Geregelte Drehstromantriebe

Autor(en): **Bühler, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **70 (1979)**

Heft 11

PDF erstellt am: **30.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-905390

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Geregelte Drehstromantriebe

Bericht über die SEV/SGA-Informationstagung «Geregelte Drehstromantriebe» vom 15. März 1979 in Zürich [1])

62–54:621.313.3;

Obschon sich die geregelten Drehstromantriebe gegenüber den Gleichstromantrieben nicht generell durchsetzen können, besteht nach wie vor ein grosses Interesse an dieser Antriebsart. Die von 195 Teilnehmern besuchte Tagung hatte zum Ziel, die praktischen und theoretischen Grundlagen geregelter Drehstromantriebe zu zeigen und vor allem den gegenwärtigen Stand der Technik zu beleuchten. In insgesamt sieben Beiträgen wurden sowohl die Asynchron- als auch die Synchronmaschine behandelt. Neben dem Starkstromteil (Motor und Frequenzumrichter) wurden auch das entsprechende Prinzip der Regelkreise und deren Realisierung vorgestellt.

H. Bühler: Das regeltechnische Verhalten der Drehstrommaschinen

Dieser Beitrag behandelte einige theoretische Aspekte, die beim Einsatz von Drehstrommaschinen in Regelkreisen auftreten. Zuerst wurde für die Asynchronmaschine die komplexe Einachsentheorie dargestellt. Es zeigt sich, dass das Problem der Drehzahlregelung nicht eindeutig ist, und zwar sowohl bei Vorgabe der Statorspannung als auch bei Vorgabe des Statorstromes. Es müssen zusätzliche Bedingungen aufgestellt werden, wobei normalerweise die Flussverkettung konstant gehalten wird. Dazu kann beispielsweise der Statorstrom in Abhängigkeit der Schlupffrequenz vorgegeben werden. Eine einfache Struktur ergibt sich bei der feldorientierten Regelung, die jedoch umfangreiche Mess- und Regelschaltungen erfordert.

Zur Untersuchung der Synchronmaschine wird die Zweiachsentheorie verwendet. Auch bei dieser Maschine ist das Regelproblem nicht eindeutig festgelegt, so dass zusätzliche Bedingungen einzuführen sind. Es wurde der Betrieb mit $\cos\varphi = 1$ und der Betrieb mit festem Zündverzögerungswinkel gegenüber dem Polrad dargestellt.

H. Stemmler: Geregelte Drehstromantriebe mittlerer und hoher Leistung, Stand der Technik, Anwendungen

Dieser Beitrag gab einen Überblick über wichtige Anwendungsschwerpunkte von geregelten Drehstromantrieben, vor allem im mittleren und oberen Leistungsbereich. Dabei wurde jeweils auch kurz das Grundprinzip des Stromrichters und der Regelung erläutert.

Der direktumrichtergespeiste Synchronmotor wurde gegen Ende der sechziger Jahre als Antrieb für geregelte Zementmühlen entwickelt. Sein Merkmal ist hohe Antriebsleistung (mehrere MW) bei geringer Drehzahl (13 bis 15 U/min). Die unter-übersynchrone Stromrichterkaskade wird hauptsächlich zur Steuerung der Übertragungsleistung von Bahnnetzkupplungsumformern eingesetzt, die das dreiphasige 50-Hz-Netz mit dem einphasigen $16^2/_3$-Hz-Bahnnetz bei Einheitsleistungen zwischen 8 und 80 MVA verbinden. Durch eine geeignete Regelanordnung lässt sich sowohl die Übertragungs(wirk)-leistung als auch die Blindleistung im 50-Hz-Netz in weiten Grenzen beliebig beeinflussen. Die einfacher aufgebaute untersynchrone Stromrichterkaskade wird zum Antrieb von Kesselspeisepumpen, Gebläsen, Verdichtern, Prüfständen usw. eingesetzt. Der Stromrichtersynchronmotor arbeitet mit einem Zwischenkreisumrichter. Der Anwendungsschwerpunkt liegt heute beim Frequenzanlauf von grossen Synchronmaschinen. Der wechselrichtergespeiste Asynchron-Kurzschlussläufermotor verwendet den einfachsten und robustesten Drehstrommotor, benötigt aber einen aufwendigen zwangskommutierten Wechselrichter. Seine Anwendung konzentriert sich gegenwärtig im wesentlichen auf die Traktion.

