

# Drehstrom- Synchronmotoren

800 bis 40.000 kW

Vorwort  
Lieferübersicht  
Typbezeichnung  
Normen und Vorschriften  
Elektrische Ausführung  
Spannung und Frequenz  
Bemessungsleistung und Erwärmung  
Drehrichtung  
Überlastbarkeit  
Anlauf  
Modifikationen  
Umrichter gespeiste, drehzahlvariable Synchronmotoren  
Auslegungskonzeption  
Konstruktive Beschreibung  
Ständer  
Läufer  
Klemmenkästen  
Lagerung  
Kühlung  
Explosionsschutz  
Regelung

- Einbindung in E-Anlage
- Erregerschrank
- Funktion Erregersystem

Erregung

- Konstruktionsbeschreibung der Erregermaschine
- Stromrichteranschluß
- Asynchroner Leichtanlauf
- Asynchroner Schweranlauf

Universelles VEMoDUR-Isoliersystem  
Qualitätssicherung  
Dokumentation  
Versand, Verpackung und Montage

## **Vorwort**

Drehstrom-Synchronmaschinen sind bewährte, leistungsstarke Antriebe welche vorwiegend in der Chemie- und Petrochemieindustrie, der Stahl- und Walzwerkstechnik, der Zementindustrie sowie in der Verarbeitenden Industrie Einsatz finden.

Seit mehreren Jahrzehnten bewähren sich Drehstrom-Synchronmotoren unter dem Markenzeichen VEM in den unterschiedlichsten Einsatzgebieten. Durch Verwendung verschiedener Schutz- und Kühlarten sind sie als Antriebe für Kolbenkompressoren, Pumpen, Lüfter, Gebläse und Umformer einsetzbar.

Für jeden Anwendungsfall bietet Ihnen das Sachsenwerk die richtige Lösung mit marktgerechten und wettbewerbsfähigen Maschinen an. Sie zeichnen sich durch Zuverlässigkeit, Wartungsfreundlichkeit, Anpassungsfähigkeit, modulare Bauweise, hohe energetische Parameter und geringe Geräuschemissionen aus.

Umfassendes Know-how im Werk und die ständige Weiterentwicklung in Zusammenarbeit mit Instituten und Hochschulen garantieren kundenspezifische Lösungen in hoher Qualität.

Die Hauptmerkmale liegen besonders auf den Gebieten:

- hohe Wicklungslebensdauer und hohe zulässige Schalthäufigkeit durch die Anwendung des universellen VEMoDUR-Isoliersystem sowie die Auslegung der Motoren mit 20% thermischer Reserve
- splittersichere Auslegung der Klemmenkästen
- gute Aufstellungsbedingungen durch günstiges Masse-Leistungs-Verhältnis
- kostengünstige , einfache Reservehaltung durch Auslegung der Motoren nach dem Baukastensystem
- Bereitstellung der statischen Erregereinrichtung mit automatischer Synchronisation und einem Asynchronlaufschutz

Alle Drehstrom-Synchronmotoren sind kundenspezifisch ausgelegt, um die speziellen Anwendungskriterien zu erfüllen.

Der Katalog enthält allgemeine technische Erläuterungen. Spezielle Anforderungen müssen gesondert behandelt werden. Technische Daten sind gesondert bei VEM anzufordern.

Interessenten bitten wir, sich an unseren Werksvertrieb bzw. VEM-Vertriebsniederlassungen und VEM-Vertretungen zu wenden.

Bestellungen bedürfen unserer schriftlichen Bestätigung.

## **Lieferübersicht**

Drehstrom-Hochspannungs-Synchronmotoren mit konstanter Drehzahl und bürstenloser Erregung  
Motoren mit geregelter Drehzahl

## Typbezeichnung

Die Typenbezeichnungen des Sachsenwerkes setzen sich aus Buchstaben und Ziffern zusammen.

Buchstaben	Stelle 1-5
Ziffern	Stelle 6-9
Ziffern	Stelle 10-11
Buchstaben	Stelle 12-13

D	M	N	V	X	-	2	1	0	6	-	4	8	W	D	
1	2	3	4	5		6	7	8	9		10	11	12	13	14

<b>1</b>	<b>Stromart</b> D = Drehstrom
<b>2</b>	<b>Maschinenart</b> M = Synchronmotor mit Schleifringen T = Synchronmotor ohne Schleifringe
<b>3</b>	<b>Kühlungsart, Schutzart</b> A Durchzugsbelüftung IP 23/24 E Durchzugsbelüftung IP 23 R Kreislaufkühlung IP 54/55 (Luft-Luft-Wärmetauscher) K Kreislaufkühlung IP 44, IP 54 auf Anfrage (Luft-Wasser-Wärmetauscher) F Fremdbelüftung IP 44 (Rohranschluß) S Luft-Luft-Wärmetauscher mit 2 Lüfteraggregaten IP 54/55 M Luft-Wasser-Wärmetauscher mit 1 Lüfteraggregat IP 44, IP 54 auf Anfrage L Durchzugsbelüftung mit 1 Lüfteraggregat IP 23 O Oberflächenkühlung IP 55 C Rippenkühlung IP 55
<b>4 und 5</b>	<b>Ausführungsart</b> (verschlüsselt) Lagerung, abweichende Spannung und Frequenz, Ex-Schutz, Bauform, Schweranlauf u.a.m.
<b>6 und 7</b>	<b>Achshöhe</b> (verschlüsselt)
<b>8 und 9</b>	<b>Blechpaketlänge</b> (verschlüsselt)
<b>10 und 13</b>	<b>Polzahl, Drehzahl</b>
<b>11 und 14</b>	<b>Zusatzbuchstabe für Überarbeitungsstufe und Sonderbedingungen</b> Kennbuchstaben für spezielle Wicklungsausführungen

## Normen und Vorschriften

Die Synchronmotoren entsprechen den geltenden DIN-Normen und den DIN VDE-Vorschriften. Für die Grundauführungen sind das insbesondere die DIN VDE 60 034 (VDE 0530) bzw. IEC 34 mit ihren Teilen:

