchronmotor läuft der Spaltpolmotor jedoch mit einphasigem Wechselstrom. Der Motor ist mechanisch sehr einfach aufgebaut.

Vor- und Nachteile

Vorteile

- Sehr einfach im Aufbau
- Preiswert
- Hohe Laufruhe
- Wartungsfrei
- Hohe Lebensdauer
- Robust
- Selbsttätiger Anlauf

Nachteile

- Geringer Wirkungsgrad
- Schlechter Leistungsfaktor
- Nur für kleine Leistungen verwendbar (ca. 2/3 Leistung eines normalem Drehstrommotors)
- Geringe Leistungsdichte
- In der "Normalausführung" keine Drehrichtungsumkehr

Einsatzbereiche

Aufgrund ihres sehr einfachen Aufbaus werden Spaltpolmotoren in Großserien gefertigt. Sie werden als preiswerte Antriebsmaschinen mit geringen Leistungen bis etwa 300 Watt immer dann eingesetzt, wenn kein hohes Anlaufmoment erforderlich ist. Spaltpol-Synchronmotoren werden für Leistungen bis zu 3 Watt gebaut.

Einsatzbeispiele für Spaltpol-Asynchronmotoren

- Lüftermotor für Elektroheizgeräte
- Laugenpumpe in Waschmaschinen
- Pumpe in Wäschetrocknern
- Antriebsmotor für Plattenspieler
- Motor für Ventilatoren
- Antriebsmotor für Kühlaggregate und Kühltruhen
- Als Wäscheschleuder - Direktantrieb

Einsatzbeispiele für Spaltpol-Synchronmotoren

- Antriebsmotor für Programmschaltwerke
- Elektrische Uhren
- Elektrische Zeitrelais
- Schreibende Messgeräte

(Fortsetzung auf Seite 20)

(Fortsetzung von Seite 17)

• Polumschaltbare Motore

Polumschaltbare Motoren ermöglichen einen Betrieb mit zwei oder mehr festen Drehzahlen. Kurzschlussmotoren dieser Bauart stellen eine wirtschaftliche Alternative für Anwendungen dar, in denen auf eine stufenlose Drehzahlverstellung per Umrichter verzichtet werden kann.

Beispiele der Ausführung: 4/2-polige, 8/4-polige, 8/2-polige und 6/4polige Motorausführungen.

Alternativ zu zwei getrennten Wicklungen sind auch Dahlander-Wicklungen bzw. PAM-Wicklungen (Pol-Amplitude-Modulation) möglich. Diese Varianten bieten den Vorteil, dass sie für den Betrieb mit zwei Drehzahlen lediglich eine einzige Wicklung erfordern. So lässt sich sowohl das Material als auch ein knappes Platzangebot effizienter nutzen als mit getrennten Wicklungen.

• Anwurfmotor

Die einfachste Ausführung des Wechselstrommotors ist der Anwurfmotor. Er wird mit der Hand angeworfen. Ab einer gewissen Drehzahl läuft der Motor dann selbst in Anwurfrichtung bis auf Nenndrehzahl hoch. Zum Wechseln der Drehrichtung muss der Motor gestoppt werden und in der anderen Richtung angeworfen werden.

Das magnetische Wechselfeld übt auf den sich drehenden Käfigläufer ab einer bestimmten Drehzahl ein kleines Drehmoment aus, welches jedoch erst nahe der Nenndrehzahl so groß wird, dass es Arbeit verrichten kann.

Auch einphasig angeschlossene Drehstrom-Asynchronmotoren können auf diese Weise benutzt werden. Der Anwurfmotor wird heute kaum noch verwendet.

Gelegentlich ist mit "Anwurfmotor" auch ein kleinerer Motor gemeint, der zum Anwerfen eines großen Motors dient.

• Kondensatormotor

Der Kondensatormotor zählt zu den Asynchronmotoren und wird mit einphasigem Wechselstrom gespeist. Wie andere Asynchronmotoren besitzt er einen Kurzschlussläufer (Käfigläufer), in dem durch ein vom Stator erzeugtes elliptisches Drehfeld ein Drehmoment erzeugt wird. Das notwendige Drehfeld wird durch einen zusätzlichen, namensgebenden und für die Funktion wesentlichen Kondensator erzeugt.

Einsatzgebiete

Die Vor- und Nachteile des Kondensatormotors bestimmen seine Einsatzgebiete: Seine gegenüber Drehstrommotoren höhere Masse, das geringere Anlaufmoment sowie der zusätzlich erforderliche Kondensator verhindern den breiteren Einsatz. Hauptvorteil ist die Möglichkeit, ihn bei gutem Wirkungsgrad mit einphasiger Wechselspannung betreiben zu können. Seine für Asynchronmotoren typische Laufruhe, Wartungsfreiheit, hohe Lebensdauer sowie der gegenüber den ebenfalls für Einphasenbetrieb geeigneten Spaltpolmotoren höhere Wirkungsgrad haben ihm ein breites Anwendungsfeld im Haushaltsbereich (z. B. als Antrieb für den Kompressor in Haushalts-Kühlschränken, als Rohrmotor für Rollladen- und Markisenantriebe), an kleinen Werkzeugmaschinen und z. B. für Umwälzpumpen in Heizungsanlagen oder in Rasenmähern verschafft.

Durch die zunehmende Verfügbarkeit kostengünstiger elektronischer Frequenzumrichter werden Kondensatormotoren, insbesondere im oberen Leistungsbereich, zunehmend durch Drehstrommotoren mit Dreiphasenwechselstrom ersetzt.

(Fortsetzung auf Seite 18)

(Fortsetzung von Seite 18)

• Kappelmotor

Der Kappelmotor (PAD-Motor) beruht auf einer von Andreas Kappel 1999 erfundenen Kinematik, welche Linearbewegungen effizient in Rotation umsetzt. Das Patent des „Kappelmotor“ wurde von Noliac A/S im Jahr 2010 übernommen.

