Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 13

Artikel: Miniatur-Synchronmotoren

Autor: Gerber, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-916732

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

Miniatur-Synchronmotoren

Von *H. Gerber*, Courgevaux

621.313.323-181.4

Es werden die Eigenschaften und die Wirkungsweise der gebräuchlichsten Miniatur-Synchronmotoren beschrieben, wobei die für die Anwendung dieser Bauelemente wichtigen Gesichtspunkte speziell berücksichtigt werden.

Description des propriétés et du fonctionnement des moteurs synchrones miniatures les plus usuels, en considérant notamment les particularités importantes pour leur utilisation.

Einleitung

Miniatur-Synchronmotoren stossen als Antriebsorgan von Programmschaltern, Synchronuhren, Registrierinstrumenten, Impulsgebern, Zeitzählern usw. auf wachsendes Interesse in der Elektro- und Feinwerktechnischen Industrie. Sie gehören zu denjenigen Bauteilen, welche durch die neuen Bauelemente der Elektronik vorderhand nicht ersetzt werden können. Im Gegenteil, als zweckmässiger Ergänzungsbauteil wird deren Anwendungsbereich ständig erweitert.

Die Vorteile vom Miniatur-Synchronmotor werden bei jenen Anwendungen offensichtlich, wo von einem netzgespiesenen Antriebsorgan nebst der Drehmomentabgabe auch Wirtschaftlichkeit, kleine Abmessungen und spannungs- und belastungsunabhängige Drehzahl gefordert werden.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf selbstanlaufende Kleinst-Synchronmotoren, deren Aufnahmeleistung unter 5 W liegt, was einem max. Bauvolumen (inkl. Getriebe) von ca. 0,1 dm³ entspricht.

Die Einteilung der verschiedenen Synchronmotortypen wird nach der Art des Rotors vorgenommen. Eine Unterteilung nach der Bauart des Stators wäre weniger zweckmässig, da mit einem Spaltpolstator Asynchron- und Synchronmotoren verschiedener Art gebaut werden können.

Je nach Rotorausführung kann man bei den Miniatur-Synchronmotoren folgende Arten unterscheiden:

1. Hysteresemotoren;
2. Pulsationsmotoren;
3. Synchronisierte Kurzschlussläufer;
4. Kombinationen der 3 Prinzipien.

1. Hysterese-Synchronmotoren

1.1 Prinzip und Aufbau

Die Hysterese-Synchronmotoren, früher auch Warrenmotor genannt, werden als Schnell- und Langsamläufer gebaut. Die Wirkungsweise kann am besten an einem 2poligen Motor, also an einem Schnelläufer erklärt werden. Prinzip und Zeigerdiagramm eines solchen Motores sind in den Fig. 1 und 2 dargestellt.

Jeder Hysterese-Synchronmotor benötigt ein Statordrehfeld (auch Rutsch- oder Wanderfeld genannt). Wie ein solches Drehfeld beim Anschluss an Einphasen-Wechselstrom erzeugt wird, kann an Hand der Fig. 1 und 2 wie folgt erklärt werden:

Die Statorpole werden in zwei Teilpole (Spaltpole) aufgeschlitzt und je ein Teilpol verschiedener Polarität mit einem Kupfer-Kurzschlussring umfasst. Der durch die Erregerwicklung erzeugte Hauptfluss Φ_{tot} teilt sich dadurch in die Teilflüsse Φ_1 und Φ_2. Im kupferumfassten Teilpol, dem Hilfspol induziert der Teilfluss Φ_1 im Cu-Ring eine Spannung E_K, die ihrerseits den Strom I_K durch den Kupferring treibt. Dadurch wirkt der Kurzschlussring als Erregerspule und erzeugt den entsprechenden Fluss Φ_K im Hilfspol, welcher in Phase mit I_K ist. Φ_K ist zum Fluss Φ_1 um den Winkel γ (ca. 120 ... 135 °) nacheilend. Der wirksame Fluss Φ_R im Hilfspol setzt sich nun aus den beiden Flüssen $\vec{\Phi}_1 + \vec{\Phi}_K$ zu $\vec{\Phi}_R$ zusammen, welcher um den Winkel α (30 ... 45 °) hinter dem Fluss Φ_2 im Hauptpol nacheilt. Es wird dadurch ein annähernd elliptisches Statordrehfeld erzeugt.

32'958 – 968

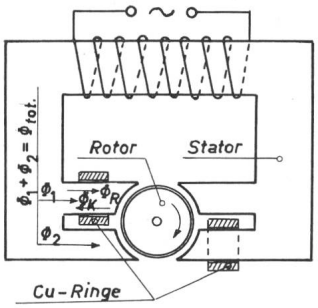

Fig. 1
Schematische Darstellung eines Hysterese-Schnelläufermotors
Φ_{tot} der durch die Erregerspule erzeugte Gesamtfluss im Schenkel; Φ_1 Teilfluss zum Hilfspol; Φ_2 Teilfluss zum Hauptpol; Φ_K zur Durchflutung des Cu-Ringes (Kupferkurzschlussring) gehörender Fluss; Φ_R auf den Rotor wirkender Fluss im kupferumfassten Hilfspol

In diesem Statordrehfeld ist zentrisch ein Rotor aus speziellem Magnetwerkstoff gelagert. Bei Erregung des Stators wird dieser Rotor durch die Statorpole magnetisiert und infolge der ausgeprägten Hysteresewirkung (Rotationshysterese) des Rotorwerkstoffes in Richtung des Statordrehfeldes beschleunigt.

Der Anlauf erfolgt asynchron, d. h. der Rotor wird fortwährend ummagnetisiert bis er die Umlaufgeschwindigkeit des Statordrehfeldes erreicht hat. Von diesem Augenblick an bleiben die magnetischen Pole des Rotors an Ort, die synchrone Drehzahl hat sich eingestellt.

Für die in Kleinst-Synchronmotoren realisierbaren Statorfeldstärken eignet sich als Rotorwerkstoff am besten ein Werkstoff mit einer Koerzitivkraft von 70...180 Oe und einer Remanenz-Induktion von 8...14 kGs. Legierungen auf der Basis von Kobalt-Eisen mit Zusätzen von Vanadium und

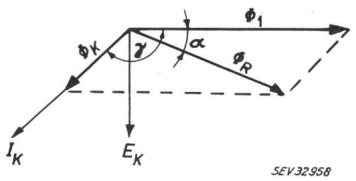

Fig. 2
Zeigerdiagramm der magnetischen Flüsse im Hilfspol
Φ_1 Teilfluss zum Hilfspol; E_K durch Φ_1 im Cu-Ring induzierte Spannung; I_K aus E_K resultierender Strom im Cu-Ring; Φ_K zu I_K gehörender Fluss; Φ_R vom Hilfspol auf den Rotor wirkender Fluss; γ Nacheilwinkel von Φ_K zu Φ_1 und α Nacheilwinkel von Φ_R zu Φ_1

Chrom erreichen diese magnetischen Werte durch eine Anlasshärtung. Das Synchronlaufdrehmoment nimmt mit steigender Koerzitivkraft des Rotorwerkstoffes zu, das Anlaufdrehmoment dagegen nimmt ab. Es gilt daher jene Koerzitivkraft zu wählen wo Anlauf- und Synchronlaufdrehmoment etwa gleich gross sind.

Hysterese-Schnelläufer werden häufig ähnlich Fig. 1 gebaut, mit offenem Rotor-Stator-Luftspalt und angeflanschtem Reduktionsgetriebe.

Der zweipolige Stator ist geblecht zwecks Erzielung geringer Eisenverluste. Bei den *Langsamläufern* trifft man die verschiedensten Bauarten an, mit Innen- oder Aussenläufern, mit und ohne angeflanschtem Getriebe. Eines der vielen Fabrikate zeigt Fig. 3 in demontiertem Zustand. Die Kupferringe erzeugen in den abgekröpften Hilfspolen die gewünschte Flussverschiebung. Der als Aussenläufer ausgebildete Stator besteht aus einem gelochten Aluminiumtopf mit eingesprengtem Magnetbändchen und zentrisch befestigter Rotorachse. Die Lagerung der gehärteten und polierten Rotorachsen erfolgt vielfach in Hartgewerbe, bei den Schnelläufern z. T. auch in Miniaturkugellagern. Eine Wartung der Lager ist normalerweise nicht notwendig.