Teil 1	Bemessung und Betriebsverhalten DIN EN 60 034-1 (VDE 0530-1) - IEC 34-1
Teil 2	Verfahren zur Bestimmung der Verluste des Wirkungsgrades ... DIN 57 530-2 (VDE 0530-2) - IEC 34-2
Teil 4	Verfahren zur Ermittlung der Kenngrößen von Synchronmaschinen durch Messung DIN VDE 0530-4 (IEC 34-4)
Teil 5	Einteilung der Schutzarten DIN VDE 0530-5 (EN 60 035-5) - IEC 34-5
Teil 6	Einteilung der Kühlverfahren DIN EN 60 034-6 (VDE 0530-6) - IEC 34-6
Teil 7	Bezeichnung für Bauformen DIN EN 60 034-7 (VDE 0530-7) - IEC 34-7
Teil 8	Anschlußbezeichnungen und Drehsinn DIN VDE 0530-8 - (IEC 34-8)
Teil 9	Geräuschgrenzwerte DIN EN 60 034-9 (VDE 0530-9) - IEC 34-9
Teil 14	Mechanische Schwingungen ... DIN EN 60034-14 (VDE 0530-14) - IEC 34-14
Teil 15	Bemessungsstoßspannungen ... DIN EN 60 034-15 (VDE 0530-15) - IEC 34-15

- Teil 16 Erregersysteme für Synchronmaschinen; Begriffe  
DIN EN 60034-16 (VDE 0530-16) - IEC 34-16
- Teil 18 Funktionelle Bewertung von Isoliersystemen ...  
DIN EN 60 034-18-1 (VDE 0530-18-1) - IEC 34-18-1  
und mehrere Entwürfe

sowie

- DIN ISO 8821-... Mechanische Schwingungen  
Vereinbarung über die Paßfeder - Art beim Auswuchten von Wellen  
und Verbundteilen
- DIN ISO 1940-1 Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren;  
Bestimmung der zulässigen Restunwucht
- DIN ISO 7919-... Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von  
Kolbenmaschinen - Messung und Bewertung von Wellenschwingungen
- DIN ISO 10816-... Mechanische Schwingungen - Bewertung von Schwingungen von  
Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen

Bei explosionsgeschützten Maschinen kommen hierzu die einschlägigen Bestimmungen

- DIN VDE 0165 Errichten elektr. Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen
- DIN VDE 0166 Errichten elektr. Anlagen in durch explosionsgefährliche Stoffe  
gefährdeten Bereiche
- DIN EN 50014 Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche;  
Allgemeine Bestimmungen
- DIN EN 50016 Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche;  
Überdruck-Kapselung "p"
- DIN EN 50019 Elektrische Betriebsmittel für explosionsgefährdete Bereiche;  
Erhöhte Sicherheit "e"

zum Einsatz.

Auf Anfrage ist die Lieferung nach anderen Standards sowie nach speziellen Vorschriften der Industrie, z.B. ZLM (Zusätzliche Liefervereinbarungen für Hochspannungs-Elektromotoren in Kraftwerken), möglich.

## **Elektrische Ausführung für Synchronmotoren mit konstanter Drehzahl**

### **Spannung und Frequenz**

In der Grundauführung sind die Synchronmotoren für die Bemessungsspannung 6 kV, die Bemessungsfrequenz 50 Hz und den Leistungsfaktor  $\cos \varphi = (0,9 \text{ übererregt})$  dimensioniert.

### **Bemessungsleistung und Erwärmung**

Generell liegen für die Grundaufführung die unter 1.1. genannten Bemessungsdaten sowie die Betriebsart S1, Aufstellungshöhe  $\leq 1000$  m über NN und Kühlluft Eintrittstemperatur von 40°C bzw. Kühlwassertemperatur von 27 °C zugrunde.

Die eingesetzten Isoliermaterialien entsprechen der Isolierstoffklasse F und werden durch VPI-Tränkung mit Epoxidharz imprägniert.

### **Drehrichtung**

Grundsätzlich dürfen die Synchronmotoren nur in der vereinbarten Drehrichtung betrieben werden. Sind zwei Drehrichtungen erforderlich, können Speziallüfter eingesetzt werden. Lüfter für zwei Drehrichtungen bewirken höhere Reibungsverluste und somit einen schlechteren Wirkungsgrad.

### **Überlastbarkeit**

Das synchrone Kippmoment beträgt bei Schenkel- bzw. Vollpolmotoren das 1,5- bzw. 1,35fache Bemessungsdrehmoment.

In Abhängigkeit der Antriebsaufgabe können diese Werte angepaßt werden.

### **Anlauf**

Die Motoren sind für direkten Anlauf ausgelegt. Ein reduzierter Anlaufstrom ist prinzipiell realisierbar durch:

- Herabsetzen der Ständerspannung mit Spartransformator oder Drosselspule
- Frequenzanlauf

In jedem Fall sind zur Beurteilung der Anlaufverhältnisse die Parameter der Arbeitsmaschine anzugeben, wie

- Gegenmomentlinie (Leerlauf bis Bemessungsdrehmoment)
- Massenträgheitsmoment
- maximal zulässiger Spannungseinbruch im Netz während der Anlaufphase
- Anzahl der Anläufe unmittelbar hintereinander

### **Modifikationen**

- Bemessungsspannung bis 13,8 kV
- 60 Hz oder eine andere Bemessungsfrequenz
- Leistungsfaktorregelung
- Groß- und Sondermotoren bis zur Bemessungsdrehmomenten von 1.600 kNm

### **Umrichter gespeiste, drehzahlvariable Synchronmotoren**

Drehzahlregelbare Synchronmotoren finden vielfältige Anwendung in der Industrie. Besonders in Walzwerken und auf Spezialschiffen haben sich Synchronmotoren mit Bemessungsleistungen größer 1 MW gegenüber konventioneller Gleichstromantriebe durchgesetzt.