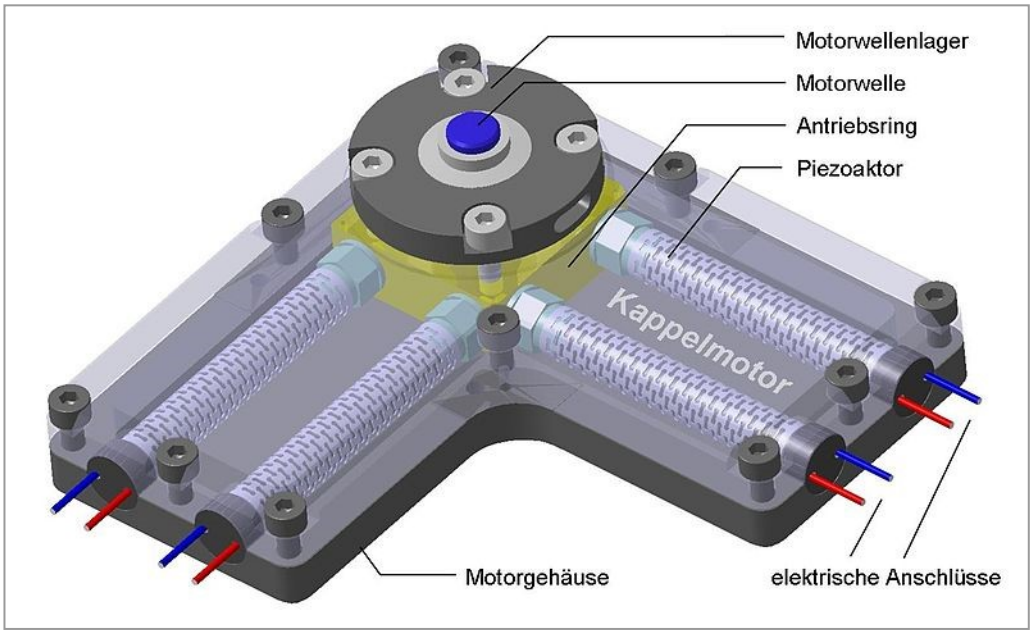

Abb. 1 – Aufbau eines Kappelmotors. Quelle: de.wikipedia.org, Autor: CNCLois

Funktionsprinzip

Die Kinematik besteht aus einem Antriebsring, welcher eine drehbar gelagerte Motorwelle umschließt, wobei der Antriebsring gegenüber dem Außendurchmesser der Motorwelle einen geringfügig größeren Innendurchmesser aufweist. Wird der Antriebsring kreisförmig verschoben, rollt die Motorwelle auf der Innenfläche des Antriebsringes ab und wird dadurch in Rotation versetzt. Zur Erzeugung der Verschiebebewegung können Piezokeramik-Stacks verwendet werden. Wird an den einen Piezoaktor eine Sinusspannung und an den anderen Piezoaktor eine Cosinusspannung angelegt, so überlagern sich die 90 Grad phasenversetzten sinusförmigen mechanischen Auslenkungen der Piezoaktoren zu der gewünschten kreisförmigen Verschiebebewegung des Antriebsringes. Die Drehrichtung wird durch das Vorzeichen der Phasenverschiebung ± 90° festgelegt. Die Drehzahl ist durch die Frequenz des Steuersignals bestimmt.

Kraftübertragung

Für ein formschlüssiges Abrollen sind die Kontaktflächen von Welle und Antriebsring mit einer Verzahnung versehen. Dadurch kann die Motorwelle auch unter hohen Lastmomenten sehr präzise mit hoher Dynamik in jede Drehwinkelstellung positioniert werden. Dazu werden spielfreie Mikroverzahnungen eingesetzt, die sowohl aus Metall, als auch aus Kunststoff bestehen können. Das Untersetzungsverhältnis ergibt sich aus der Zähnezahldifferenz von Antriebsring und Motorwelle zu der Gesamtzähnezahl der Motorwelle und kann von 1:10 bis 1:mehrere Hundert betragen. Um einen ständigen Verzahnungseingriff zu gewährleisten, ist die Zahnhöhe kleiner als die Auslenkung der Piezoaktoren.

(Fortsetzung auf Seite 21)

(Fortsetzung von Seite 20)

Dadurch ergeben sich bei Piezostapelaktoren Zahnhöhen im Bereich einiger 10 Mikrometer. Durch die zykloidische Zahnform ist die Stahl-Mikroverzahnung absolut überlastsicher und kann auch durch Blockade nicht beschädigt werden. Dieses gilt auch für Kunststoffverzahnungen, die sich im Überlastfall reversibel elastisch verformen. Der Wirkungsgrad der mikroverzahnten Kinematik des Kappelmotors liegt bei ca. 95 %.

Ansteuerung

Die einfachste Ausführung des Kappelmotors besteht aus zwei rechtwinklig am Antriebsring befestigten Piezoaktoren. Durch die Verwendung von Piezo-Stacks als Aktoren ist unter Ausnutzung des piezoelektrischen Effektes eine Echtzeit-Erfassung von Lastmomenten sowohl bei laufendem wie bei stehendem Motor möglich. Da die Drehstellung der Motorwelle immer synchron zur absoluten elektrischen Phase ist, wird einen gesteuerter open-loop Betrieb möglich. Dadurch werden komplexe Bewegungsprofile, bei der mehrere Einzelantriebe koordiniert zusammenwirken sollen, einfach beherrschbar. Elektromotorische Servosysteme benötigen hierfür eine Vielzahl zusätzlicher Komponenten wie Getriebe, Encoder, Drehmomentsensor oder eine Motorbremse sowie einen geschlossenen Regelkreis. Diese Komponenten können bei Kappelmotoren mit entsprechender Regelelektronik ersatzlos entfallen.

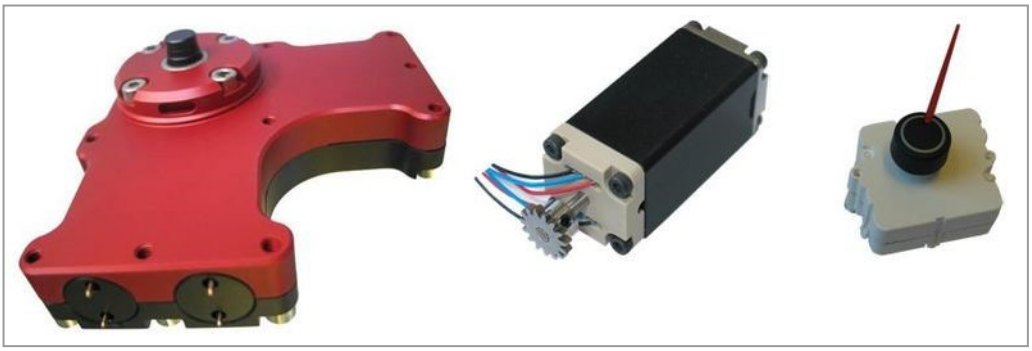

Abb. 2 – Beispiele von Kappelmotoren. Quelle: de.wikipedia.org, Autor: CNCLois

Ausführungen

Kappelmotoren sind grundsätzlich in den Bauformen planar und zylindrisch realisierbar. Die Drehmomente reichen von einigen Millinewtonmetern bis zu mehreren 10 Nm.

Planar

Abhängig von den Leistungs- und Gehäuseanforderungen, kann die Kinematik des Kappelmotors in unterschiedlichen Materialsystemen ausgeführt oder mit anderen Aktoren kombiniert werden. Beispielhaft hierfür ist ein in Kunststoffspritzgusstechnik hergestellter Zeigerantrieb, bei dem die Linearbewegungen zweier piezoelektrischer Biegeaktoren zu einer kreisförmigen Verschiebebewegung des Antriebsringes überlagert werden. Der im Vergleich zu Stapelaktoren erheblich größere Arbeitshub der piezoelektrischen Biegeaktoren von einigen ± 100 µm gestattet gröbere Verzahnungsstrukturen, die mittels Kunststoffspritzguss herstellbar sind.

Zylindrisch

Für zylindrische Motorbauformen werden die piezoelektrischen Biegeaktoren entlang der Motorwelle angeordnet. Zur Leistungssteigerung werden zwei Biegeaktorpaare verwendet, die den Antriebsring

(Fortsetzung auf Seite 22)

(Fortsetzung von Seite 21)

um die Motorwelle bewegen. Alternativ kann auch die mit einem Stirnrad versehene Antriebswelle kreisförmig verschoben werden, so dass das Stirnrad auf der Innenfläche des Antriebsringes abrollt. Für stärkere zylindrische Kappelmotoren sind Stapelaktoren als Aktoren möglich.