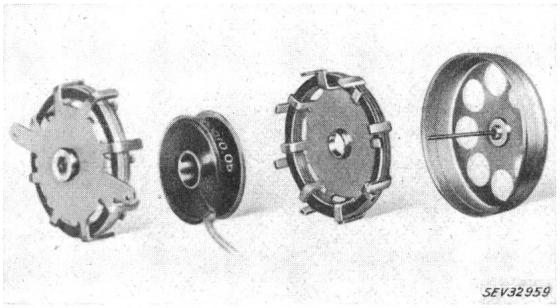

Fig. 3
Langsamläufer-Hysteresemotor
im zerlegten Zustand
Der Rotor ist als Aussenläufer ausgebildet. Rotordrehzahl 375 U./min bei 50 Hz

Sowohl bei Schnelläufern als auch bei Langsamläufern kann das Statordrehfeld auch durch 2 Erregerspulen erzeugt werden, deren zugehörigen Statorpole (im Umfang versetzt) auf den gleichen Rotor einwirken. Die Flussverschiebung zwischen den beiden Statorpolgruppen wird durch Serie- oder Parallel-Schaltung einer passenden Kapazität zu einer Erregerspule erzielt. Durch Umschalten der Kapazität kann die Drehrichtung gewechselt werden (siehe auch Fig. 11).

1.2 Eigenschaften der Hysterese-Synchronmotoren

Drehzahl: Die bevorzugte Rotordrehzahl beträgt bei den Langsamläufern 375 U./min und bei den Schnelläufern 3000 U./min bei 50 Hz. Zur Berechnung der Rotordrehzahl gilt:

$$n_{Rotor} = \frac{2f \cdot 60}{p} \quad [\text{U./min}]$$

wobei f die Netzfrequenz und p die Anzahl Pole des Stators bedeuten. (Die Hilfspole sind nicht zu zählen.)

Drehmoment: Bei Miniatur-Hysterese-Motoren wird ein Rotordrehmoment von 0,5 bis ca. 3 gcm erzielt. Auf 1 U./min umgerechnet kann ein Langsamläufer, je nach Rotor-Drehzahl und -Durchmesser, 100...1000 gcm, ein Schnelläufer dagegen 1000 bis über 6000 gcm abgeben. Der Drehmomentverlauf in Funktion der Drehzahl n entspricht in der Praxis meistens ungefähr der Fig. 4. Die Einsattelung bei 1/3 Synchrondrehzahl und der Abfall gegen die Synchrondrehzahl sind u. a. auf Flussoberwellen im Stator und die Wirbelstrom-Bremsung des Rotors zurückzuführen. Das Anlaufdrehmoment beträgt im allgemeinen 50...80 % des Synchronlaufdrehmomentes. Wie die Kennlinie in Fig. 4

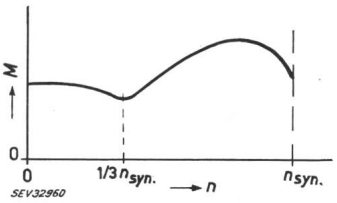

Fig. 4
Drehmomentkennlinie eines Hysteresemotors
M Rotordrehmoment; $n_{syn.}$ Synchrondrehzahl

zeigt, kann dieser Motor bei Überlastung mit Schlupf, also asynchron, drehen. Er bleibt, je nach Drehmomentkennlinie, erst bei einer etwa 50prozentigen Überschreitung des Synchronlaufdrehmomentes stehen. Die Drehmasse des angetriebenen Objektes kann bezüglich Anlaufdrehmoment unberücksichtigt bleiben. Die Anlaufverzögerung wird jedoch mit zunehmender Drehmasse grösser. Die Abhängigkeit des Drehmomentes von der Motorspannung $M = f(U)$ ist stark von der Bauart abhängig. Vielfach ist es so, dass das Anlaufdrehmoment ungefähr linear mit der Motorspannung steigt, während das Synchronlaufdrehmoment in der Nähe der Nennspannung seinen maximalen Wert erreicht.

Lebensdauer: Sie ist bei den Langsamläufern sehr hoch, da wegen des geringen Rotorgewichtes, der niedrigen Drehzahl, des vibrationsarmen Laufes und der relativ kleinen Drehmomentabgabe praktisch kein Verschleiss an Lager und Getriebe zu erwarten ist. Bei den Schnelläufern ist infolge der hohen Drehzahlen nicht mit so hoher Lebensdauer zu rechnen. Als Richtwerte für die Motor-Lebensdauer können genannt werden:

Langsamläufer	5...10 Jahre
Schnelläufer	1... 5 Jahre

Lärmentwicklung: Bei geeigneter Rotorlagerung arbeiten die Langsamläufer sozusagen lautlos. Geräuschmessungen an 2 verschiedenen Fabrikaten ergaben bei einer Messdistanz von 2,5 cm einen Lärmpegel von nur 25 db. Bei den Schnellläufern ist die Geräuschentwicklung im Durchschnitt wesentlich grösser. Sie steigt mit der Belastung an.

Anwendung: Der Schnelläufer findet Verwendung als Federaufzugsmotor in Uhren, zur Steuerung von Ventilen, als Antriebsmotor von Programm- und Verzögerungs-Schaltern, d. h. hauptsächlich für Kurzzeitbetrieb. In der üblichen Ausführung, also mit relativ wenig geschütztem Rotor, eignet er sich schlecht bei staubiger Atmosphäre, Spritz-

wasser oder in solchen Fällen wo geringe magnetische Streuung erwünscht ist.

Die Langsamläufer sind prädestiniert für alle jene Anwendungsfälle wo lange Lebensdauer und geringste Lärmentwicklung bei kleiner Drehmomentabgabe gefordert werden. Das ist z. B. der Fall bei Synchronuhren, Synchronzeitschaltern, Zeit- und Mengen-Zählern, Zeitwaagen, Papiervorschub in Registrierinstrumenten, usw.

2. Pulsations-Synchronmotoren

2.1 Prinzip und Aufbau

Die verschiedenen Konstruktionen dieser Synchronmotor-Typen haben folgendes gemeinsam: Der Rotor ist permanent-magnetisch und die Rotordrehzahl ist unter 1000 U./min bei 50 Hz, d. h., dass diese Motoren zu den Langsamläufern gehören. Man nennt diese Art von Motoren auch Impulsfeld-, Ferranti-, Zappel- oder Dauermagnetläufer-Synchronmotoren. Die Bezeichnung Pulsations- und Impulsfeld-Motor ist auf den impulsförmigen Antrieb des Rotors, die Bezeichnung Zappelmotor auf die Anlaufphase zurückzuführen, da der Rotor schwingend oder «zappelnd» in den Synchronlauf gebracht wird.

Die Dauermagnetläufer-Motoren lassen sich, je nach Ausbildung des Stators, in 3 Gruppen unterteilen, nämlich:

a) Ohne Statordrehfeld und mit Rücklaufsperre (2.1.1);
b) Mit Statordrehfeld und mit Rücklaufsperre (2.1.2);
c) Mit Statordrehfeld und ohne Rücklaufsperre (2.1.3).

Auf dem Markt sind heutzutage alle 3 Varianten in selbstanlaufender Ausführung vertreten.

2.1.1 Pulsationsmotor ohne Statordrehfeld und mit Rücklaufsperre

Der älteste Vertreter der Pulsationsmotoren dürfte die Ausführung ohne Statordrehfeld sein. Nach diesem Prinzip arbeiten unzählige Fabrikate, die sich im Aufbau von Stator, Rotor und Rücklaufsperre z. T. wesentlich unterscheiden. Die für alle Bauarten ohne Statorfeld gültigen Merkmale und Wirkungsweise können an Hand von Fig. 5 erklärt werden.

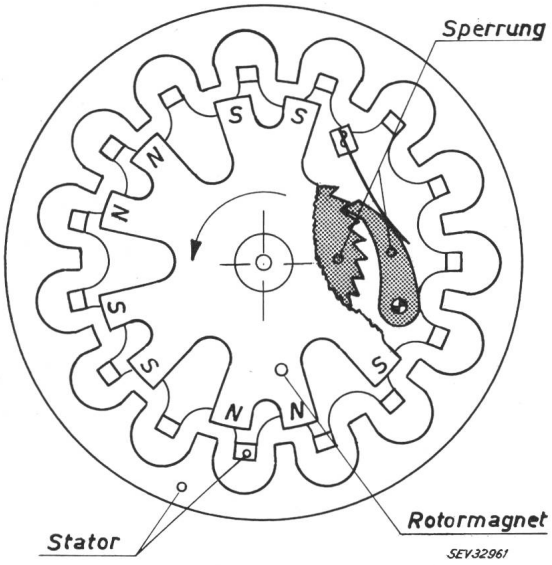

Fig. 5

Stator und Rotor eines Pulsationsmotors ohne Statordrehfeld

Die Sperrung ist nur schematisch dargestellt, die Magnetisierung des permanentmagnetischen Rotors ist durch die Symbole *N* (Nordpol) und *S* (Südpol) gekennzeichnet

Fig. 5 zeigt von einer verbreiteten Bauart den konzentrisch um den Rotor aufgebauten Stator mit Sperrvorrichtung. Diese ist nur schematisch dargestellt. Man beachte die ungleiche Anzahl und Ausbildung der Pole von Stator und Rotor. Dieses Merkmal weisen fast alle selbststartenden Motoren dieser Gruppe auf. Es ist ein Mittel welches in allen Variationen für den Selbstanlauf angewendet wird, da die Hauptschwierigkeit bei diesen Pulsationsmotoren beim Anlauf liegt.