Die Vorteile der Synchronmaschinen sind begründet durch:

- Realisierung großer Leistungen und Drehzahlen mit dem Motor
- robuste, den Antriebsaufgaben angepaßte Konstruktion
- wartungsarmer Betrieb
- hoher Wirkungsgrad
- relativ kleines Massenträgheitsmoment und somit besseres Regelverhalten

### **Auslegungskonzeption**

Im Unterschied zur konventionellen Synchronmaschine finden bei der Auslegung umrichter gespeister Maschinen folgende Gesichtspunkte Berücksichtigung:

- Dimensionierung der Statorwicklungsisolierung für Betrieb am Direkt- oder Zwischenkreisumrichter und die jeweilige Bemessungsspannung
- dynamische und quasistationäre Überlastdrehmomente bei Walzwerksmotoren
- Anpassung der elektromagnetischen Parameter an die speziellen Anforderungen drehzahl geregelter Antriebe

In Abhängigkeit der Systemkomponenten und antriebsspezifischen Anforderungen können die Motoren in Voll- oder Schenkelpol ausführung bzw. bürstenlos oder bürstenbehaftet realisiert werden.

### **Konstruktive Beschreibung**

#### **Ständer**

Das Ständergehäuse ist eine Schweißkonstruktion aus Stirn- und Zwischenwänden mit Stützrippen, Balken und Mantelblechen. Mit Fußplatten steht es auf dem Fundament.

Bei Maschinen mit einteiligem Ständer bis zu einem Durchmesser von 4000 mm ist das Blechpaket aus isolierten Dynamoblechenden oder überlappt geschichteten Dynamoblechsegmenten zusammengesetzt sowie über Endplatten mit Preßbolzen und aufgeschweißten Leisten axial verspannt. Das Blechpaket wird mit Ganzformspulen bewickelt, komplett nach dem VPI155-Verfahren imprägniert und in das Ständergehäuse eingeschrumpft.

Bei größeren Maschinen sind die isolierten Dynamoblechsegmente überlappt in das Gehäuse auf Führungsleisten geschichtet, verspannt und anschließend mit imprägnierten Spulen oder Roebelstäben bewickelt.

Die Drehstromständerwicklung liegt in den offenen Nuten des Blechpaketes. Je nach Bemessungsleistung ist sie als Zweischicht-Ganzformspulen- oder Zweischicht-Roebelstabwicklung ausgeführt.

Bei der Ganzformspulenwicklung besteht das Leitermaterial aus Kupfer-Flachdraht, isoliert mit Folienglimmer.

Für die im Nutteil verdrehten Leiter der Roebelstabwicklung sind Lack-Glaseide-isolierte Flachkupferdrähte eingesetzt und als Leiterbündel mit Glimmer-Prepreg verfestigt.

Die Hauptisolierung der Spulen bzw. Stäbe besteht aus bindemittelarmen Glimmer-Glasgewebe-Bändern. Zur Vermeidung von Koronaentladungen ist im Nutteil ein niederohmiger und am Nutausgang ein hochohmiger Glimmschutzbelag aufgebracht.

Die komplett isolierten Leiterpakete sind in den Nuten mittels Nutverschlüssen festgesetzt.

Die Wickelköpfe sind gegen die bei Schalthandlungen auftretenden mechanischen Beanspruchungen durch Bandagen, Distanzstücke und Halteringe sicher abgestützt.

Die Schaltverbindungen werden bei der Ganzformspulenwicklung hartgelötet, bei Roebelstabwicklungen erfolgen die Stabverbindungen durch WIG-Schutzgasschweißung.

## Läufer

Die Läufer können als Vollpol- oder Schenkelpolläufer ausgeführt werden.

### Vollpolläufer

Auf eine geschmiedete Welle wird das Blechpaket, welches aus isolierten Dynamoblechenden gesetzt wurde, aufgeschraubt. Das Blechpaket wird axial mit isolierten Preßbolzen gespannt.

Bei große Synchronmotoren kommen Stegwellen zum Einsatz, auf welche Läuferblechsegmente gesetzt und verkeilt werden.

In den Nuten des Blechpaketes ist die Erregerwicklung eingelegt und mit Nutverschlüssen festgesetzt. Für die Erregerwicklung kommen Formspulen aus lackisolierten Drähten mit Glasseide zum Einsatz. Der Läufer wird komplett nach dem VPI155-Verfahren getränkt.

Am Außenumfang des Bleches befinden sich Bohrungen in den Zähnen, welche die Dämpferstäbe aufnehmen. Die Dämpferstäbe sind an den Enden mit Kuzschlußscheiben hartverlötet.

### Schenkelpolläufer

Ein gegossener oder geschweißter Läuferkörper wird auf eine geschmiedete Welle aufgezogen oder angeflanscht. Auf dem Läuferkörper befinden sich die Erregerpole. Die Pole werden mit definiertem Drehmoment angeschraubt und bei großen Fliehkräften in Hammerkopfnuten verkeilt gehalten.

Die Pole sind aus einzelnen Stahlblechen geschichtet, mit Endplatten gepreßt sowie mit Gewindebolzen verschraubt.

Die Pole sind zur besseren Wärmeleitung als Einheit mit den Polspulen, der Polkernisolierung und den Spulenrahmen mit Epoxidharz vergossen. Die Polspulen werden aus hochkantgewickeltem Flachkupfer hergestellt, dessen Windungen mit Nomex-Meta-Aramid-Papier isoliert sind und unter Druck und Wärme ausgehärtet werden.

Im Poldach befinden sich Bohrungen zur Aufnahme der Dämpferstäbe. An den Enden werden die Stäbe mit Dämpfersegmenten hartverlötet, welche nach Montage der Pole mit Laschen zu Dämpferingen verbunden werden.

### Läuferausführung

Die Art der Läufer- bzw. Polausführung ist von der Maschinengröße, Polzahl und Antriebsaufgaben abhängig. Die üblichen Varianten sind:

Synchronmotor

Schenkelpolausführung

Vollpolausführung  
(lamelliert)

Massivpole

lamellierte Pole

### Massivpolausführung

Die Massivpolausführung findet vorwiegend bei großen Motoren mit hoher Drehzahl Anwendung. Diese Ausführung ist mechanisch robust und ermöglicht aufgrund der großen Wärmekapazität des Poldaches den asynchronen Anlauf mit relativ großen Fremdmassenträgheitsmomenten.

### Lamellierte Schenkelpole

Lamellierte Schenkelpole mit Dämpferwicklung werden hauptsächlich für höherpolige Motoren mittlerer und großer Leistung eingesetzt.

### Vollpolausführung

Mit Vollpolläufern lassen sich Motoren mit hohen Drehzahlen und relativ kleinen Massenträgheitsmoment realisieren.