Eigenschaften

Piezoelektrisch angetriebene Kappelmotoren weisen folgende funktionale Eigenschaften auf:

- Hohe absolute Positioniergenauigkeit (Bogensekunden)
- Konstantes, drehzahlunabhängiges Motormoment (mehrere Nm)
- Hohe Dynamik (Start/Stopp-Zeiten kleiner 0,1 ms)
- Sensorlose Echtzeit-Erfassung von Lastmomenten
- Leistungsloses Positionshalten unter Last im eingeschalteten Zustand
- Großes Haltemoment im ausgeschalteten Zustand (d. h. ohne Energiezufuhr)
- Drehzahlbereich 0 bis einige hundert min^{-1}
- Völlige Spielfreiheit und sehr hohe Drehsteifigkeit (kein Getriebe nötig)
- Einfache Synchronisierbarkeit mehrerer Kappelmotoren
- Geringer Verschleiß aufgrund Abrollbewegung
- Skalierbarkeit bezüglich Drehzahl/Drehmomentcharakteristik (Mikroverzahnung)
- Skalierbarkeit bezüglich Materialsystem (Metall, Kunststoff, Verbundwerkstoffe)
- Magnetfeldunabhängige Funktion (z. B. in Magnetresonanztomographen)
- Keine Erzeugung magnetischer Streufelder

Anwendung

Durch den möglichen open-loop Betrieb werden komplexe Bewegungsabläufe, wie sie in der Robotik auftreten, einfach beherrschbar. Zukünftige Anwendungsgebiete sind Antriebsprobleme, bei denen es weniger auf Drehzahl, sondern mehr auf Drehmoment, Präzision, einfache Ansteuerung und Dynamik ankommt, wie:

- Fensterheber in Kraftfahrzeugen
- Robotik
- Zeigerinstrumente
- Positionierungsaufgaben aller Art
- Einsatz in strahlungsbelasteter Umgebung

• Rohrmotor

Ein Rohrmotor wird in eine Welle eingeschoben und treibt diese dann an.

Anwendungsbeispiele

- Rollladen
- Rolltor
- Markise

Steuerung

Es gibt mechanisch und elektronisch gesteuerte Rohrmotoren. Sie unterschieden sich durch die Aus-

(Fortsetzung auf Seite 23)

(Fortsetzung von Seite 22)

führung ihrer Endlagenschalter.

Für elektronische Motoren können die Endlagen über Schnurschaltersetzgeräte oder Schnursetzgeräte definiert werden.

• Scheibenläufer

Ein Scheibenläufermotor, (englisch pancake motor, disc motor, printed motor), ist ein Elektromotor, dessen Rotor (Läufer) die Form einer Scheibe hat. Bei der bekanntesten Bauform werden die stromdurchflossenen Wicklungen auf der Scheibe angebracht, der Rotor enthält jedoch keinen Eisenkern. Scheibenläufer sind an der für andere Elektromotoren unüblichen Bauform, der Durchmesser ist größer als die Länge, leicht zu erkennen.

Scheibenläufermotoren mit eisenlosem Rotor

Die Wicklungen sind auf einer dünnen Isolierschicht in Form von Leiterbahnen auf einer Leiterplatte ausgeführt oder bestehen aus massiveren Kupfer- oder Aluminiumleitern in Form von Drähten oder gestanzten Teilen. Die Scheibe läuft in einem engen Spalt zwischen Elektro- oder Permanentmagneten, die das Statorfeld erzeugen. Der magnetische Kreis wird über ein weichmagnetisches Material außerhalb der Scheibe geschlossen. Der elektrische Strom wird über Bürsten zugeführt; diese berühren im einfachsten Fall direkt die Scheibe an der Achse und am äußeren Umfang. Dieser Aufbau entspricht dem Prinzip einer Gleichstrommaschine.

Bürstenlose Scheibenläufermotore

Der Begriff Scheibenläufermotor wird auch für Motoren verwendet, bei denen die Scheibe ein Permanentmagnet ist, und feststehende Spulen auf einer Seite (oder beiden Seiten) der Scheibe ein Magnetfeld erzeugen; gegenüber den oben behandelten Scheibenläufern mit eisenlosem Rotor ist also Rotor und Stator vertauscht. Der Vorteil dieser Anordnung liegt darin, dass keine Bürsten zur Stromzuführung auf den Rotor benötigt werden, und der Motor damit zuverlässiger wird. Nachteil ist die höhere Masse des Permanentmagneten und damit eine geringere Beschleunigung. Bürstenlose Scheibenläufer sind Synchronmotoren, oder auch Schrittmotoren, und stellen eine Bauform des bürstenlosen Gleichstrommotors mit elektronischer Kommutierung dar.

Anwendungen

Scheibenläufermotoren wurden für dynamische Regelaufgaben, z. B. bei Servomotoren entwickelt. Scheibenläufer werden auch für Elektrofahrräder und Elektroautos hergestellt. Kleine bürstenlose Scheibenläufermotoren sind in zahlreichen Geräten zu finden, z. B. in Videorekordern und Diskettenlaufwerken. Scheibenläufermotoren sind für Leistungen von ca. 10 W bis über 10 kW erhältlich; bürstenlose Scheibenläufer auch für kleinere Leistungen.

Scheibenläufer können auch als Generatoren eingesetzt werden (Scheibenläufer-Generator).

• Ultraschallmotor

Wanderwellenmotoren sind Kleinmotoren, die zumeist den piezoelektrischen Effekt zur Erzeugung von Bewegung nutzen. Die Bewegung wird durch hochfrequente Schwingungen erzeugt. Da deren Frequenz im nicht hörbaren Ultraschall-Bereich liegt, sind Wanderwellenmotoren auch als Ultraschallmotoren bekannt. Auch andere Arten piezoelektrischer Motoren arbeiten mit Ultraschallschwingungen.

(Fortsetzung auf Seite 24)

(Fortsetzung von Seite 23)

Funktionsweise

Wanderwellenmotoren bestehen aus einem feststehenden Teil, dem Stator, und einem beweglichen Teil, dem Rotor. Im Stator befinden sich mindestens zwei piezoelektrische Wandler, die angelegte Wechselspannung in mechanische Schwingungen umwandeln. Wenn die Wandler mit phasenversetzten Spannungen betrieben werden, entsteht eine Wanderwelle auf dem Stator. Diese versetzt über den Reibkontakt zwischen Stator und Rotor letzteren in Bewegung. Um hohe Schwingungsamplituden und damit Geschwindigkeiten zu erreichen, wird der Stator üblicherweise in Resonanz betrieben.

Vorteile und Nachteile

Die wesentlichen Vorteile der Ultraschallmotoren sind die hohe Dynamik, die genaue Positionierungsmöglichkeit und die geringere Geräuschbelastung im hörbaren Bereich des Menschen. Weiterhin gibt es bei diesen Arten von Motoren kein Magnetfeld.

Als wesentlichen Nachteil besitzen die Ultraschallmotoren die etwas größere Geräuschbelastung im hörbaren Bereich verschiedener Tierarten. Dies kann sich beispielsweise bei der Tierfotografie negativ auswirken.

Anwendungen

Uhrenantriebe

Ultraschallmotoren können aufgrund ihrer Baugröße als Uhrenantriebe (z. B. bei Seiko) eingesetzt werden.

Objektive

Ultraschallmotoren können bei Objektiven zur Objektivautofokussierung eingesetzt werden. Beim Einsatz der Ultraschallmotoren bei Objektiven wird zwischen ringförmigen Ultraschallmotoren und Micro-Ultraschallmotoren unterschieden.

Abb. 1 – Ultraschall-Motor aus einem Autofokus-Objektiv
Quelle: de.wikipedia.org, Autor: Yorkshire Terrier

Vorteile eines Ringförmigen Ultraschallmotors

- Ringförmige Ultraschallmotoren ermöglichen ein nahezu geräuschloses Fokussieren, während beim Micro-Ultraschallmotor Betriebsgeräusche hörbar sind.
- Ringförmige Ultraschallmotoren liegen platzsparend konzentrisch um das Objektiv, stören den Strahlengang nicht und sind genau da, wo der Benutzer seine Hand zur manuellen Fokussierung nutzen würde. Vorhandene Objektivkonstruktionen erfordern so nur geringe Abwandlungen.
- Bei ringförmigen Ultraschallmotoren kann man in den Fokussiervorgang eingreifen, was einem der Micromotor wegen des Untersetzungsgetriebes nicht ermöglicht.
- Das Fokussieren mit einem ringförmigen Ultraschallmotor erfolgt deutlich schneller als bei einem Micromotor, weil "normale" Motorkonstruktionen - zumal mit Getriebe - mehr und schneller bewegte drehende Massen haben, die erst beschleunigt und dann wieder gebremst werden müssen.