Damit bei Erregung des Stators auf den Rotor ein möglichst grosses Drehmoment ausgeübt wird, müssen die Rotorpole zwischen ungleichnahmigen Statorpolen (oder umgekehrt) stehen. Würden sich Rotor- und Statorpole beim Start genau gegenüberliegen, so wären in jedem Augenblick die links- und rechtsdrehenden Momente gleich stark, der Rotor könnte somit in keiner Richtung beschleunigt werden. Die für den Anlauf günstigste Rotor-Ruhestellung kann erzwungen werden, indem man die Pole von Rotor und Stator so ausbildet, dass der magnetische Widerstand für den Rotormagnetkreis in dieser Stellung ein ausgeprägtes Minimum aufweist. Bei stromlosem Stator pendelt der Rotor dadurch immer in diese günstige Anlaufstellung. Ein asynchrones Hochlaufen im üblichen Sinne ist bei den Dauermagnetläufern nicht möglich. Beim Start muss der Rotor etwa innerhalb einer Periode auf die synchrone Drehzahl beschleunigt werden, oder sich durch Schwingungen mit zunehmender Amplitude in den Synchronlauf einpendeln. Zu diesem Zwecke wird bei einigen Fabrikaten der Rotor federnd mit der Rotorachse gekuppelt, damit er bei Anlauf unter Belastung durch einen Einschwingvorgang in den Synchronlauf einfallen kann.

Wird der Rotor beim Start in die falsche Drehrichtung beschleunigt, so muss die Sperrvorrichtung nach möglichst kurzer Zeit ansprechen und ihn in einer Stellung mit grossem Anlaufdrehmoment stoppen. Beim Polaritätswechsel des Stators wird der Rotor dann in der gewünschten Drehrichtung in Bewegung gesetzt. Auf die Finessen solcher Sperrvorrichtungen einzugehen würde zu weit führen. Es soll nur erwähnt werden, dass sie für die Qualität des Pulsationsmotors ohne Drehfeld entscheidend sind und folgenden Ansprüchen genügen müssen: definierte Sperrstellung, geringe Lärmentwicklung, kleine Reibungsverluste, verschleissfest, lageunabhängig und absolut zuverlässig. Eine Sperrung wie sie schematisch in Fig. 5 dargestellt ist, wäre daher bezüglich Lärmentwicklung und Verschleissfestigkeit nicht empfehlenswert.

Eine bekannte Ausführung eines Pulsationsmotors ohne Statordrehfeld zeigt Fig. 6 in aufgeschnittenem Zustand. Der käfigartige Stator umschliesst die mit Kunstharz vergossene Erregerspule sowie den Rotor mit Sperrvorrichtung. Durch diese Bauart werden Rotor und Spule gut gegen mechanische Beschädigungen und Verschmutzung geschützt. Die Rotorpole werden durch zwei weichmagnetische Polbleche gebildet, welche durch eine axial magnetisierte Bariumferritscheibe polarisiert werden. Als Einwegsperrung werden zwei Zahnräder mit besonderen Zahnformen angewendet. Sie haben die Eigenschaft in der Laufrichtung wie zwei normale Zahnräder zu arbeiten, in der Gegenrichtung wirken sie jedoch als Sperrung. Der Rotor läuft in wartungsfreien und lärmdämpfenden Kunststofflagern. Das kräftige, ebenfalls wartungsfreie Stirnradgetriebe wird mit zwei Schrauben auf

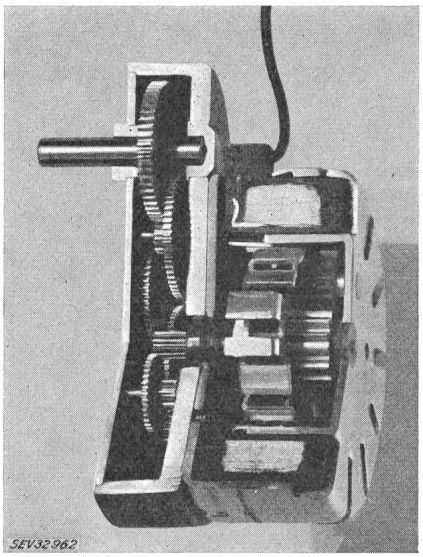

Fig. 6
Schnitt durch einen Pulsationsmotor
ohne Statordrehfeld und dessen angeschraubten Reduktionsgetriebe
Rotordrehzahl 250 U./min bei 50 Hz

dem Motor befestigt, wobei die Zentrierung durch ein vorstehendes Rotorlager erfolgt.

2.1.2 Pulsationsmotor mit Statordrehfeld

Um die Anlaufbedingungen des Pulsationsmotors zu erleichtern, kann ein Stator mit Drehfeld verwendet werden. Wie bei den Hysterese-Motoren beschrieben, werden zu diesem Zweck neben den Hauptpolen Hilfspole angeordnet, wobei die Flussverschiebung in diesen ebenfalls durch Kupfer-Kurzschlussringe oder, seltener, durch eine kapazitive Hilfsphase bewerkstelligt wird. Das dadurch entstehende Drehfeld übt auf den Rotor in jeder Stellung ein Drehmoment aus; es gibt keine labilen Positionen mehr wie beim Pulsationsmotor ohne Drehfeld. Je nach Ausbildung des Drehfeldes kann eine Rücklaufsperrung mit beliebiger Sperrstellung verwendet, oder bei genügender Unterdrükkung des Gegendrehfeldes auf eine Sperrung sogar verzichtet werden.

In den Fig. 7, 8 und 9 sind die Statorfelder für die verschiedenen Pulsationsmotoren durch Drehzeigerdiagramme dargestellt. Aus Gründen der Darstellung und Übersichtlichkeit wurden dazu zweipolige Statore gewählt. (In Wirklichkeit werden diese Motoren meist 10...30polig gebaut). Beim Pulsationsmotor ohne Hilfspole wird das Wechselfeld zwischen den Polen durch die zwei Drehzeiger H_L und H_R dargestellt (Fig. 7). Beim Stator mit Drehfeld kommen zu den Drehzeigern H_L und H_R der Hauptpole die Drehzeiger F_L und F_R der Hilfspole hinzu. Die Addition der in gleicher Richtung drehenden Zeiger $(\vec{H}_L + \vec{F}_L)$ bzw. $(\vec{H}_R + \vec{F}_R)$ ergibt die Resultierenden R_L bzw. R_R. Durch Addition dieser Resultierenden zu verschiedenen Zeitpunkten t kann das Drehfeld konstruiert werden (siehe auch Fig. 7, 8 und 9).

Einen nach dem Zeigerdiagramm in Fig. 8 arbeitenden Pulsationsmotor zeigt in zerlegtem Zustand Fig. 10. Auf dem Rotor ist eine sofort ansprechende Rollensperrung ersichtlich, durch welche die Anlaufverzögerung und der Rücklaufweg des Rotors auf ein Minimum begrenzt werden. Die abgekröpften Pole im Stator sind Hilfspole. Die Flussverschiebung wird durch den sie umfassenden Kupferring erzielt.

Um eine elektromagnetisch bestimmte Drehrichtung gemäss Fig. 9 bei Langsamläufern zu erzielen, kann man z. B. die Hilfspole für sich und die Hauptpole für sich in Polgruppen anordnen. Dadurch besteht die Möglichkeit den Gesamtfluss in den kupferumfassten Hilfspolen gleich gross zu machen wie in den Hauptpolen, indem z. B. mehr Hilfspole als Hauptpole angeordnet werden. Bei gleichen Abmessungen und Verhältnissen ist nämlich der Fluss im Hilfspol kleiner als im Hauptpol, was aus Fig. 2 ersichtlich ist.