### Klemmenkästen

Alle Klemmenkästen werden in Grundausführung in Schutzart IP54 ausgeführt.

## **Kabelanschlußkasten**

Der Kabelanschlußkasten befindet sich an der Seitenwand des Ständergehäuses.

Der Kasten wird als zweiteilige Schweißkonstruktion ausgeführt. Das Unterteil ist an ein Platte des Gehäuses geschraubt. Im Unterteil befindet sich zur Druckentlastung bei Kurzschluß eine Sollbruchstelle. Bohrungen im Unterteil nehmen kurzschlußfeste Gießharzisolatoren auf, in welchen sich verdrehsicher Durchführungsbolzen befinden.

Diese sind mit den Kabelausleitungen der Ständerwicklung verlötet. Der netzseitige Anschluß erfolgt durch Kabelschuhe, welche an die Durchführungsbolzen angeschraubt werden.

Die Kabelausleitung erfolgt nach unten, bei Einleiterkabeln mit Kabelverschraubungen, bei Dreileiterkabeln mit einer speziellen Baugruppe, welche ausschneidbare Dichtringe und einen Druckring zur Zugentlastung beinhaltet. Der Anschlußkasten ist um 90° und 180° drehbar.

Der Kabelanschlußkasten ist bis  $I_{k''}=50$  kA kurzschlußfest.

## **Sternpunktkasten**

Der Sternpunkt kann in einem zweiten Kasten gegenüber dem Kabelanschlußkasten angebracht werden. Auf Kundenwunsch können Stromwandler (nicht für EEx\_) eingebaut werden.

## **Hilfsklemmenkästen**

Weitere Klemmenkästen zum Anschluß von Erregung, Überwachungseinrichtungen, Stillstandsheizung usw. sind am Ständer angebracht. Diese bestehen aus korrosionsarmer Aluminiumgußlegierung. Die Kabelausleitung erfolgt über Kabelverschraubungen.

## **Lagerung**

Die Art der eingesetzten Lagerung richtet sich nach den Erfordernissen, welche sich aus den mechanischen Belastungen und der anzutreibenden Arbeitsmaschine ergeben. Grundsätzlich wird dabei auf optimale Betriebssicherheit und maximale Lebensdauer geachtet.

## **Wälzlagerung**

Die Motoren werden mit Wälzlagern nach DIN ausgestattet.

Auf der D-Seite wird ein Rillenkugellager als Führungslager eingesetzt. Es nimmt die radialen und geringe axiale Lasten auf. Auf der N-Seite wird ein Zylinderrollenlager als Loslager eingesetzt.

Bei erhöhten mechanischen Belastungen und hohen Drehzahlen wird das D-seitige Rillenkugellager mit einem Zylinderrollenlager verstärkt (Doppellagerung). Bei niedrigen Drehzahlen wird auf der N-Seite statt des Zylinderrollenlagers ein Rillenkugellager mit axialer Aufstellung als Loslager eingesetzt. Soll der Synchronmotor zusätzliche Axiallasten aufnehmen, wird eine spezielle Lagerung mit vorgespannten Schrägkugellagern eingesetzt.

Alle Wälzlager sind mit lithiumverseiftem Fett, der Konsistenzklasse 3 geschmiert.

Die Lagerbaugruppen sind mit einer automatischen Fettmengenregelung ausgerüstet. Diese gewährleistet den optimalen Schmierzustand nach der Nachschmierung.

Entsprechend den Angaben in der Motordokumentation müssen die Lager rechtzeitig mit der angegebenen Fettmenge und -sorte nachgeschmiert werden, damit die nominelle Lebensdauer der Lager erreicht werden kann. Dies erfolgt durch Flachschiernippe M10x1 nach DIN 3404.

Die Lagerungen bei kleineren Synchronmotoren sind mit einem Aufnahmeaum für Altfett ausgerüstet, der bei Einhaltung der Nachschmierfristen für die rechnerische Lebensdauer ausreicht. Lagerungen für größere Motoren besitzen von außen entleerbare Sammelbehälter für Altfett.

Die Abdichtung der Lagerung zum Motorinneren und nach außen erfolgt durch Spaltdichtungen. Diese sind wartungsfrei und schützen vor dem Eindringen von Staub und Wasser. Die N-seitigen Lagerköpfe sind zum Motorgehäuse isoliert, um Lagerströme zu vermeiden.

Die Überwachung der Wälzlager erfolgt durch Temperaturmessung mittels Pt100. Eine Ausführung zur Überwachung von Schwingungen ist möglich.

## **Gleitlagerung**

Die Gleitlager können je nach Bauform der Maschine als Flanschlager, zentriert am Lagerschild, oder als Stehlager, ausgeführt werden.

Zum Einsatz kommen Lager mit geteiltem Gehäuse, geteilter Lagerschale sowie geteilten Schmier- und Dichtringen. Damit sind Lagerrevisionen sowie Ersatz von Dichtringen ohne Demontage benachbarter Motorbaugruppen oder Kupplungen möglich.

Der Schutzgrad der Lager in ihrer Grundausführung ist IP44. Höhere Schutzarten (IP54 oder IP55) können durch zusätzliche Dichtungen erreicht werden.

Die Lagerschale des N-seitigen Gleitlagers ist isoliert ausgeführt, um Lagerströme zu vermeiden.

Die Gleitlager werden normal als Loslager ausgeführt, d. h., der Motorläufer wird über eine axialspielbegrenzte Kupplung vom Traglager der Arbeitsmaschine geführt. Abweichend davon kann ein Festlager eingesetzt werden, wenn keine Axialkräfte von der Arbeitsmaschine oder von der Kupplung auf die Motorwelle eingeleitet werden. Spezielle Lagerschalen werden eingesetzt, wenn die Aufnahme von Axialkräften erforderlich ist.

Die Kühlung der Gleitlager erfolgt vorzugsweise durch Wärmeabgabe über die Lagergehäuseoberfläche. Sollten die Betriebsbedingungen dies nicht zulassen, können die Lager durch Spülöl oder mittels eingebauter Wasserkühler gekühlt werden. Bei niedrigen Drehzahlen oder großen Läufermassen wird eine hydrostatische Läuferanhebung eingesetzt.