H. Lamparter: Mehrmotorenantriebe mit geregelten Asynchronmotoren

Mehrmotorenantriebe für hohe Drehzahlen, welche vor allem in der Chemiefaserherstellung eingesetzt werden, können ausser mit Synchronmotoren auch mit geregelten Asynchronmotoren realisiert werden. Dazu wird für jeden Motor ein spezieller Frequenzumrichter eingesetzt.

Im Leistungsbereich bis zu einigen kVA werden für den Leistungsteil zweckmässigerweise Schalttransistoren eingesetzt, womit sich die aufwendigen Einrichtungen zur Zwangskommutierung vermeiden lassen. Für einen einwandfreien Betrieb sind Überwachungs- und Schutzeinrichtungen vorzusehen. Über Ausgleichsleitungen ist ein Leistungsaustausch zwischen den vom 50-Hz-Netz individuell gespeisten Umrichtern möglich. Mit dem Steuer- und Regelteil können verschiedene Regelcharakteristiken erreicht werden, und zwar die meistens verwendete Regelcharakteristik mit konstantem magnetischem Fluss und die Regelcharakteristik mit konstantem Schlupf. Letztere ist insbesondere interessant bei Chemiefaser-Produktionsanlagen. Wegen der praktisch ununterbrochenen Betriebszeit ist man an möglichst geringer Verlustleistung interessiert. Je nach Lastzustand können die beiden Verfahren auch kombiniert werden. Es wurden einige Hinweise auf die Auslegung des modular aufgebauten Leistungs-, Steuer- und Regelteils gegeben.

R. Zwicky: Systematik regelbarer Antriebe mit Induktionsmaschinen [2])

Die Leistungselektronik bietet für Induktionsmaschinen mit Schleifring- oder Kurzschlussläufer Lösungen an, mit denen sich klassische und neue Methoden der Drehzahlvariation elegant realisieren lassen. In diesem Beitrag wurden sämtliche möglichen Verfahren, mit Schwerpunkt auf Schleifringläufermotoren, systematisch dargestellt und bezüglich ihrer Betriebseigenschaften verglichen. Insbesondere wurde gezeigt, wie die bisher noch nicht genutzten Bereiche des gegensynchronen und des stark übersynchronen Motors ausgenützt werden können.

Regelbare Antriebe mittels Asynchronmotoren erfordern entweder eine veränderliche Frequenz und Spannung im Stator, oder bei Schleifringläufermotoren konstante Frequenz und Spannung im Stator, wobei die Eingriffe zur Drehzahlvariation im Rotor erfolgen. Zweckmässig ist Rückspeisung oder zusätzliche Einspeisung der Schlupfleistung, wie dies bei

[1]) Der den Tagungsteilnehmern ausgehändigte Band mit den ausführlichen Referaten kann beim SEV, Abt. VVW, zum Preis von Fr. 45.– (+ Versandspesen) noch bezogen werden.

[2]) Dieser Beitrag ist in Bulletin SEV/VSE 70(1979)11, S. 555...559 in vollem Wortlaut veröffentlicht.

der untersynchronen oder der unter-übersynchronen Kaskade erfolgt. Bei der Ausnützung neuer Betriebsbereiche ist es vorteilhaft, diejenigen Bereiche zu verwenden, bei denen ein einfacher, maschinenkommutierter Wechselrichter zum Einsatz gelangen kann. Dies ist beim gegensynchronen Betrieb möglich, der auch einen Anlauf aus dem Stillstand gestattet. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den übersynchronen Bereich auszuwerten. Beim Hochlauf aus dem Stillstand muss jedoch der Synchronbereich durchfahren werden, wo der Betrieb eines maschinenkommutierten Wechselrichters (im Rotorkreis) nicht möglich ist. Man kann die beiden Betriebsbereiche miteinander kombinieren. In beiden Betriebsbereichen ist es zweckmässig, mit grossen Schlupfwerten zu arbeiten ($s = 3...5$ bzw. $s = -2...-4$), um eine günstige Auslegung der Umrichter zu erhalten. Zur Illustration wurden die an einem Versuchsaufbau gemessenen Spannungen und Ströme im gegensynchronen Motorbetrieb wiedergegeben.