Eine andere Möglichkeit zur Erzielung eines solchen Drehfeldes besteht in der Verwendung von zwei getrennt erregten Statoren, deren ineinandergreifende Pole auf denselben Rotor wirken.

Eine schematische Darstellung mit abgewickeltem Stator eines solchen Motors zeigt Fig. 11. Die Flussverschiebung in den Rolen mit Index H wird durch die in Serie mit Stator 2 geschaltete Kapazität C erzielt. Durch geeignete Bemessung der Statorwicklung (L und R) und der Kapazität C sind zwischen den beiden Statoren Flussverschiebungen von 90° erzielbar. In diesem Falle soll der Polverschiebungswinkel β ebenfalls 90° betragen, wodurch beim Umschalten der Kapazität gleiche Verhältnisse in der anderen Drehrichtung vorliegen.

Dem grösseren materiellen Aufwand dieser Bauart stehen als Vorteile die elektrische Reversierbarkeit sowie wesentlich höheres Drehmoment und Wirkungsgrad gegenüber. Ein nach diesem Prinzip gebauter Pulsationsmotor mit 250 U./min ist in der Lage bei ca. 1,5 W Leistungsaufnahme ein Rotor-Drehmoment von ca. 150 gcm abzugeben, was einem Wirkungsgrad von ca. 25 % entspricht. Für Miniatur-Synchronmotoren stellt das einen ausgezeichneten Wert dar.

2.2 Eigenschaften und Anwendung der Pulsations-Synchronmotoren

Drehzahl: Pulsations-Synchronmotoren sind Langsamläufer mit Drehzahlen von 150...600 U./min z. T. bis 750 U./min. Bei der Ermittlung der Rotordrehzahl n_{Rot} nach der Formel

$$n_{Rot} = \frac{2f \cdot 60}{p} \qquad \text{[U./min]}$$

ist zu berücksichtigen, dass Stator und Rotor vielfach nicht die gleiche Anzahl Pole aufweisen. Es ist immer die grössere Polzahl einzusetzen (Hilfspole bleiben unberücksichtigt).

Drehmoment: Das Drehmoment ist im Durchschnitt wesentlich höher als bei Hysterese-Motoren. Bei den Pulsationsmotoren ohne Drehfeld sind Drehmomente von 1000...5000 gcm bezogen auf 1 U./min üblich, bei solchen mit Drehfeld dagegen 1000 bis über 20 000 gcm.

Das Anlaufmoment beträgt in der Regel 40...80 % des Synchronlauf-Drehmomentes. Die Drehmasse des durch den Motor anzutreibenden Objektes ist beschränkt.

Bei unerregter Spule wird der Rotor durch sein Magnetfeld in einer bestimmten Position gehalten. Um ihn aus dieser Lage herauszudrehen muss ein gewisses Drehmoment das sog. «Haltemoment» aufgewendet werden. Das Haltemoment ist im allgemeinen kleiner als das Laufdrehmoment.

Laufeigenschaften, Geräusch: Der impulsartige Antrieb hat eine ungleichmässige Winkelgeschwindigkeit des Rotors

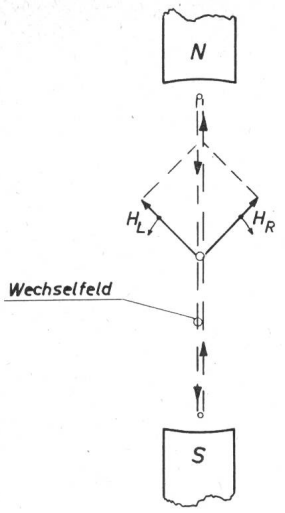

Fig. 7

Pulsationsmotor ohne Statordrehfeld

Die Drehrichtung des Rotors ist elektromagnetisch unbestimmt. Einwegsperrung nötig. Das Feld zwischen den Statorpolen N und S wird durch die zwei Zeiger H_L und H_R, die mit der Winkelgeschwindigkeit $\omega = 2\pi f$ in zueinander entgegengesetzter Richtung rotieren, dargestellt. Die Addition der beiden Zeiger H_L und H_R zu verschiedenen Zeitpunkten t zeigt, dass nur ein Wechselfeld existiert

$$|\vec{H}_L| = |\vec{H}_R|$$

$$\text{Wechselfeld} = \vec{H}_L + \vec{H}_R = f(t)$$

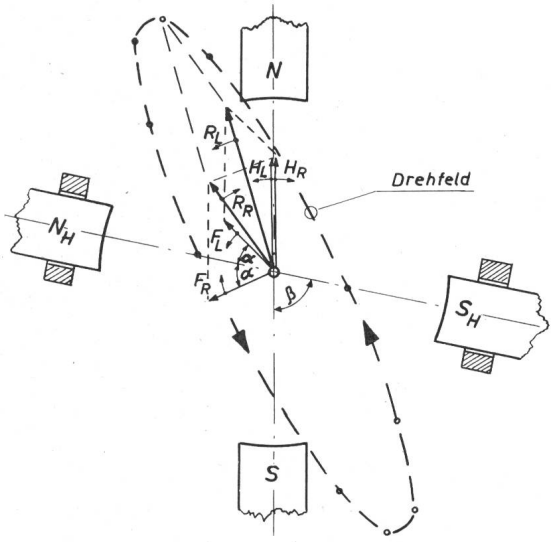

Fig. 8

Pulsationsmotor mit elliptischem Statordrehfeld

Die Drehrichtung ist für einen Dauermagnetläufer nicht eindeutig bestimmt. Vorzugsdrehrichtung mit grösserem Drehmoment als in Gegenrichtung vorhanden. Einwegsperrung nötig.

Es gilt: $\vec{R}_L = \vec{H}_L + \vec{F}_L$ und $\vec{R}_R = \vec{H}_R + \vec{F}_R$

$$\text{Drehfeld} = \vec{R}_L + \vec{R}_R = f(t)$$

N, S Hauptpole; N_H, S_H Hilfspole (kupferumfasst); α Flussverschiebungswinkel zwischen Hilfs- und Hauptpolen (30...45°); β Polverschiebungswinkel (80...100° elektr.); H_L, H_R links bzw. rechts drehendes Feld der Hauptpole; F_L, F_R links bzw. rechts drehendes Feld der Hilfspole

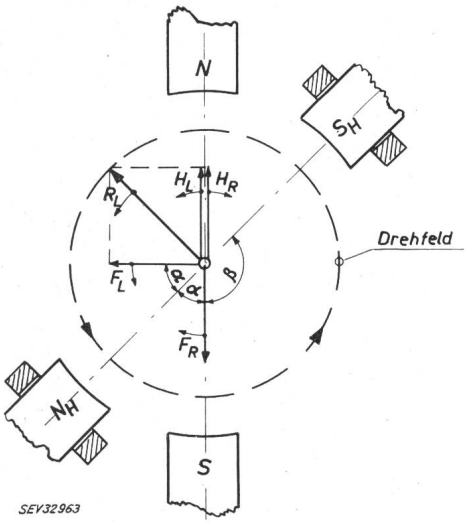

Fig. 9

Pulsationsmotor mit «idealem» Statorfeld

Die Drehrichtung ist elektromagnetisch bestimmt, da das Gegendrehfeld unterdrückt wird

Bedingungen: $\vec{H}_R + \vec{F}_R = 0 \quad \alpha + \beta = 180°$ (elektr.)

In diesem Fall hat das Drehfeld $R_L = f(t)$ die Form eines Kreises

$$\text{Drehfeld } \vec{R}_L = \vec{H}_L + \vec{F}_L = f(t)$$

zur Folge. Obwohl der schrittartige Lauf durch die dem Rotor innewohnende Energie geglättet wird, ist die Geräuschunterdrückung schwieriger und die Beanspruchung von Lagern und Zahnrädern grösser. Immerhin sind durch entsprechende Gestaltung der Rotorlager und Rücklaufsperrung auch bei diesen Motoren geringe Geräuschpegel erzielbar.

Lebensdauer: Diese ist stark von der Konstruktion abhängig. Bei richtiger Dimensionierung von Rotorlager und allfälliger Sperrvorrichtung kann eine grosse Lebensdauer erzielt werden, da der Motor als Langsamläufer gebaut wird. Ein angebautes Getriebe wird nebst durch die meistens grosse Drehmomentabnahme auch durch die Läufervibrationen stärker beansprucht.