Die Schmierung erfolgt mit Schmierölen, deren Viskositätsklasse durch die Betriebsdaten des Gleitlagers bestimmt werden. Sollen davon abweichende Öle eingesetzt werden, ist eine Rücksprache mit VEM erforderlich. Für die Lagerkühlung mittels Spülöl können entsprechende Ölversorgungsaggregate von VEM angeboten werden.

Die Überwachung erfolgt zweckmäßigerweise durch Temperaturmessung mittels Pt100. Eine Ausführung mit Schwingungsaufnehmern ist möglich. Für den Anschluß an Spülölanlagen können Drosselschrauben zur Einstellung der Öldurchflußmenge und Durchflußmengenanzeiger bzw. -wächter geliefert werden.

### **Kühlung**

Die Kühlung im inneren der Maschine erfolgt mit Luft. Diese wird über an der Welle befestigte Lüfterräder (Eigenkühlung) oder durch zusätzlich angebaute Lüfter mit Motor (Fremdlüfter) axial oder radial durch den Läufer und Ständer gefördert. Dabei nimmt sie die Verlustwärme aus dem Blechpaket und den Wicklungen auf. Die Wahl des Kühlverfahrens erfolgt entsprechend dem Projekt der Gesamtanlage und wird wesentlich durch die notwendige Schutzart und die zur Verfügung stehenden Medien bestimmt. Die gängigsten Kühlverfahren sind:

#### **freier Kühlkreis (bis Schutzart IP23)**

Die Kühlluft wird der Umgebung entnommen, kühlt die Maschine und wird wieder an die Umgebung abgegeben. Zur Einhaltung des Schutzgrades werden geeignete Jalousien verwendet.

#### **geschlossener Kühlkreis mit angebautem Wärmetauscher (ab Schutzart IP44)**

Die Kühlluft im inneren des Motors wird in einem geschlossenen Kreislauf (Primärkreis) bewegt und gibt seine Wärme über einen Wärmetauscher an ein Kühlmedium (Sekundärkreis) ab. Zum Einsatz kommen Luft-Wasser- oder Luft-Luft-Wärmetauscher.

Bei Luft-Wasser-Wärmetauschern richtet sich das eingesetzte Rohrmaterial nach der Qualität des Kühlwassers. Doppelrohrausführungen und Ausführungen mit Leckwassermeldern und Strömungswächtern sind möglich. Bei Luft-Luft-Wärmetauschern wird die Außenluft durch zusätzliche Fremdlüfter durch den Wärmetauscher bewegt.

### **Explosionsschutz**

Für die Aufstellung von Synchronmaschinen in explosionsgefährdeten Bereichen, in denen explosive Atmosphäre in gefährdender Menge auftreten kann, gelten besondere Bestimmungen und Verordnungen. In Abhängigkeit der Einsatzbedingungen können die Maschinen in verschiedenen Zündschutzarten gefertigt werden.

#### **Motoren mit erhöhter Sicherheit "e" (DIN EN 50 014 und DIN EN 50 019)**

Bei dieser Zündschutzart wird die Sicherheit dadurch erreicht, daß die Wicklungen besondere konstruktive Bedingungen erfüllen und alle Zusatzbauteile den erhöhten Forderungen gerecht werden.

#### **Motoren mit Überdruckkapselung "p" (DIN EN 50 014 und DIN EN 50 016)**

Bei Überdruckkapselung wird mit einem speziellen Spülluft- und Überwachungssystem gewährleistet, daß im Inneren der Maschine immer ein Überdruck herrscht. Dadurch kann es nicht zum Eindringen von explosiver Atmosphäre in die Maschine kommen.

## **Motoren mit Zündschutzart "n" (IEC 79-15 und pr EN 50 021)**

Diese Non-sparking-Ausführung ist eine einfachere Variante als EExe. Ihr Vorteil liegt darin, daß bei feststehender Leistung gegebenenfalls eine kleinere und damit preisgünstigere Baugröße geliefert werden kann. Dabei ist die Konstruktion so ausgelegt, daß es im Normalbetrieb zu keiner Funkenbildung und Überwärmung kommt.

Die Prüfung und Bewertung der explosionsgeschützten Hochspannungsmaschinen mit Bemessungsspannungen  $\geq 1$  kV wird gegenwärtig international stark diskutiert. Mit dem Ziel das Ausfallrisiko solcher Maschinen noch weiter zu senken, wurde im CENELEC/TC 31 der Normenentwurf ENV 50 269 "Assessment and representation testing of high voltage machines" (Febr. 1996) erarbeitet. Darin sind abhängig von der konstruktiven Ausführung und den Betriebsbedingungen der Hochspannungsmaschinen und den sich daraus ergebenden Risikofaktoren umfangreiche Systemprüfungen in den relevanten zündfähigen Gasgemischen vorgeschrieben.

Über die Notwendigkeit dieser Systemprüfungen entscheidet VEM nach Abstimmung der Einsatzbedingungen gemeinsam mit dem Besteller, dabei können Alternativlösungen wie z.B. die EExp - Ausführung anstelle der EExe -Ausführung angeboten werden.

## **Regelung**

### **Einbindung in E-Anlage**

Bei direktem Netzbetrieb des Synchronmotors stellt die Erregereinheit das regelungstechnische Bindeglied zwischen der E-Anlage und dem Motor dar. Dies gilt für bürstenlose und für statische Erregersysteme, die eine analoge oder digitale Erregerregelung besitzen. Je nach Motorgröße und nach E-Anlagen-Konfiguration werden von der Erregereinheit mehr oder weniger Steuerfunktionen realisiert bzw. bewertet.

Durch die Regelung und die Steuerung der Erregung werden wesentliche Eigenschaften der Synchronmaschine bestimmt, so daß der Funktionsumfang der Erregereinheit sehr unterschiedlich sein kann je nach den konkreten Anforderung aus dem Anlagenprojekt.

Mittels Erregersteuerfunktionen kann u.a. das Anlaufverhalten, das Synchronisierverhalten, die Stabilität bei nichtstationären Vorgängen und das Wiedersynchronisierverhalten nach relativer Überlast maßgeblich gestaltet werden.