Ringförmige Ultraschallmotoren werden aufgrund dieser Vorteile in professionellen Objektiven eingesetzt.

(Fortsetzung auf Seite 25)

(Fortsetzung von Seite 24)

Vorteile eines Micro-Ultraschallmotors

- Micromotoren sind in der Bauweise kompakter als Ringförmige Ultraschallmotoren. Daher ist diese Art in kleineren bzw. schmaleren Objektiven zu finden.

Bezeichnungen von Ultraschallmotoren der Objektivhersteller

Die Ultraschallmotoren besitzen je nach Objektivhersteller verschiedene Namen:

- Canon: USM (Ultrasonic Motor)
- Nikon: SWM (Silent-Wave-Motor)
- Olympus: SWD (Supersonic Wave Drive)
- Pentax: SDM (Supersonic Dynamic Motor)
- Sigma: HSM (Hyper Sonic Motor)
- SONY: SSM (Super Sonic Motor)
- Tamron: PZD (PieZo Drive), USD (Ultrasonic Silent Drive)

• Micro-Motor

Der Begriff Micro-Motor wurde in den 1990er Jahren durch tschechische Micro-Motoren der Marke Delta eingeführt, die einen Durchmesser von nur 5,1 mm und eine Länge zwischen 10 und 18 mm aufwiesen. Die Motoren waren Vorbilder für die als Micro Maxx bezeichneten Micro-Motoren des US-Herstellers Quest Aerospace.

• Nanomotor

Bei einem Nanomotor handelt es sich um ein winzig kleines, nur wenige Nanometer großes Konstrukt, welches dazu verwendet werden kann, ebenfalls winzig kleine Maschinen, so genannte Nanobots oder Naniten, anzutreiben. Der Antrieb geschieht als Streck- oder Ziehbewegung oder als Drehbewegung eines Propellers. Nanomotoren werden für verschiedene Zwecke in den Bereichen der Nanotechnologie benötigt und entwickelt.

Visionen und Ziele

In der Fachpresse, in wissenschaftlichen Magazinen sowie in Filmen wurden und werden verschiedene mögliche Anwendungen beschrieben. Das reicht von einfachen mechanischen Vorrichtungen, z. B. Tür- oder Deckelöffner in kleinsten Dimensionen, bis zum Medikamenten-transportierenden Mini-U-Boot in der Blutbahn oder einer wahren Flut von Miniaturfräsen, welche Ablagerungen in den Herzkranzgefäßen beseitigen.

Arten von Nanomotoren

Für die verschiedenen Anwendungsgebiete werden unterschiedliche Nanomotoren benötigt und entwickelt, wobei in einigen Fällen die spezielle Anwendung noch nicht besteht, sondern erst durch die Entwicklung des Antriebs machbar wird.

Physikalische Nanomotoren

Diese Antriebe bestehen aus unterschiedlichen Materialien von Edelmetallen bis zu Kohlenstoff oder Titan, diese werden meist künstlich hergestellt. Die ersten Nanotube-Motoren wurden 2003 von der Gruppe um Alex Zettl an der University of California, Berkeley entwickelt.

(Fortsetzung auf Seite 26)

(Fortsetzung von Seite 25)

Biologische Nanomotoren

In verschiedenen Fachbereichen von Biochemie bis Medizin werden biologische oder molekulare Antriebe entdeckt und entwickelt. Bei diesen molekularen Motoren handelt es sich oft um einzelne Bestandteile von biologischen Zellen, so ist es bei dem Enzym F-ATPase aus den Mitochondrien, den Kraftwerken der Zellen. Weiterhin kennt man sogenannte Motorproteine wie z. B. Kinesin.

Biophysikalische Nanomotoren

Wie der Name es erahnen lässt, handelt es sich um eine Kombination von den zuvor genannten Antriebstechniken. Hierbei wird eine nichtbiologische Struktur in einem komplizierten Verfahren mit einem Molekül, einem Enzym oder einer biologischen Struktur verbunden.

Quellenhinweis: Texte teilweise von de.wikipedia.org mit eigener Überarbeitung. Bilder und Texte von de.wikipedia.org stehen unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ und dürfen, bei entsprechender Quellenangabe, frei verwendet werden.

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Anlasser – Manfred Richey

Der Anlasser oder Starter ist ein Hilfsaggregat zum Starten von Verbrennungskraftmaschinen.

Zweck

Verbrennungsmotoren und auch Gasturbinen können nicht selbst anlaufen, da sie im bei Stillstand kein Drehmoment liefern. Damit ein Verbrennungsmotor seine eigentliche Arbeit beginnen kann, muss ein Ansaug- sowie ein Verdichtungstakt ausgelöst werden - er muss angeworfen werden, etwa durch Handkurbeln, Anschieben oder einen Anlasser. Gasturbinen müssen eine Mindestdrehzahl aufweisen, ehe die Verbrennung in der Brennkammer kontinuierlich ablaufen kann.

Der Anlasser ist ein Elektromotor, der diese Arbeit übernimmt. Als Nebenzweck kann der elektrische Anlasser der Motordiagnose dienen: Der Anlasserstrom-Verlauf kann gemessen und die relativen Maximalströme den einzelnen Zylindern zugeordnet werden. Verlauf und Maximalwert des gemessenen Stroms kann Rückschlüsse z. B. auf die Kompression der einzelnen Zylinder zulassen.

Schub-Schraubtriebstarter

Im Pkw werden fast ausschließlich diese Startertypen verwendet. Sie haben ein kleines Zahnrad, das Starterritzel, welches auf der Starterwelle axial stufenlos verschiebbar ist.

Abb. 1 – Schub-Schraubtriebstarter.
Bild: de.wikipedia.org, Urheber: Willdre 00:20, 8 February 2007 (UTC)

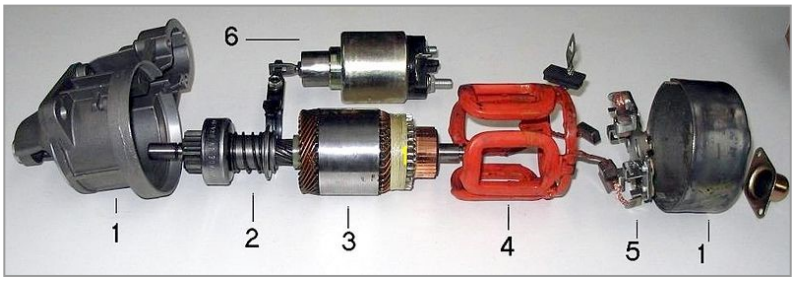

Abb. 2 – Schub-Schraubtriebstarter, zerlegte Ansicht.
Bild: de.wikipedia.org, Urheber: Willdre 00:24, 8 February 2007 (UTC)

Erläuterungen zu Abb. 2:

1 Gehäusekappen
2 Freilauf mit Einspur-Schraubtrieb
3 Läufer/Rotor
4 Stator/Feldwicklung
5 Rotor-Kohlenbürsten
6 Schiebeanker zum axialen Verschieben der Freilauf-Ritzelkombination (2) und Betätigen des Anlasserschalters

Das äußere Gehäuse ist nicht dargestellt.