Diverses: Da der Rotor dauermagnetisch ist, besteht die Gefahr, dass er durch starke Felder, z. B. durch hohe Überspannung an der Erregerspule, geschwächt werden kann. Diese Möglichkeit besteht insbesondere bei Rotormagneten

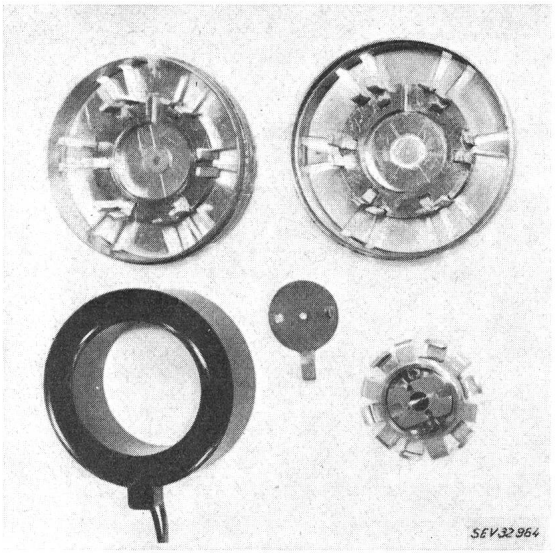

Fig. 10
Pulsationsmotor mit Statordrehfeld nach Fig. 8 in zerlegtem Zustand
Rotordrehzahl 500 U./min bei 50 Hz

aus einem üblichen Magnetwerkstoff mit einer Koerzitivkraft von 200...500 Oe, wenn ungünstige Polabmessungen vorliegen.

Bei neueren Pulsations-Motoren werden vielfach Barriumferrit-Magnete verwendet, deren Koerzitivkraft bei 2000 Oe liegt, wodurch eine Entmagnetisierung kaum mehr zu befürchten ist.

Die Anlaufverzögerung ist stark von der Bauart abhängig; als Minimum sind bei Pulsationsmotoren mit Drehfeld und sofort ansprechender Rollensperrung 20...30 ms realisierbar. Die Auslaufzeit ist kurz, ca. 20...50 ms, da durch die zwischen Rotormagnet und Stator herrschenden magnetischen Haltekräfte eine intensive Bremswirkung ausgeübt wird. Bei Überlastung fallen die Pulsationsmotoren ausser Tritt und bleiben sofort stehen. Ein Anlauf ist erst wieder möglich, wenn das Gegendrehmoment in den Bereich des Anlaufdrehmomentes fällt.

Anwendung: Dank der relativ grossen Drehmomentabgabe und des robusten Aufbaues werden Pulsationsmotoren sehr vielseitig angewendet; aus Wirtschaftlichkeitsgründen auch in Fällen wo der Synchronlauf nicht nötig wäre. Als Anwendungsbeispiele seien genannt: Antriebsmotor für Programmschalter, Impulsgeber, Reversiergeräte, Stundenzähler, Synchronuhren, Kurzzeitschalter, Ventilsteuerungen, Reklamegeräte, Papiervorschübe, Aufzug von Uhrenfedern, usw.

Zum Aufzug von Energiespeichern, (z. B. Federaufzug in Schaltuhren) eignen sich insbesondere Pulsationsmotoren mit Rücklaufsperre, da dadurch eine Entladung des Energiespeichers durch Rückwärtsantrieb des stromlosen Motors mit Sicherheit vermieden wird. Pulsationsmotoren mit geringem und im Mittel konstantem Rücklaufweg eignen sich auch für Zeit- und Mengenzähler mit Impulsantrieb, wobei die Pulsdauer des 50-Hz-Signals aus Genauigkeitsgründen nicht unter 1 s fallen sollte. Gewisse Pulsationsmotoren eignen sich auch als sog. «Schrittmotoren» wobei der Antrieb durch Gleichstromimpulse wechselnder Polarität stattfindet.

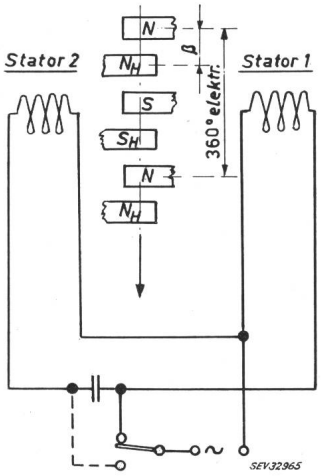

Fig. 11
Schematische Darstellung eines Stators mit 2 Erregerwicklungen
Statordrehfeld nach Fig. 9 kann erzielt werden durch geeignete Bemessung der Kapazität C.
β Polverschiebungswinkel

3. Synchronisierte Asynchronmotoren

Ein Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer kann synchronisiert werden, indem der Rotor und häufig auch die Statorpole besonders ausgebildet werden. In Fig. 12 ist ein Ausschnitt eines solchen Motores dargestellt. Im Drehfeld

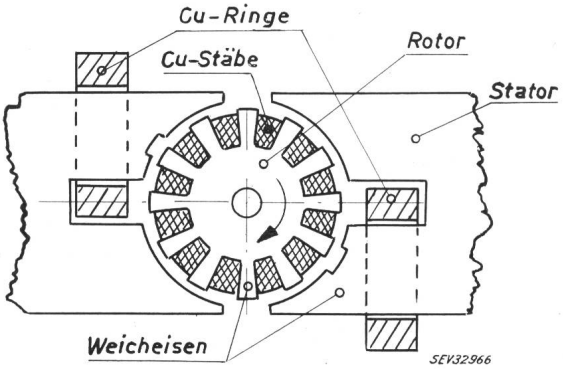

Fig. 12
Statorausschnitt und Rotor eines synchronisierten Asynchronmotors
Synchrondrehzahl des 12poligen Rotors 500 U./min bei 50 Hz

eines zweipoligen Spaltpolstators ist der Kurzschlussläufer mit ausgeprägten Weicheisenpolen sichtbar. Die kurzgeschlossenen Cu-Stäbe im Rotor bewirken den Anlauf wie bei einem Kurzschlussläufer-Asynchronmotor. Die Synchronisierung erfolgt unterhalb der asynchronen Drehzahl durch die sekundär magnetisierten Rotorpole. Bei der synchronen Drehzahl setzt sich das Drehmoment M_{tot} aus $M_{asyn} + M_{syn}$ zusammen, was einen steilen Drehmomentanstieg gemäss Fig. 13 zur Folge hat. Da die Synchron-Drehzahl unterhalb der asynchronen Drehzahl liegt, werden diese Motoren vielfach auch «Untersynchronmotoren» genannt. Mit zweipoligem Stator würde die asynchrone Drehzahl bei etwa 2800 U./min (für 50 Hz) liegen. Die synchrone Drehzahl wird durch die Anzahl Rotorpole bestimmt, es gilt für zweipolige Statore:

$$n_{Rot} = \frac{2f \cdot 60}{p} \quad \text{[U./min]}$$

wobei p die Anzahl Rotorpole bedeutet. Die Drehrichtung ist bei diesen Motoren elektromagnetisch eindeutig bestimmt,

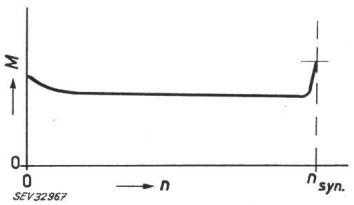

Fig. 13
Drehmomentkennlinie des Untersynchronmotors
M Rotordrehmoment;
$n_{syn.}$ synchrone Rotordrehzahl

eine Rücklaufsperre ist daher überflüssig. Bei Überlastung tritt Stillstand ein, da das höchste Drehmoment bei der Synchrondrehzahl auftritt (Fig. 13).

4. Kombinierte Synchronmotoren

Diese Bezeichnung gilt für Synchronmotoren mit Statordrehfeld, deren Rotoren nach zwei verschiedenen Prinzipien funktionieren. Zu diesem Zwecke kann ein Dauermagnetläufer mit einem Hysterese- oder Induktionsläufer kombiniert werden. Der auf möglichst grosses Anlaufdrehmoment gezüchtete Hysterese- bzw. Induktionsläufer bewirkt den richtungsbestimmenden Anlauf, während der polarisierte Dauermagnetläufer für den Synchronlauf verantwortlich ist.

Beim Einschalten kann es vorkommen, dass der Dauermagnetläufer in der falschen Richtung beschleunigt wird. Das Drehmoment des Dauermagnetläufers muss daher so gewählt werden, dass es nicht genügt den (manchmal lose gekuppelten) Hysterese- bzw. Induktionsläufer in der falschen Drehrichtung zu beschleunigen, so dass beim Polaritätswechsel des Stators der Dauermagnetläufer in der anderen, richtigen Richtung gedreht wird. Es kann z. B. der Dauermagnetrotor als Innenläufer und der Hysterese- oder Induktions-Rotor als Aussenläufer ausgebildet werden. Die dadurch erzielte grosse Drehmasse des Aussenläufers erschwert dem Dauermagnetrotor eine Beschleunigung in falscher Drehrichtung und ergibt einen ruhigen Lauf. Bei Miniatur-Synchronmotoren werden diese Kombinationen heute weniger angewendet, da dem grösseren Aufwand keine entsprechende Vorteile gegenüberstehen.