Durch die Erregersteuerung sind u.a. folgende Funktionen programmtechnisch realisierbar:

- Blockierschutz
- Anlaufüberwachung
- (gezielte) Synchronisierung
- Kurbelwinkleinsteuerung
- Schutzauslösung
- Asynchronlaufschutz mit Wiedersynchronisierung
- Sollwertverstellung
- Reglerstatussteuerung (Auto/Hand...)
- Anzeige Warnung, Fehler
- Vor-Ort-Steuerung per Operator Panel
- Überwachung rotierende Dioden
- Reglerüberwachung
- Rotorerdschlußüberwachung

Der Signalaustausch zur Anlagensteuerung geschieht digital durch gegenseitiges Bereitstellen von potentialfreien Relaiskontakten oder Relaispulen. Der Austausch analoger Signale erfolgt über potentialfreie Koppelbausteine mit normiertem Strom- oder Spannungsausgang. Andere Signalaustauschverfahren, wie z.B. serielle Buskopplung, sind bedarfsgerecht modifizierbar.

## **Erregerschrank**

Die Erregereinheit ist meist als ein Schaltschrank, bei statischen Einrichtungen als mehrere Schaltschränke, ausgeführt. Bei einfachen Geräten für kleine Leistungen können auch andere Ausführungen, wie Motoranbau, Wandmontage und Montageplatte, geliefert werden. Die Schrankeigenschaften werden dem Einsatzfall entsprechend angepaßt.

Der Schaltschrank aus Stahlblech beinhaltet die gesamte Erregerregelung und -steuerung. Bei Bedarf ermöglicht ein Sichtfenster in der Fronttür den Blick auf notwendige Meßinstrumente und Anzeigen. Auf Wunsch wird in den ansonsten unten offenen Schrank eine Bodenplatte mit PG-Verschraubungen installiert.

Auf der im hinteren Teil untergebrachten Montageplatte befinden sich Schaltgeräte und ggf. das Leistungsteil.

Regler und Steuerung sind in einem Schwenkrahmen montiert. Bei kleineren Geräten entfällt der Schwenkrahmen. Dabei sind Regler und Steuerung ebenfalls auf der Montageplatte untergebracht.

### **Funktion Erregersystem**

Die Regelung eines Synchronmotors über seine Erregung geschieht prinzipiell unter den Gesichtspunkten der Antriebsstabilität und der E-Anlagen- bzw. Netzspezifik. Beide Gesichtspunkte sind zwar nicht gegensätzlich, jedoch sollte eine ausgewogene Projektierung der Gesamtanlage zu Grunde liegen.

Meist kommt eine Blindleistungsregelung zur Anwendung, die bei bürstenlosen Systemen mit einer unterlagerten (Hilfs-) Erregerstromregelung arbeitet, wodurch sich günstige Ausregelzeiten ergeben. Es kann auch die  $\cos\phi$ -Regelung als abgewandelte Form der Blindleistungsregelung zum Einsatz kommen.

Als Istwerte für den Regler können auch Meßgrößen, die nur mittelbar mit dem Synchronmotor in Verbindung stehen, verwendet werden, wodurch das Verhalten der gesamten Netzinsel geregelt wird. Ähnliche Effekte ergeben sich auch durch variable Sollwertvorgaben, die in einer übergeordneten Regelung generiert werden.

Eine Reihe von Begrenzungsreglern verhindert vorrangig den Stabilitätsverlust des Motors.

Die Polradwinkelbegrenzung basiert auf der Winkelerfassung durch induktive Geber im Motor.

Zu Revisions- und Handbetriebszwecken sowie zum einfachen Betrieb an einer übergeordneten Regelung dient die Erregerstromregelung. Dabei wird der interne Sollwert durch die Signale HOCH/TIEF verstellt.

Als Reglereinheit kommen je nach Projektvorgaben mehr oder weniger komplexe, analog oder digital arbeitende Geräte zum Einsatz.

### **Grundfunktionen**

- Blindleistungsregelung
- digitale Sollwerte
- Handbetrieb mittels
- Erregerstromregelung
- Erregerstrombegrenzung
- Unter- und Über-Erregungsbegrenzung

### **mögliche Erweiterungen**

- Fernsollwertverarbeitung
- Fremdistwertverarbeitung
- Polradwinkelbegrenzung
- Statorstrombegrenzung
- Blindleistungsbegrenzung

Weitere gewünschte Funktionen bedürfen einer Rücksprache mit VEM.

### **Erregung**

Die Synchronmotoren werden standardmäßig in bürstenloser Ausführung geliefert. Alternativ kann die Erregung auch über eine Schleifringanordnung angeboten werden.

Die bürstenlose Ausführung ist wartungsfrei und auch dann verwendbar, wenn der Motor in explosionsgefährdeter Umgebung betrieben wird.

Die rotierende bürstenlose Erregereinheit (Erregermaschine, Gleichrichter und evtl. Anlaufwiderstand) ist innerhalb der Lager des Motors angeordnet.

Die Erregermaschine ist je nach erforderlicher Betriebsweise des Motors als  
- 3-phasige Erregermaschine mit ständerseitiger Gleichstromspeisung bzw.  
- 3-phasige Erregermaschine mit ständerseitiger Drehstromspeisung  
ausgeführt.

Der Läufer der Erregermaschine versorgt die Erregerwicklung des Motors über rotierende Gleichrichtermodule in Drehstrombrückenschaltung mit Erregerleistung.

## **Konstruktionsbeschreibung der Erregermaschine**

Die Erregermaschine ist ein 3phasiger Drehstrom-Außenpolgenerator, dessen Läufer samt Diodenbrücke mit Schutzbeschaltung auf einer Nabe montiert ist. Diese Einheit kann ohne großen Montageaufwand des Erregerständers von der Welle gezogen werden.

Der Ständer der Erregermaschine wird vom n-seitigen Lagerschild oder bei großen Maschinen von einem Tragstern gehalten. Der Ständer besteht aus einem Blechpaket aus isolierten Dynamoblechenden mit ausgeprägten Polen. Diese Pole tragen eine Gleichstromwicklung. Soll die Synchronmaschine frequenzgesteuert anlaufen, so wird der Erregerständer mit einer Drehstromwicklung ausgeführt. Auf dem Läufer befindet sich, über eine Buchse aufgezogen, der Läufer der Erregermaschine. Der Läufer besitzt ein Blechpaket aus isolierten Dynamoblechenden mit einer 3-strängigen Drehstromwicklung. Mit dem Läufer rotiert eine 6-pulsige Brückenschaltung, welche die im Erregerläufer induzierte Spannung gleichrichtet. Der Ausgang der Brücke wird mit Ableitungen aus Rundkupfer zur Erregerwicklung des Läufers geführt.