Der Elektromotor des Starters ist meistens als permanent erregter Elektromotor, seltener auch als Reihenschlussmotor ausgeführt. Besonders Reihenschlussmotoren haben die Eigenschaft, beim Anlaufen schon im Stillstand das maximale Drehmoment aufzubringen und damit die Losbrechkraft des Verbrennungsmotors gut überwinden zu können.

Die durch den Leistungsbedarf des Anlassers beeinflusste Bordnetzspannung ist als sogenannte Anlasskurve normiert.

(Fortsetzung auf Seite 28)

(Fortsetzung von Seite 27)

Der permanent erregte Elektromotor hat statt einer Statorwicklung einen Dauermagneten, der am Gehäuse meist durch Klammern befestigt oder angeklebt ist. In neueren Fahrzeuge sind fast ausschließlich diese Motoren verbaut, weil der permanent erregte Starter viel kleiner gebaut werden kann.

Startvorgang *(Quelle: de.wikipedia.org)*

Zum Starten des Verbrennungsmotors werden (üblicherweise beim Drehen des Zündschlüssels) zwei parallel wirkende, unterschiedlich starke Elektromagnete (Magnetschalter) bestromt. Beide zusammen verschieben zunächst über den Schiebeanker (Pos. 6) das Ritzel und spannen dabei eine Druckfeder.

Über ein Hebelsystem erfolgt die axiale Verschiebung des Ritzels (Pos. 2), so dass es in die Verzahnung des Schwungrades greift (eingespurt wird). Dazu ist das Ritzel geradeverzahnt, aber seitlich angeschrägt, um das Einspuren zu erleichtern.

In der Endlage schließt der Magnetschalter den Motorkontakt, der Motor läuft an. Der Motorkontakt überbrückt gleichzeitig den stärkeren Einzug-Elektromagnet, der in einer elektrischen Reihenschaltung mit den Motorwicklungen ausgeführt ist.

Solange der Zündschlüssel in der Startstellung gehalten wird, bleibt vom Magnetschalter lediglich die Haltewicklung aktiv und hält das Ritzel eingespurt. Der Anker des Elektromotors (Pos. 3) beschleunigt über das Ritzel den Verbrennungsmotor, bis dieser ohne Unterstützung weiterlaufen kann.

Zwischen Ritzel und Elektromotor befindet sich ein Freilauf, der verhindert, dass der schon gestartete Verbrennungsmotor über das noch eingespurte Starterritzel den Elektromotor mit einer zu hohen Drehzahl antreibt und ihn dadurch beschädigen könnte.

Nach dem Loslassen des Zündschlüssels wird der Strom zur Haltewicklung unterbrochen und der Schiebeanker wird durch die gespannte Druckfeder in seine Ruhelage zurückgeschoben; dabei wird der Elektromotor abgeschaltet und das Ritzel ausgespurt.

So viel zum guten alten Anlasser, der sich viele Jahrzehnte in Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotor bewährt hat und meist über die gesamte Lebensdauer des Fahrzeugs seinen Dienst verrichtet.

In moderneren Fahrzeugen werden – Tendenz zunehmend – immer häufiger so genannte Startergeneratoren verwendet. Diese dienen sowohl zum Anlassen, erzeugen dann während der Fahrt aber auch Strom und ersetzen so die Lichtmaschine. Mehr dazu im nächsten Beitrag.

Quellenhinweis: Bilder und Texte von de.wikipedia.org stehen unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ und dürfen, bei entsprechender Quellenangabe, frei verwendet werden.

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Startergenerator – Manfred Richey

Ein Startergenerator vereint die Funktionen von Starter (Anlasser) und Lichtmaschine (Generator) in einer einzigen elektrischen Maschine. Mit dem Startergenerator kann damit sowohl der Verbrennungsmotor eines Kraftfahrzeugs gestartet (Anlasserfunktion), als auch bei laufendem Motor Strom erzeugt werden (Lichtmaschine).

Moderne, leistungsstarke Startergeneratoren können in Hybridelektrokraftfahrzeugen Energie sparen, indem sie beim Abbremsen des Fahrzeugs elektrische Energie in die Fahrzeugbatterie zurückspeisen und diese Energie später verwenden, um den Verbrennungsmotor zu entlasten oder zu unterstützen, wenn besonders viel Energie benötigt wird, beispielsweise beim Anfahren oder Beschleunigen.

Startergeneratoren sind ständig mit dem Verbrennungsmotor verbunden, daher entfällt das beim herkömmlichen Starter übliche laute Geräusch, das beim Einspuren des Starter-Ritzels und beim Drehen des Ritzels im Schwungrad des Verbrennungsmotors entsteht.

Historische Startergeneratoren *(Quelle: de.wikipedia.org)*

Dynastart Gleichstrom-Startergeneratoren

Startergeneratoren auf Basis von Gleichstrommotoren wurden ab 1935 unter der Markenbezeichnung Dynastart von Siba und nach 1959 (nachdem Siba von Bosch übernommen worden war) von Bosch in Serie gefertigt. Damals wurden Startergeneratoren auch als Lichtanlasser bezeichnet (von Lichtmaschine und Anlasser). Die Dynastart-Maschinen saßen ohne weiteres Getriebe direkt auf der Kurbelwelle der Motoren. Dynastart-Maschinen kamen zunächst bei DKW und später unter anderem im BMW 600, der Isetta, Heinkel Kabine, NSU Prinz, Goggomobil, Messerschmitt Kabinenroller, P70,Steyr-Puch 500 -650, Steyr Puch Haflinger und seit 1969 in der Vespa 50 Elestart zum Einsatz. Die bei Kleinfahrzeugen häufig eingesetzten Zweitaktmotoren haben die Eigenschaft, dass sie rückwärts laufen können, wenn sie in entsprechender Drehrichtung angelassen werden. Durch einfaches Umpolen des Startergenerators konnte daher ein Getriebe-Rückwärtsgang eingespart werden.

Abb. 1 + 2 – Dynastartanlage-Stator für BMW Isetta gebraucht zur Restauration. Bilder: Josef Karl

In der BMW Isetta wurden 4-Takt-Motoren verwendet und das Bordnetz mit 12 Volt betrieben. Bei DKW-Fahrzeugen, z. B. F 89 (Baujahr ab 1950, auch „Meisterklasse“ genannt, wurden 2-Takt-Motoren verwendet und die Spannung des Bordnetzes betrug nur 6 Volt.

Neue Trends sehen Bordnetze mit einer Spannung von 48 Volt vor, wodurch bessere Wirkungsgrade und gleichzeitig geringere Leitungsquerschnitte möglich werden.

(Fortsetzung auf Seite 30)

(Fortsetzung von Seite 29)

Heute wird der Markenname DynaStart® von ZF Friedrichshafen für moderne Kurbelwellen-Startergeneratoren nach dem Prinzip der permanenterregten Synchronmaschine verwendet.

Moderne Startergeneratoren

Bei modernen Hybridelektrokraftfahrzeugen kommen Startergeneratoren verschiedener Hersteller zum Einsatz. Das können entweder riemengetriebene Startergeneratoren oder Kurbelwellen-Startergeneratoren sein. Üblicherweise arbeiten diese nach dem Prinzip der Synchronmaschine oder Asynchronmaschine und erfordern einen Umrichter, um mit dem Gleichspannungs-Bordnetz und der Batterie verbunden zu werden.

Riemengetriebene Startergeneratoren werden – ähnlich wie eine herkömmliche Lichtmaschine – mittels Riementrieb mit dem Verbrennungsmotor gekoppelt. Das erfordert nur geringe mechanische Änderungen. Die von einem Riemen bei vertretbaren Kosten und mechanischen Verlusten übertragbare Leistung ist jedoch begrenzt, so dass riemengetriebene Startergeneratoren nur für Mikro- und schwache Mildhybride einsetzbar sind.