5. Synchronmotor-Getriebe

In den meisten Fällen ist die Rotordrehzahl für direkten Antrieb zu hoch. Aus diesem Grunde hat die Mehrzahl der Synchronmotoren ein Getriebe fest eingebaut, oder es kann ein Getriebe zum Anbau geliefert werden. Bis heute haben sich die Stirnrädergetriebe mit ihrem einfachen, alle Drehzahlvariationen erlaubenden Aufbau am stärksten durchgesetzt. Nebst kleinen Abmessungen, Lageunabhängigkeit und grosser Drehmomentabgabe werden geringe Lärmentwicklung, hohe Lebensdauer und Wartungsfreiheit verlangt. Um all diesen Forderungen bei dem beschränkten Getriebevolumen gerecht zu werden, müssen die durch Werkstoffe, Verarbeitungs- und Schmier-Technik gegebenen Möglichkeiten bestens ausgenützt werden. Nebst den bekannten Werkstoffen Stahl, Messing, Bronze und Hartgewebe für Zahnräder und Lager, werden neuerdings vielfach gewisse Polyamide angewendet. Diese Thermoplaste haben kleine Reibungskoeffizienten, sind bezüglich Schmierung anspruchslos, wirken geräuschdämpfend und haben bei Berücksichtigung ihrer Belastungsgrenzen eine hohe Lebensdauer. Es können heutzutage Zahnräder bis zu Modul 0,3 hinab gespritzt werden.

Die Wartungsfreiheit wird durch Schmiermittelreserven in langen Lagern, im Hohlraum von Doppelplatinen oder durch Verwendung von Schmiermittel aufnehmenden Werkstoffen, gewährleistet.

Fig. 14 zeigt ein bewährtes Getriebe, welches ohne Getriebeplatinen aufgebaut ist und Getriebeübersetzungen von 1 : 4 bis zu 1 : 180 000 zulässt. Die in das Getriebegehäuse eingepressten Lagerbolzen sind gehärtet und hochglanzpoliert. Je nach Anwendungsfall (Belastung, Lärm) können

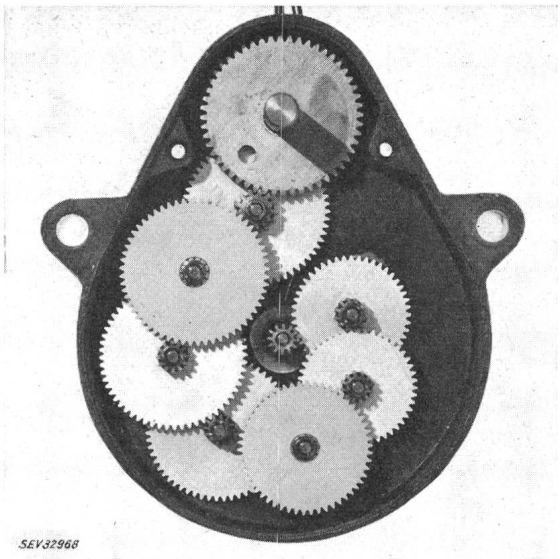

Fig. 14
Reduktionsgetriebe zu einem Miniatursynchronmotor
Getriebedeckel entfernt

Metall- oder Kunststoff-Räder eingesetzt werden. Eine Verschmutzung des Getriebes wird durch einen satt schliessenden angeschraubten Getriebedeckel verhindert.

Oft wird verlangt, dass die Ausgangsachse in Laufrichtung durchgedreht werden kann, z. B. für Papiereinstellung in Registriergeräten. Für solche Anwendungsfälle sind in das Getriebe einbaubare Freiläufe nützlich. Als Überlastungsschutz, oder wenn eine Verstellmöglichkeit in beiden Richtungen erwünscht ist, sind bei einigen Fabrikaten auch eingebaute Friktionskupplungen erhältlich. Bei diesen Kupplungen muss das Friktionsdrehmoment grösser sein als das vom Getriebe abgenommene Drehmoment, da sonst die Friktion zur Unzeit in Funktion treten würde.

Bei den üblichen Stirnrad-Getrieben ist der Wirkungsgrad 0,90 bis 0,94 pro Rädereingriff. Der Gesamtwirkungsgrad n_{tot} ist daher:

$$n_{tot} = 0{,}92^x$$

wobei der Exponent x die Anzahl der Rädereingriffe bedeutet. Der Getriebebewirkungsgrad ist bei grösseren Übersetzungen ohne Bedeutung, weil das abnehmbare Drehmoment in diesen Fällen durch die Belastungsfähigkeit des Getriebes und nicht durch das Motordrehmoment beschränkt wird.

6. Hinweise für die Anwendung

Wenn es darum geht für einen bestimmten Anwendungsfall den zweckmässigsten Synchronmotor zu wählen, wird die Aufstellung eines Pflichtenheftes nützliche Dienste erweisen, indem ungeeignete Typen frühzeitig ausgeschieden werden können. Eine solche Aufstellung könnte etwa folgende Gesichtspunkte erfassen:

6.1 Dimensionen des Synchronmotors

a) Allgemeine Abmessungen
b) Befestigungsart
c) Ausgangsachse

6.2 Drehzahl, Drehrichtung

6.3 Drehmoment

a) bei Synchronlauf
b) Im Anlauf

6.4 Nennspannung, Nennfrequenz

evtl. Spannungs- bzw. Frequenz-Bereich

6.5 Leistungsaufnahme, Erwärmung

6.6 Prüfspannung, Vorschriften

6.7 Betriebsverhältnisse

a) Umgebungstemperatur
b) Atmosphäre
c) Gebrauchslage

6.8 Lebensdauererwartung

6.9 Geräuschentwicklung

6.10 Magnetische Streuung

6.11 Diverses

wie Vorrichtung für freies Weiterdrehen, Überlastkupplung, usw.

6.12 Liefertermine, Stückzahlen, Preise

Einige Erläuterungen zu den verschiedenen Punkten sollen den Sinn für ein solches Vorgehen vertiefen.

Zu Ziff. 6.1 Dimensionen

Bei den verschiedenen Miniatur-Synchronmotoren sind die Abmessungen sowie deren Befestigungsart alles andere als einheitlich. Einzig einige amerikanische und europäische Fabrikate weisen wenigstens gleiche Dimensionen bezüglich Befestigung und Zentrierung der Ausgangsachse auf. Wenn Wert auf Austauschbarkeit, oder Berücksichtigung mehrerer Lieferanten bei grossen Serien in Betracht fallen ist die Auswahl somit beschränkt.

Zu Ziff. 6.3 Drehmoment

Angaben über Drehmomente gelten normalerweise für einen Spannungsbereich von 90...110 % der Nennspannung, bei konstanter Frequenz. Sehr oft werden Drehmomentangaben für 1 U./min angegeben, was für Vergleichszwecke wegen den unterschiedlichen Rotordrehzahlen sehr praktisch ist. Bei der Umrechnung auf 1 U./min wird kein Getriebewirkungsgrad berücksichtigt, also M pro 1 U./min = $n_{Rot} \cdot M_{Rot}$.

Beim *Laufdrehmoment* wird in Prospekten vielfach nur der maximale Wert angegeben. Da Drehmomentabnahme und Getriebelebensdauer voneinander abhängen, sollte, wenn Wert auf hohe Lebensdauer gelegt wird, nur 20...50 % des für das Getriebe höchstzulässigen Drehmomentes abgenommen werden. Der gewiegte Konstrukteur wird auch bei Synchronmotoren ohne Getriebe einen Sicherheitsfaktor von 1,3...2,0 einsetzen für Reibungszunahme des angetriebenen Objektes, Spannungsschwankungen und Unvorgesehenes.

Anlaufdrehmoment. Bei Pulsationsmotoren muss die Drehmasse des anzutreibenden Objektes berücksichtigt werden, besonders bei Verwendung ohne oder eines wenig untersetzten Getriebes. Für das zur Beschleunigung einer Drehmasse notwendige Anlaufdrehmoment M_A kann die bekannte Gleichung:

$$M_A = I\alpha$$

herangezogen werden, wobei I die Drehmasse des Objektes und α dessen Winkelbeschleunigung bedeuten. Zur Bestimmung der Winkelbeschleunigung ist zu beachten, dass ein zwischen zwei Statorpolen stehender Rotorpol innert einer Halbwelle ein wenig über die Mitte des nächsten Statorpoles beschleunigt werden muss, was wegmässig etwa 60 % der Synchrondrehzahl n_{syn} entspricht.