## **Stromrichteranschluß**

Die Speisung des Synchronmotorstators erfolgt aus dem Netz über einen Stromrichter. Dieser besitzt eine komplexe Steuer- und Regeleinheit, die entsprechend des aktuellen Motorarbeitspunkts die erforderliche Ausgangsspannung des Stromrichters steuert. Daneben wird vom Stromrichterkomplex auch der optimale Erregerstrom meist über einen Drehstromsteller bereitgestellt. Die Erregermaschine wirkt bei Anlaufbeginn als Transformator. Mit steigender Drehzahl wird diese Arbeitsweise vom Generatorbetrieb überlagert. Zur Speisung der Motorerregerwicklung befindet sich am Rotorwicklungsausgang der Erregermaschine eine Drehstromdiodenbrücke, die zum Abbau transientscher Spannungsspitzen mit einem Zinkoxidvaristor gleichstromseitig abgeschlossen ist. Bei gegebener Anwendung wird der Stromrichter nur zum Anlauf verwendet. Dabei wird der Stromrichter nach erreichtem Netzsynchrunlauf überbrückt, so daß der Motor direkt am Netz betrieben wird. Damit wird der Stromrichter nur mit dem Anlauf belastet und kann dementsprechend dimensioniert werden. Die Erregerregelung wird auch bei Netzsynchrunbetrieb vom Stromrichterkomplex bereitgestellt.

## **Asynchroner Leichtanlauf**

Bei Betrieb ohne Stromrichterspeisung und bei relativ geringem Widerstandsmoment kann der bürstenlose Synchronmotor asynchron anlaufen, wenn im Rotorkreis Vorsorge für den Anlaufwechselstrom in der Erregerwicklung getroffen ist.

Die positive Halbwelle des Anlaufwechselstroms fließt durch die ohnehin vorhandene Gleichrichterdiodebrücke. Die negative Halbwelle fließt über spannungsgesteuerte Thyristoren antiparallel zu einem Diodenzweig der Gleichrichterbrücke.

Das spannungsgesteuerte Zünden der Thyristoren wird durch den Stromzwangcharakter des Anlaufwechselstroms erwirkt.

Das Löschen der Thyristoren wird betriebsmäßig durch deren Klemmung an die Wechselspannung der Erregermaschine mittels Spannungsnulldurchgang sicher erreicht.

## **Asynchroner Schweranlauf**

Zum Anlauf des Synchronmotors ohne Stromrichterspeisung gegen ein relativ großes Widerstandsmoment muß für den Anlauf die Erregerwicklung mit einem optimierten Widerstand abgeschlossen werden. Damit werden das asynchrone Moment des Motors erhöht, Sattelmomente verhindert und Schwingneigungen bedeutend verringert. Wenn der Anlaufwiderstand nach erfolgter Synchronisation weiterhin zugeschaltet bliebe, entstünden zusätzliche Verluste. Durch geeignete Schaltungsmaßnahmen kann die ständige Zuschaltung des Anlaufwiderstands auch bei bürstenloser Erregung verhindert werden. In Verbindung damit wird auch eine gezielte Synchronisation realisiert. Diese erzeugt ein sehr gutes synchronisierendes Moment und ermöglicht auch die sogenannte Kurbelwinkeleinsteuerung.

Der Anlaufwechselstrom fließt je nach Polarität durch eine Diode oder einen spannungsgesteuerten Thyristor über den Anlaufwiderstand im Rotorstromkreis, wobei der Längsthyristor ungezündet bleibt.

Bei Erreichen des minimalen Schlupfes wird über die Erfassung des Polradwinkels gezielt die Erregerspannung durch Zünden des Längsthyristors auf die Erregerwicklung geschaltet. Bei Überlast bringt der genügend hohe Schlupfanteil des Erregerstroms den Längsthyristor zum Verlöschen, so daß bei Wiedererreichen des minimalen Schlupfes der Motor erneut synchronisiert werden kann.

## **Statische Erregung**

Alternativ zur bürstenlosen Erregung kann auch eine statische Erregereinrichtung zum Einsatz kommen. Die Vorteile sind unmittelbarer Zugriff auf den Erregerstromkreis, Wegfall der Hilfserregerzeitkonstante und eine vergleichsweise hohe Regeldynamik.

Nachteilig sind die Schleifringe zur Erregerstromübertragung, der höhere Bedarf an Hilfsleistung und der Aufwand für das Erregerstromstellglied, was durch den Wegfall der Erregermaschine ausgeglichen wird. Bezüglich der Steuer- und Regelfunktionen gibt es zwischen dem bürstenlosen und statischen Erregersystem keine Unterschiede. Welches der beiden Systeme zum Einsatz gelangt, hängt in erster Linie von vielfältigen Erfordernissen am Einsatzort ab, wobei das bürstenlose Erregersystem meist den Vorrang bekommt.

### **Schleifringanordnung**

Die Bürstenbrücke besteht aus einem Bürstenträger, an dem isolierte Bürstenbolzen mit Bürstenhaltern befestigt sind. Der Bürstenträger wird vom n-seitigen Lagerschild oder bei großen Maschinen von einem Tragstern gehalten.

Auf die Welle wird ein Schleifringkörper aufgeschraubt, welcher die Schleifringe aus rostfreiem Stahl aufnimmt. An den Schleifringen befinden sich die Ableitungen aus Rundkupfer zu den Erregerspulen des Läufers.

### **Universelles VEMoDUR-Isoliersystem**

Die Betriebszuverlässigkeit elektrischer Maschinen wird entscheidend von der Qualität ihrer Wicklungsisolierungen bestimmt. Kennzeichnend für die Isoliertechnik im Sachsenwerk sind und waren zu jeder Zeit technische Lösungen, die in ihren Qualitätsparametern dem fortgeschrittenen internationalen Stand entsprechen und damit den Betreibern Erzeugnisse mit hoher Zuverlässigkeit und langer Lebensdauer sichern.