Bei stärkeren Mildhybridfahrzeugen kommen daher Kurbelwellen-Startergeneratoren zum Einsatz. Diese sitzen zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe direkt auf der Kurbelwelle. Die übertragbare Leistung ist daher im Wesentlichen nur noch durch die Leistungsfähigkeit des Startergenerators oder des Umrichters begrenzt. Nachteilig ist, dass vergleichsweise erhebliche mechanische Änderungen an bestehenden Systemen erforderlich sind und die Montage auf der Kurbelwelle eine Verlängerung des Antriebsstrangs bewirkt.

Vorteile von Startergeneratoren

Startergeneratoren, die heute in der Regel als permanenterregte Synchronmaschinen gebaut werden, haben einen wesentlich höheren Wirkungsgrad als Lichtmaschinen und eine große Leistungsdichte. Außer zum reinen Anlassen des Motors bieten sie u.a. auch folgende Einsatzmöglichkeiten:

- Booster-Funktion; beim Anfahren und Beschleunigen wirkt auch der Starter-Generator auf die Antriebswelle und sorgt somit für bessere Beschleunigung.
- Rekuperation; beim Bremsen wirkt der Startergenerator als Generator und ein Teil der kinetischen Energie wird in der Batterie zwischengespeichert.
- Schwingungsdämpfung im Antriebsstrang.
- Start-Stopp-Funktion; beim Anhalten geht der Motor von alleine aus und startet wieder, wenn der Fuß von der Bremse genommen oder die Kupplung getreten wird.

Durch die beiden ersten Punkte wird insbesondere im Stadtbetrieb eine Kraftstoffersparnis von 10 bis 15 % erzielt.

Bilder und Texte von de.wikipedia.org stehen unter der Lizenz „Creative Commons Attribution/Share Alike“ und dürfen, bei entsprechender Quellenangabe, frei verwendet werden..

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

DynaStart® – Manfred Richey

Die folgenden Texte und Bilder über das moderne DynaStart®-System drucken wir mit freundlicher Genehmigung von ZF.com ab.

Der DynaStart® ist ein Kurbelwellen-Startergenerator (KSG), der, wie der Name schon sagt, direkt auf der Kurbelwelle zwischen Verbrennungsmotor und Getriebe montiert wird. Diese elektrische Maschine ersetzt den konventionellen Anlasser und Generator und bietet umfangreiche Zusatzfunktionen. Der Keilriemenantrieb wird ebenso überflüssig wie der Anlasserzahnkranz und das Ritzel. Eine elektronische Steuerung macht den KSG zum Multitalent.

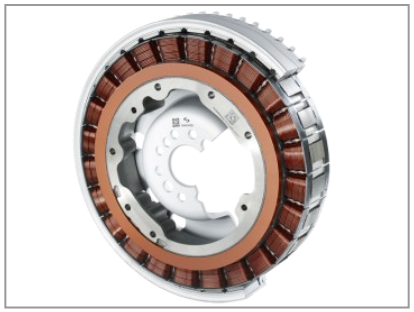

Abb. 1 – DynaStart® Bild: ZF.com

Die Aufgabe

Der Startergenerator DynaStart® ist als Innen- oder Außenläufer verfügbar. Es werden permanent erregte Neodym-Eisen-Bor-Magnete eingesetzt, so dass kein elektrischer Strom zur Felderregung notwendig ist. Dadurch wird die Leistungselektronik kleiner. Im Gegensatz zu herkömmlichen Elektromotoren werden beim Stator vollautomatisch gewickelte Spulen auf speziell geformte Blechpakete gesetzt. Dieses robuste Design ermöglicht eine wirtschaftliche Serienproduktion.

Funktion

Die Technik

Mit einem Startergenerator von ZF ging der erste Mild-Hybrid 2009 in Europa in Serie. Bei einer Baulänge von 65 mm und 15 kW Leistung trägt die elektrische Maschine DynaStart® dazu bei, bis zu 15 % Kraftstoff und CO_2 -Emissionen zu sparen.

Dank der bauraumneutralen Integration ermöglicht ZF auch für den Fahrzeughersteller ein hohes Maß an Wirtschaftlichkeit, da an bestehenden Fahrzeugkonzepten weiter gearbeitet werden kann. Der Startergenerator DynaStart® von ZF ist speziell für Parallel-Hybridlösungen entwickelt worden – kurze Baulänge, hohe Energieeffizienz und robust genug, um im komplexen Umfeld zwischen Motor und Getriebe höchste Leistungen zu bringen.

Vorteile

- Optimale Leistungs- und Drehmomentdichte
- Hohes Moment bei niedrigen Drehzahlen: Anfahren, Start-Stopp
- Minimale axiale Länge, geringster Bauraumbedarf
- Als Außen- oder Innenläufer verfügbar

(Fortsetzung auf Seite 32)

(Fortsetzung von Seite 31)

Nutzen

- Automatische Start-Stopp-Funktion
- Hohe Generatorleistung (bis über 10 kW)
- Hohe Generatorwirkungsgrade vor allem in verbrauchsrelevanten Drehzahlbereichen
- Leerlaufstabilisierung und -absenkung
- Boost-Funktion auch als Anfahrhilfe
- Rekuperation (Bremsenergie-Rückgewinnung)

Aufbau/Funktion

Start-Stopp

Der DynaStart beschleunigt den Verbrennungsmotor beim Start extrem schnell auf Leerlaufdrehzahl (<0,3 s) und arbeitet dabei geräuschlos und verschleißfrei. Diese Eigenschaften erlauben jetzt einen komfortablen Start-Stopp-Betrieb (z. B. an Ampeln), der eine Reduzierung von Verbrauch und Emissionen um bis zu 7 Prozent ermöglicht.

Power-Boost

Beim Power-Boost unterstützt der DynaStart den Verbrennungsmotor beim Beschleunigen - je nach Ausführung mit einem Drehmoment bis zu 100 Nm und einer Leistung bis über 10 kW. Diese Funktion macht Anfahren am Hang zu einer leichten Übung und das "Abwürgen" des Motors fast unmöglich. Das Beschleunigungsdrehmoment wird angehoben - entweder für mehr Beschleunigung oder für kraftstoffsparendes Anfahren.

Rekuperation (elektrisches Bremsen)

Die im Fahrzeug gespeicherte kinetische Energie wird bei der Rekuperation in elektrische umgewandelt und z. B. in der Batterie gespeichert. Beim nächsten Beschleunigungsvorgang steht wieder zur Verfügung oder wird direkt im Bordnetz von den elektrischen Lasten genutzt. Diese Option ermöglicht Kraftstoffeinsparungen bis zu 5 Prozent.