Man erhält damit eine mittlere Winkelbeschleunigung:

$$\alpha = \frac{\omega_t - \omega_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \frac{2\pi \cdot 0{,}6\, n_{syn}}{\Delta t \cdot 60}$$

und daraus die Faustformel für 50 Hz ($\Delta t = 0{,}01$ s)

$$M_A \approx I \cdot 2\pi \cdot n_{syn} \quad [\text{g cm}]$$

Dabei ist n_{syn} in U./min und I in g cm s² einzusetzen. Das so ermittelte Drehmoment plus das statisch benötigte Anlaufdrehmoment ergibt das effektiv vom Motor aufzubringende Drehmoment in der Anlaufphase.

Bei Hysterese- und synchronisierten Induktionsläufern ist das Anlaufdrehmoment unabhängig von der Drehmasse, die Anlaufphase wird jedoch mit zunehmender Drehmasse länger.

Zu Ziff. 6.4 Nennspannung, Nennfrequenz

Normalerweise ist eine konstante Frequenz und eine Spannungsschwankung von ± 10 % für die Drehmomentangaben zu Grunde gelegt. Wenn Konzessionen bezüglich Drehmoment und Erwärmung gemacht werden können, sind meistens grössere Spannungsbereiche zulässig.

Zu Ziff. 6.5 Leistungsaufnahme, Erwärmung

Die Leistungsaufnahme, und damit die Erwärmung, ist praktisch unabhängig von der Leistungsabgabe. Ein überlasteter bzw. blockierter Miniatur-Synchronmotor verbrennt also keinesfalls! Der grösste Teil der zugeführten Wirkleistung wird bei Miniatur-Synchronmotoren in Wärme umgesetzt, der Wirkungsgrad beträgt nämlich für solche Motoren ohne kapazitive Hilfsphase nur 0,5...10 %. Genaue Angaben über die Erwärmung sind schwierig zu machen, da die Übertemperatur nicht allein durch den Motortyp gegeben ist, sondern stark von dessen Einbauverhältnissen abhängt (Wärmeableitung, Wärmestauung). Es können Motor-Übertemperaturen (Δt) von 10...60 °C auftreten, im allgemeinen darf aber mit Δt = 10...35 °C gerechnet werden.

Zu Ziff. 6.7 Betriebsverhältnisse

Umgebungstemperaturen von — 10...+ 50 °C werden von den meisten Fabrikaten ausgehalten. Bei tieferen Temperaturen können Anlaufschwierigkeiten auftreten, während bei höheren Temperaturen mit verkürzter Lebensdauer zu rechnen ist. Bei hoher Luftfeuchtigkeit, Meerklima usw. sind Fabrikate mit in Kunstharz vergossener Spule und korrosionsgeschützten Metallteilen vorteilhaft. In staubiger Atmosphäre sollten zudem Getriebe und Motor gut gekapselt sein. Die horizontale Ausrichtung von Getriebe- und Rotor-Achsen ist normal. Bei vertikaler Gebrauchslage kann zusätzlicher Verschleiss der Ritzel-Schultern auftreten. Grössere axiale Belastung der Ausgangsachse ist normalerweise nicht vorgesehen.

Zu Ziff. 6.8 Lebensdauer

Die Lebensdauer ist selbstverständlich stark von den Betriebsverhältnissen abhängig. Nach Prüfung verschiedener Fabrikate beträgt die Lebensdauer von Synchronmotoren mit Getriebe bei Vollast im allgemeinen zwischen 1/2...3 Jahre. Bei stark reduzierter Belastung können jedoch Laufzeiten bis zu 8 und mehr Jahren erzielt werden. Meistens

ist die Lebensdauer des Motors grösser als die des angeschlossenen Getriebes.

Zu Ziff. 6.9 Geräuschentwicklung

Zwischen den verschiedenen Fabrikaten bestehen, je nach angewandtem Prinzip und Konstruktion grosse Unterschiede in der Lärmentwicklung, wobei vielfach noch eine Abhängigkeit von der Belastung und der Gebrauchslage zu beobachten ist. Durch die Einbauverhältnisse kann die Geräuschabstrahlung stark beeinflusst werden: Resonanzerscheinungen begünstigen, schallschluckende Materialien dämpfen sie. Einige Messresultate sind in Tabelle I zusammengestellt.

Geräuschpegel verschiedener Miniatur-Synchronmotoren mit Getriebe

(Mittelwerte von 2...10 Synchronmotoren)

Messdistanz: 25 mm; *Messrichtung:* quer zur Rotorachse;
Messgerät: General-Radio-Geräuschmesser Typ 1551-B, Geräuschfilter A

Tabelle I

Typ des Miniatur-Synchronmotors	Marke	Geräuschpegel	
		Motor im Leerlauf db	Motor belastet db
Hysterese-Langsamläufer	a	22	24
	b	22	25
Hysterese-Schnelläufer	c	53,5	55
	d	43,5	51
Pulsationsmotoren mit Rücklaufsperre	e	45,5	44
	f	60,5	58
Pulsationsmotoren ohne Rücklaufsperre	g	40	32
	h	47,5	25

Zu Ziff. 6.10 Magnetische Streuung

Beim Einbau in der Nähe von empfindlichen Verstärkern oder Messinstrumenten ist ein magnetisches Streufeld unerwünscht. Bei Synchronmotoren mit Dauermagnetläufer ist neben dem Wechsel-Streufeld der Erregerspule noch ein Streufeld des Dauermagneten vorhanden; letzteres ist jedoch kleiner.

Synchronmotoren, die gegen aussen vollkommen gekapselt sind, haben schwächere Streufelder, als solche mit gegen aussen unterbrochenen Eisenkreis, wie das z. B. bei den üblichen Hysterese-Schnelläufern der Fall ist.

7. Technische Daten von Synchronmotoren

Die Zusammenstellungen in den Tabellen II und III vermitteln einen gewissen Überblick über das Marktangebot von Synchron-Motoren. Mit wenigen Ausnahmen handelt es sich um Messwerte des Autors. Die Drehmomentangaben in den Tabellen sind Maximalwerte, umgerechnet auf 1 U./min, ohne Berücksichtigung des Getriebewirkungsgrades. Das abnehmbare Drehmoment ist dann von dem

Pulsations-Synchronmotoren

Allgemeine Technische Angaben

Tabelle II

Ausführungsgruppe	Leitungsaufnahme bei Nennspannung		Rotordrehzahl (bei 50 Hz)	Drehmoment pro 1 U./min		Motorabmessungen (ohne Getriebe)				Abgabeleistung bei Synchronlauf	
	W	VA	U./min	bei Anlauf gcm	bei Synchronlauf gcm	Durchmesser mm	Höhe mm	Volumen cm³	Gewicht g	Abgabe mW	Spezifische Leistung pro Volumeneinheit mW/cm³
1	3	4,3	200	2 200	3 500	47	28	48	195	36	0,75
1	2	3	250	3 500	6 800	48	20	36	110	70	1,95
1	2,15	3,1	500	6 000	14 000	50	16	32	105	144	4,5
1	1,5	2,3	200	1 500	2 000	47	22	38	120	20	0,53
2	2,0	2,6	375	11 000	20 000	55	23	55	205	205	3,7
2	1,5	2,0	750	3 300	4 500	42	16	22	90	46	2,1
2	2,0	2,85	600	6 500	10 000	47	17	30	95	102	3,4
2	3,0	3,6	600	17 000	28 000	50	23	45	180	290	6,4
3	1,1	1,2	250	3 000	4 000	50,5	12	24	90	41	1,7
3	1,05	1,3	250	6 000	7 000	50,5	12	24	92	72	3,0
3b	1,4	1,5	250	17 000	28 000	50	24	48	160	280	5,8
3	2,4	3,1	375	3 000	6 000	50	20	40	135	62	1,55

1 : ohne Statordrehfeld, mit Rücklaufsperre
2 : mit Statordrehfeld, mit Rücklaufsperre
3 : mit Statordrehfeld, ohne Rücklaufsperre
3b: wie 3, jedoch mit kapazitiver Hilfsphase; elektrisch reversierbar