Für Isolierungen von Hochspannungsmaschinen in allen Leistungsbereichen wird die VPI-Technik (Vacuum-Pressure-Impregnation) angewandt. Das zugehörige Isoliersystem VEMoDUR-VPI-155 wurde im Sachsenwerk entwickelt und als Warenzeichen eingetragen. Die Bezeichnung "VEM" steht für "Vereinigter Elektromaschinenbau" und "DUR" für das duroplastische Verhalten der eingesetzten Isolierungen mit synthetischen Bindemitteln.

In diesem System sind für die Ständerwicklungen nachfolgend aufgeführte Hauptkomponenten enthalten:

Windungsisolierung	⇒	Folienglimmerbänder
Hauptisolierung (Nut- und Wickelkopf)	⇒	Glimmer-Glasseidenbänder (beschleunigerhaltig, bindemittelarm)
Tränkmittel	⇒	Epoxidharz

Die Komponenten sind optimal aufeinander abgestimmt. Durch langjährige Betriebserfahrung und funktionelle Bewertung nach IEC 34-18-31 wurde die Wärmeklasse F bestätigt.

Um die Qualität des Isoliersystems zu gewährleisten, werden alle Komponenten gemäß der DIN ISO 9001 einer Wareneingangskontrolle unterzogen.

Während des Tränkprozesses unterliegt die Isolierung einem ständigem Kontrollsystem, wobei Kennwerte wie:

- Viskosität des Harzes
  - Tränk- und Härtetemperatur
  - Druckhaltezeiten
  - Unter- und Überdruck
  - Durchimprägnierung
- überprüft und dokumentiert werden.

Die Aushärtung der Isolierung erfolgt rotierend.

Die Vakuum-Druck-Imprägnierung garantiert eine hohe mechanische Festigkeit (Wickelkopfsteifigkeit) und hervorragende elektrische Festigkeit. Dies trifft insbesondere für die Weitüberschlagsspannungen zu. Es werden Bemessungsstoßspannungen nach DIN EN 60034-15 (IEC 34-15) für alle Maschinen mit großer Sicherheit garantiert (siehe Tabellenauszug).

Das Isoliersystem zeichnet sich durch eine hohe Klimabeständigkeit aus, d. h. die Wicklung ist unempfindlich gegen feuchte und aggressive Atmosphäre.



## Zusatzprüfungen /Typprüfungen)

Diese werden nur bei jeweils einem Typenvertreter nach den technischen Möglichkeiten durchgeführt. Auf Wunsch des Bestellers können Zusatzprüfungen vereinbart werden. Diese werden gegen Mehrpreis ausgeführt.

- Verlustfaktormessung an der eingebauten Ständerwicklung
- Schleuderprüfung in der Auswuchtanlage
- Geräuschemessung im Leerlauf
- Überprüfung der Spannungssymmetrie
- Leerlaufkennlinie als Generator
- Kurzschlußkennlinie als Generator
- Verzerrungsgrad der Spannungskurve
- Messung des THF-Faktors
- Hochlauf zur Momentenbestimmung
- Massenträgheitsmoment aus dem Auslaufversuch
- Stoßkurzschlußprüfung
- Erwärmungsprüfung mit Bemessungsdaten oder Lastersatzprüfungen
- Erwärmungszeitkonstanten, Grenzleistungsbestimmung
- Betriebskennlinie  $\eta = f(P)$
- Regelkennlinien  $I_a = f(I_f)$  für verschiedene  $\cos \varphi$
- Ermittlung des Nennerreglerstromes
- Ermittlung der Kenngrößen der Synchronmaschinen-Reaktanzen, Zeitkonstanten
- Messung der Kühlmittelmenge

## Dokumentation

Der Umfang der Dokumentation "Bedien- und Wartungshandbuch" wird entsprechend den "Allgemeinen Lieferbedingungen für Erzeugnisse und Leistungen der Elektroindustrie" mit dem Kunden vereinbart. Die Standardausführung des Bedien- und Wartungshandbuches beinhaltet:

- Datenblatt
- Prüfprotokoll
- Maßbild Motor
- Maßbild Kabelanschluß
- Anschlußpläne
- Montagevorschrift
- Zulieferteile
- Ersatzteilliste
- EG-Herstellereklärung

Muß der Umfang der Dokumentation auf Grund vertraglicher Vereinbarungen, vor allem bei Exportlieferungen, erweitert werden, so ist eine Abstimmung zwischen Auftraggeber und VEM notwendig und vertraglich zu binden. Diese Dokumentation wird 2-fach mit der Auslieferung des Erzeugnisses bereit gestellt.

Die Dokumentation ist in den Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch, Russisch und Spanisch möglich.

Für zusätzliche Exemplare, einen erweiterten Dokumentationsumfang und Übersetzungen in andere Sprachen werden durch VEM zusätzliche Kosten erhoben.

## Versand, Verpackung und Montage

Die Synchronmotoren werden im Rahmen der vorgegebenen Lademasse, wenn möglich, komplett montiert versandt. Beim Transport von Gleitlagermaschinen erfolgt eine Arretierung der Welle. Motoren mit Ölschmierung werden ohne Ölfüllung ausgeliefert. Vor Inbetriebnahme ist deshalb auf die Ölfüllung und Entfernung der Arretierung zu achten. Die Hinweise der Montageanweisung für die ordnungsgemäße Aufstellung sind zu beachten. Die Aufstellung kann durch Fachkräfte vom Sachsenwerk durchgeführt werden. Befestigungs- bzw. Verankerungsteile, wie Fundamentschrauben u.ä. werden auf besondere Bestellung mitgeliefert.

Die Art der Verpackung wird bei Vertragsabschluß entsprechend den Transport- und Lagerbedingungen, welche bei einer Bestellung genannt werden, sowie unter Berücksichtigung der konstruktiven Ausführung der Maschinen, festgelegt. VEM Sachsenwerk ist in der Lage alle Spezialverpackungen zu offerieren.

Der Versand und die Montage von Synchronmotoren wird auch für die entferntesten Regionen durch das Sachsenwerk gewährleistet.