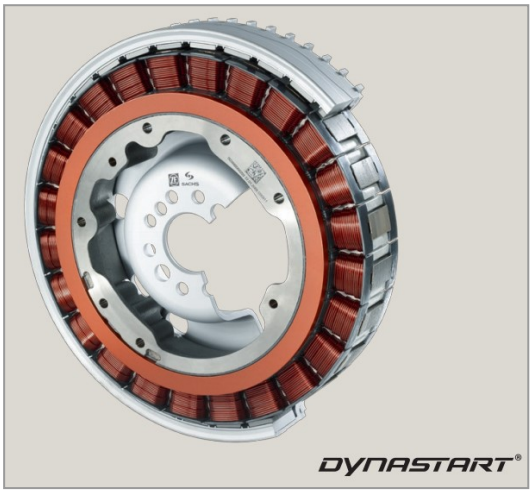

Abb. 2 – DynaStart® – Elektrische Maschine für Pkw
Bild: ZF.com

Technische Daten

Beispiel Mildhybrid SG325

- Permanenterregte Synchronmaschine
- Außenläuferprinzip, luftgekühlt
- Kurbelwellenfeste Montage
- Außendurchmesser 325 mm
- Motorische Leistung 12 kW
- (bei 105 V und 6.000 min^{-1})
- Maximales Kaltstartdrehmoment 220 Nm (bei 325 A)

(Fortsetzung auf Seite 33)

(Fortsetzung von Seite 32)

DynaStart® für Nutzfahrzeuge – Wirtschaftliche Leistung

Die Aufgabe:

Sei es der Verteilerverkehr in der Stadt, der Stadtbus oder die Baumaschine: Hier dominieren verbrauchsintensive, häufige Anfahr- und Arbeitsvorgänge mit kurzen Fahrabschnitten. Das Einsparpotenzial der Kraftstoffkosten und die Möglichkeit zur signifikanten Minderung von Abgasen und Geräuschemissionen ist enorm. Kurzum: Für hybridisierte Fahrzeuge das ideale Einsatzgebiet.

Die Technik:

Ausgelegt als Vollhybrid und in die Getriebesysteme der ZF Friedrichshafen AG eingebettet, gibt die elektrische Maschine DynaStart® Drehmomente bis 1.200 Nm mit einer maximalen Leistung von 200 kW ab. Umfangreiche Erprobungen garantieren den täglichen Einsatz und die Betriebssicherheit. Damit sind selbst im rein elektrischen Betriebszustand keine Einschränkungen bezüglich Fahrleistung oder Fahrkomfort vorhanden. Trotz der hohen Leistung konnte der DynaStart® bauraumneutral in die bestehende Getriebearchitektur integriert werden.

Im Fall der Baumaschine ist der Fahrbetrieb sekundäres Anwendungsfeld. Hier dient die Elektrifizierung des Antriebsstranges primär zur Unterstützung oder dem alleinigen Betreiben der Nebenabtriebsaggregate.

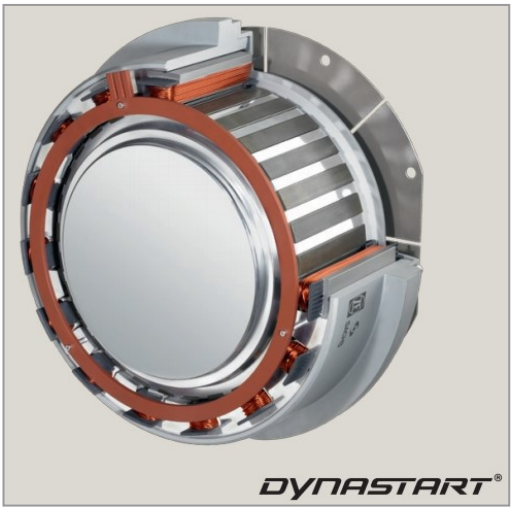

Abb. 3 – DynaStart® für Nfz. Bild: ZF.com

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Hybridmodul – Manfred Richey

Eine Kombination von Elektromotoren mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren wird als Hybridmodul bezeichnet. Während beim reinen Elektrofahrzeug die Reichweite durch die Kapazität der Batterie + Energierückgewinnung (Rekuperation) stark begrenzt ist und die Ladevorgänge zeitaufwendig sind und zudem noch eine entsprechende Infrastruktur von Ladestationen erfordern, werden Hybridmodule zur Reduzierung des CO_2-Ausstoßes und – je nach Auslegung – für einen reinen Batteriebetrieb bis zu einigen dutzend Kilometern, z. B. in der Stadt, ausgelegt.

Eine andere Version ist die so genannte „Plug-in-Hybrid"-Technik. Hier erfolgt bei Elektroautos der Antrieb ausschließlich durch Elektromotoren. Zusätzlich ist ein Verbrennungsmotor mit an Bord, der dazu dient, die Batterie bei Bedarf aufzuladen. Wenn der Verbrennungsmotor zusätzlich auch Strom liefern kann, wenn die Batterie noch genügend Ladung aufweist, dann kann dies zur Erhöhung der (elektrischen) Motorleistung dienen – sofern der Elektromotor dafür ausgelegt ist.

Beispielhaft soll hier ein modernes Hybridmodul von ZF dargestellt werden. Die folgenden Texte und Bilder über das moderne Hybridmodul drucken wir mit freundlicher Genehmigung von ZF.com ab.

Hybridmodul – Volle Funktionalität durch Integration

Das Hybridmodul vereint die Kernkompetenzen von ZF im Antriebsstrang: Elektrische Maschine, Torsionsdämpfung und nasslaufende Kupplung – bestens integriert und aufeinander abgestimmt. Besonderes Highlight dabei ist die Möglichkeit, das Modul bauraumneutral in bestehende Antriebsstrangarchitekturen zu integrieren.

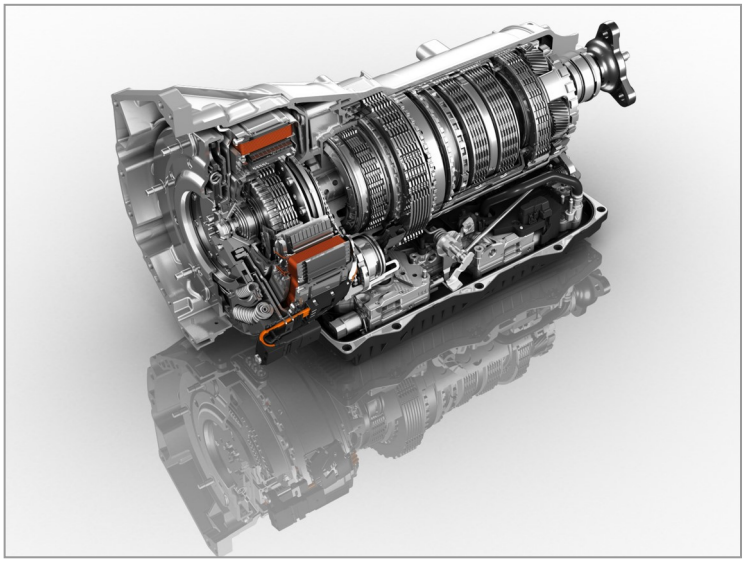

Abb. 1 – 8-Gang-Hybridgetriebe von ZF
Bild: ZF.com
Beispiel: Einsatz im Land Rover

Die Aufgabe:

Beim Hybridantrieb ergänzen sich das hohe Drehmoment eines Elektromotors im unteren und das dominierende Drehmoment des Verbrennungsmotors im oberen Drehzahlbereich. Um die Effizienz und Emissionsvorteile auch praktisch zu erzielen, muss das komplexe Zusammenspiel der Komponenten in den unterschiedlichen Betriebszuständen beherrscht werden. Gerade die relativ hohe technische Komplexität – es befinden sich zwei Antriebssysteme in einem Fahrzeug – erfordert ein vernetztes Denken in Systemstrukturen. Zusammen mit der ZF Friedrichshafen AG werden Hybridgetriebe entwickelt, die den Anforderungen des Systemansatzes entsprechen.