Hysterese-Synchronmotoren

Allgemeine technische Angaben

Tabelle III

Leistungsaufnahme bei Nennspannung		Rotordrehzahl (bei 50 Hz)	Drehmomente pro 1 U./min		Motorabmessungen (ohne Getriebe)				Abgabeleistung bei Synchronlauf	
W	VA	U./min	bei Anlauf gcm	bei Synchronlauf gcm	Durchmesser mm	Höhe mm	Volumen cm³	Gewichte g	Abgabe mW	Spezifische Leistung pro Volumeneinheit mW/cm³
2,0	2,7	375	300	450	55	23	55	140	4,6	0,08
2,85	3,6	375	400	650	55	23	55	150	6,6	0,12
4,0	5,0	375	700	1 100	42	19	26	75	11,5	0,45
1,8	2,4	375	150	200	42	14	20	60	2,1	0,10
2,15	3,4	375	350	550	49,5	25	48		5,7	0,12
3,15	4,4	375	950	1 300	45	17	27	84	13,4	0,50
3,6	4,7	375	850	900	51	20	41		9,2	0,23
1,4	1,9	375	200	300	46	17	28	100	3,1	0,11
4	10	3 000	7 500	15 000				180	155	
3,0	7,4	3 000	2 000	2 800			≈ 80	≈200	29	0,36

angeschlossenen Getriebe abhängig. Die Angaben über die spezifische Leistung in mW/cm³ erlaubt einen Vergleich über die Ausnützung des Motorvolumens.

Literatur

[1] *Jaeschke H.E.:* Der Hysteresemotor, in E. und M. 60(1942).

[2] *Göddecke H.:* Der Hysteresemotor, in Techn. Mitt. Krupp, Forschungsber. Bd. 20, Nr. 3.

[3] *Frank S.:* Kleinstmotoren für den Leistungsbereich unter 1 W. Siemens Z. 1956, Heft 8.

[4] *Renelt W.:* Selbstanlaufende Synchronmotoren. Techn. Rdsch. Nr. 19, 1956.

[5] *Krumnow W.:* Selbstanlaufende Synchron-Kleinmotoren. Feinwerktechnik Bd. 54, H. 4 (1950).

[6] *Hotop W.* und *Brinkmann K.:* Anwendung von Bariumferrit-Magneten ETZ-A, Bd. 80, H. 17.

[7] *Wögerbauer H.:* Zur Berechnung des synchronen Impulsfeldmotors. E. und M. 55 Jahrg., H. 49.

Adresse des Autors:
H. Gerber, Champ de la vigne, Courgevaux (FR).

Vielfachmessinstrumente für die Starkstromtechnik

Von *R. J. Oehler,* Meilen

621.317.791

Einleitend werden die Anforderungen aufgezählt, die ein ideales Universalmessgerät erfüllen müsste. Da sich diese z. T. widersprechen, ist jedes Universal- oder auch nur Vielfachinstrument das Resultat eines Kompromisses. Welchen Anforderungen man dabei den Vorrang gibt, hängt vom Verwendungszweck des Instrumentes ab. Es werden daher die Anforderungen an ein Vielfachinstrument für die Starkstromtechnik näher betrachtet. Die Praxis verwendet hauptsächlich zwei verschiedene Messprinzipien, nämlich die Messung von Strom und Spannung mittels eines Drehspulmesswerks mit Gleichrichter, wobei der Phasenwinkel indirekt aus einer Stromsumme oder -Differenz bestimmt wird, und die direkte Messung von Strom, Spannung und Leistung mittels eines elektrodynamischen Messwerks. Vor- und Nachteile beider Methoden und der dazu verwendeten Messwerke werden an Hand von Ausführungsbeispielen besprochen.

L'auteur énumère tout d'abord les exigences auxquelles un appareil de mesure universel idéal devrait satisfaire. Ces exigences étant en partie contradictoires, chaque appareil universel est le résultat d'un compromis et son emploi dicte celles qui sont prioritaires. L'auteur considère les exigences posées à un appareil de mesure universel utilisable dans le domaine des courants forts. En pratique, deux principes de mesure sont appliqués, à savoir la mesure de courant et de tension à l'aide d'un équipage à cadre mobile avec redresseur, l'angle de déphasage étant déterminé indirectement par une somme ou une différence de courants, et la mesure directe du courant, de la tension et de la puissance, à l'aide d'un équipage électrodynamique. L'auteur discute des avantages et des inconvénients de ces deux méthodes, en donnant des exemples d'exécutions.

1. Das ideale Universalinstrument

Unter Universalinstrumenten versteht man elektrische Messinstrumente mit mehreren Messbereichen zur Strom-, Spannungs- und, eventuell, Leistungsmessung von Gleich- und Wechselstrom (Mehrbereichs-Instrumente für nur eine Stromart werden als Vielfachinstrumente bezeichnet). Um einen Überblick zu erhalten, ist es nützlich, sich die Anforderungen zu vergegenwärtigen, die ein ideales Universalinstrument erfüllen müsste.

a) *Vielseitigkeit.* Verwendbarkeit, nach Definition, für Gleich- und Wechselstrom, für diesen mit einem möglichst ausgedehnten Frequenzbereich. Anzeige aller wünschbaren Messgrössen: Strom, Spannung, Wirk- und Blindleistung, cos φ und Frequenz; Anzeige, ob eine gemessene Blindleistung induktiv oder kapazitiv ist. Zahlreiche, zweckmässig abgestufte Messbereiche für Ströme und Spannungen von der grösstmöglichen Empfindlichkeit bis zu den höchsten aus Sicherheitsgründen noch zulässigen Spannungen und den stärksten Strömen, die einem Instrument von beschränkten Abmessungen noch zugeleitet werden dürfen.

b) *Genauigkeit.* Möglichst hohe Genauigkeit auf sämtlichen Anzeigebereichen, unbeeinflusst von Temperatur, Frequenz, Kurvenform oder anderen Störfaktoren; grosse Skalenlänge.

c) *Kleiner Eigenverbrauch.* Möglichst kleine Stromaufnahme bei den Spannungsmessungen; möglichst kleiner Spannungsabfall bei den Strommessungen, und zwar auf allen Messbereichen.

d) *Einfache Handhabung.* Direkte Ablesung aller Messgrössen auf einer zweckmässig unterteilten und bezifferten Skala ohne die Notwendigkeit von Umrechnungen. Jedem — auch dem idealen — Vielfachinstrument haftet der prinzipielle Nachteil an, dass gleichzeitig auftretende Messgrössen — z. B. Strom, Spannung und Leistung oder cos φ — nur nacheinander gemessen werden können. Bei rasch ändernden Betriebsbedingungen führt dies zu Unzukömmlichkeiten. Umsomehr muss gefordert werden, dass die einzelnen Messungen rasch durchgeführt werden können, und dass der Übergang von einer zur anderen Messgrösse einfach ist. In Drehstromnetzen sollten Messungen in allen drei Phasen ohne umständliche Schaltungsänderungen möglich sein.

Der Begriff der einfachen Handhabung umfasst schliesslich auch ein nicht zu hohes Gewicht und nicht zu grosse Abmessungen.

e) *Robustheit.* Unempfindlichkeit gegen rauhe Behandlung, Erschütterungen beim Transport, Witterungseinflüsse. Ferner hohe Überlastbarkeit: Wer ein einzelnes Instrument mit einem einzigen Messbereich in einer Messanordnung anschliesst, vielleicht noch diesen Bereich durch Vorschaltung eines geeigneten Messwandlers oder Widerstandes dem Messzweck anpassen muss, läuft weniger Gefahr, dabei einen Fehler zu begehen, als wer durch einfache Drehung eines Wahlschalters den Strom im Messwerk um einige Zehnerpotenzen hinaufjagen kann. Dies ganz abgesehen von der schlechten Gewohnheit vieler Leute, die Bereichumschalter nach beendeter Messung *nicht* auf den höchsten Messbereich zurückzustellen.

f) *Möglichst niedriger Preis.*

Es ist kein Geheimnis, dass ein solches Idealinstrument nicht existiert. Der Grund ist der, dass sich die aufgezählten Anforderungen zum Teil gegenseitig ausschliessen, wenn man sie in letzter Konsequenz erfüllen will, selbst dann, wenn man berücksichtigt, dass in der Aufzählung die Einschränkung «möglichst» öfters wiederkehrt, und wenn man vom Preis zunächst ganz absieht. Jedes auf dem Markt befindliche Universal- oder auch nur Vielfachinstrument ist denn auch das Resultat eines Kompromisses, zu dem sich sein Hersteller im Widerstreit dieser verschiedenartigen Anforderungen entschliessen musste.