(Fortsetzung auf Seite 35)

(Fortsetzung von Seite 34)

Die Technik:

Der von ZF entwickelte permanent erregte Synchronmotor ist axial extrem kurz und hochleistungsfähig: Schwingungsentkopplung, Drehmomentübertragung, Schwungstart, Kupplungsbetätigung und Stromerzeugung werden vom Modul realisiert. Die Schwungstartkupplung trennt den Antriebsstrang vom Verbrennungsmotor und ermöglicht damit elektrisches Fahren sowie die Umwandlung von Bremsenergie in elektrische Energie ohne Reibungsverluste im Verbrennungsmotor. Durch das Schwungstartprinzip kann der Verbrennungsmotor mit minimalem elektromotorischem Drehmoment gestartet werden. Beim Startvorgang beschleunigt die elektrische Maschine den Rotor und die Kupplungsscheibe in Sekundenbruchteilen. Dann schließt die Kupplung und das Massenträgheitsmoment der rotierenden Massen dreht den Verbrennungsmotor auf oder sogar über die Leerlaufdrehzahl. Der Vorgang geschieht so schnell, dass er vom Fahrer nicht wahrgenommen wird. Diese Kupplung überträgt Drehmomente von mehr als 1.000 Nm.

Abb. 2 – ZF Hybridmodul bestehend aus elektrischer Maschine, Kupplung und Aktuator. Bild: ZF.com

Pluspunkte

- Drastische Reduzierung des Kraftstoffverbrauches und der Emissionen
- Sehr schneller und leiser Motorstart und somit komfortabler Start-Stopp-Betrieb
- Rückgewinnung von elektrischer Energie beim Bremsen
- Erhöhung der Fahrdynamik durch Unterstützung des Verbrennungsmotors beim Beschleunigen, sogenanntes Power-Boost
- Rein elektrisches und somit emissionsfreies Fahren durch Abkoppeln des Verbrennungsmotors vom Antriebsstrang

Fazit

Wenn man sieht, was sich aus der einfachen (historischen) Dynastartanlage weiter entwickelt hat, so ist das schon sehr beachtlich und man muss die Leistungen der Entwickler und der Verantwortlichen bei ZF in vollem Umfang würdigen. Ein kleines, wenn auch gravierendes Problem bleibt dennoch: Verbrennungsmotoren verbrauchen Primärenergie wie Benzin oder Diesel. In Kombination mit Erdgas kann der CO_2-Ausstoß sicher noch weiter verringert werden, aber auch Erdgas ist Primärenergie. Bei Biogas sieht es dann schon etwas besser aus – jedenfalls wenn dieses umweltfreundlich erzeugt wird.

Durch den Einsatz von Brennstoffzellen in Verbindung mit (Bio-)Wasserstoff könnte die Umweltbelastung noch einmal deutlich reduziert werden. Daher sehen wir die Hybridtechnik im Zusammenhang mit dem Einsatz von Verbrennungsmotoren nur als Übergangslösung.

Alle Rechte an diesem Artikel liegen bei den benannten Quellen sowie bei Manfred Richey, Nürtingen.
Nutzung bzw. Veröffentlichung nur nach vorheriger schriftlicher Zustimmung.
Anfragen bitte an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Impressum
Herausgeber/Verantwortlich
Manfred Richey
Im Wasserfall 2
D-72622 Nürtingen
Telefon: 07022 - 46210
http://www.biowasserstoff-magazin.de
Email: kontakt@bio-wasserstoff.info
Namentlich gekennzeichnete Beiträge stellen die Meinung des Autors dar.

Das Biowasserstoff-Magazin erscheint im Abstand von 1-3 Monaten im PDF-Format und ausschließlich online. In den Monaten dazwischen gibt es Aktualisierungen früherer Ausgaben. Zusätzlich gibt es Themenhefte, die immer wieder ergänzt und/oder aktualisiert werden.

Wir sind ungebunden, unabhängig und frei von kommerziellen Einflüssen und wollen die Idee des Bio-Wasserstoffs als ***neue umweltfreundliche Energie für alle*** verbreiten.

Beiträge sind willkommen - senden Sie diese bitte online an: kontakt@bio-wasserstoff.info

Mitstreiter / Mit-Autoren gesucht!
Anfragen bitte an: mitmachen@bio-wasserstoff.info

Neuer Wein in alten Schläuchen... | Wo leben wir denn?

In diesem Heft berichten wir unter anderem über DynaStart®-Anlagen und Hybridmodule, mit denen die Effizienz von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren verbessert werden soll und kann.

Systeme vom Feinsten, mit hohen technischen Ansprüchen und durchaus nützlich. Dennoch ist es nur ein Verbessern alter Technologie. Verbrennungsmotoren verwenden Primärenergie wie Benzin, Diesel oder – neuerdings – Erdgas. Durch die Verwendung von DynaStart®-Anlagen und Hybridmodulen wird zwar der Energieverbrauch und damit auch der Schadstoffausstoß etwas verringert, aber es werden eben noch immer Primärenergien verbraucht und die Umwelt wird weiter belastet.

Zudem wird damit auch eine schnellere Einführung zukunftsfähiger neuer Technologien – Brennstoffzellen und Wasserstoff – ausgebremst. Bei Fahrzeugen mit Brennstoffzellen und Wasserstoff fallen keine umweltschädlichen Abgase mehr an! Die Technologie ist vorhanden und serienreif, die Preise können bei entsprechender Serienfertigung deutlich gesenkt werden.

Das fehlende Wasserstoff-Tankstellennetz wird immer gern als Argument verwendet, genauso wie der nicht vorhandene oder nur aufwendig zu erzeugende Wasserstoff.

Wenn das Erdöl zur Neige geht, sind die großen Konzerne – und auch viele Politiker – gern bereit, alles, aber wirklich alles zu tun, um neue Ölquellen zu erschließen. Fracking, Tiefseebohrungen, Pipelines durch Naturschutzgebiete und noch mehr – alles das sind keine Hindernisse. Plünderung des Planeten um jeden Preis!

Aber Wasserstoff erzeugen und ein flächendeckendes Wasserstoff-Tankstellennetz einzurichten, das ist zu teuer und rechnet sich nicht (so jedenfalls die landläufige Meinung).

Wo leben wir denn? Auf einem Planeten, den man ungestraft weiter ausbeuten und zerstören kann?

Die Asiaten, Toyota – aber auch koreanische Autokonzerne – wollen nun im Jahr 2015 Brennstoffzellen-Autos auf den europäischen Markt bringen. Daimler hingegen verschiebt den schon vielfach geplanten und genauso oft verschobenen und zuletzt auf 2014 festgelegten Start für Serien-Brennstoffzellen-Autos erneut, diesmal ins Jahr 2017. Bis dahin soll in Kooperationen mit Nissan und Ford erst mal weiter geforscht werden. Und vorher hängt man sich mit ‚neuer alter' Technologie ein grünes Mäntelchen um – siehe oben.

Und dann ist da noch etwas. Die Gewinne müssen stimmen und optimiert werden. So peilt Daimler einen Gewinn von 10 % an. Der lässt sich natürlich viel leichter und besser mit der S-Klasse verdienen – in Ländern wie China, aber auch in den USA und Kanada. Russland fällt ja nun vorerst aus, auch dort haben die neureichen Russen ja gern die S-Klasse gekauft. Und auch viele Araber stehen auf S-Klasse-Autos.

Bei Brennstoffzellenfahrzeugen kann man anfangs nichts verdienen, man muss eher quersubventionieren. Da schiebt man das dann doch lieber auf die lange Bank.

Das kann und wird sich aber eines nicht zu fernen Tages bitter rächen und dann haben die Asiaten die Nase vorn, bedienen (auch) den deutschen Markt mit Brennstoffzellenautos und die deutschen Hersteller haben das Nachsehen. Wer hier Parallelen zu den großen Energieversorgern sieht, die den Markt der erneuerbaren Energien ignoriert und verschlafen haben, der liegt völlig richtig!

Nürtingen, im Dezember 2014 - Manfred Richey

Wir müssen Druck machen - auf die Politiker. Damit neue Energien auf den Weg gebracht werden und nicht die Laufzeiten alter AKWs verlängert und schmutzige Kohlekraftwerke gebaut werden!