Th. Salzmann: Geregelte Drehstrommaschinen am Direktumrichter

Nach einer kurzen Beschreibung der Eigenschaften eines Direktumrichters wurde ein modular aufgebautes Steuer- und Regelkonzept für den eigengetakteten Betrieb einer Synchronmaschine näher beschrieben. Beim feldorientierten Betrieb werden vorerst die Stromkomponenten in dem mit dem Statorfluss umlaufenden Koordinatensystem vorgegeben, und zwar zur Fluss- und Drehmomentbildung. Die erste Komponente bestimmt den Leistungsfaktor und wird meistens gleich null gesetzt, so dass $\cos\varphi = 1$ ist. Die zweite Komponente wird durch einen überlagerten Drehzahlregler vorgegeben. Durch einen Vektordreher werden mit Hilfe der Orientierungsgrössen $\sin\varphi_s$ und $\cos\varphi_s$, welche eine Information über die momentane Lage des Statorfeldes geben, die Stromsollwerte im feststehenden Koordinatensystem gebildet, welche in ein symmetrisches Dreiphasensystem für die Statorstromsollwerte umgeformt werden. Drei Stromregler sorgen für die Einprägung der Statorströme. Ein Feldregler gibt den Sollwert für den Erregerstrom vor. Die Statorstromregelung arbeitet im stationären Betrieb nicht mit der Frequenz null, sondern mit der gewünschten Ausgangsfrequenz. Dadurch ergibt sich eine erhebliche Verfälschung zwischen Soll- und Istwert. Der Fehler kann durch eine Störgrössenaufschaltung mit Hilfe der Statorspannung verkleinert werden. Bei höheren Ausgangsfrequenzen (ab etwa 10 Hz) ist diese Massnahme ungenügend, so dass zusätzliche Korrekturen vorgesehen werden müssen.

Zur Bildung der Orientierungsgrössen muss der Luftspaltfluss erfasst werden. Dies kann direkt mit in den Luftspalt eingebauten Hallsonden erfolgen. Man zieht jedoch meistens indirekte elektronische Rechenschaltungen vor, welche aus der Statorklemmenspannung unter Korrektur des ohmschen und induktiven Spannungsabfalls im Stator die Flussverkettung bestimmen. Ein Vektoranalysator liefert neben den Orientierungsgrössen auch ein Signal mit dem Betrag der Flussverkettung. Im Stillstand gibt diese Rechenschaltung keine auswertbaren Grössen. Aus dem Erregungsvorgang über den Erregerstrom werden in den Statorwicklungen Spannungen induziert, welche zur Bestimmung der Anfangswerte für die Flussverkettungen ausgewertet werden können.

Mit einigen Anpassungen kann die beschriebene Regelanordnung auch für den feldorientierten Betrieb der direktumrichtergespeisten Asynchronmaschine verwendet werden.

J. Leimgruber: Vierquadrantenbetrieb eines Stromrichter-Synchronmotors mit Speisung über einen Zwischenkreisumrichter

Mit diesem Beitrag wurde ein Regelkonzept für den Vierquadrantenbetrieb eines Stromrichter-Synchronmotors vorgestellt, bei welchem zusätzlich zur Drehzahl die Statorflussverkettung und der Leistungsfaktor als Sollwerte vorgegeben werden können. Damit ein Betrieb mit $\cos\varphi = 1$ möglich ist, muss der maschinenseitige Wechselrichter mit einer Zwangskommutierungseinrichtung ausgerüstet sein.

Das Regelkonzept ist so aufgebaut, dass einerseits der Strom im Zwischenkreis geregelt wird, wobei der Sollwert von einem überlagerten Drehzahlregler stammt. Anderseits wird der Erregerstrom geregelt, wobei der Sollwert von einem überlagerten Statorspannungsregler geliefert wird, der die Statorspannung proportional zur Drehzahl einregelt. Die $\cos\varphi$-Regelung besteht aus einem Steuergerät zur lastabhängigen Nachführung des Steuerwinkels für den maschinenseitigen Wechselrichter und einem Taktgeber zur Messung der absoluten Polradlage. Mit dieser Anordnung ist ein Vierquadrantenbetrieb möglich, so dass Reversiervorgänge ohne weiteres möglich sind.

Die Optimierung der Parameter für die verschiedenen Regler wurde im Zustandsraum vorgenommen, wobei ein digitales Programmpaket zum Einsatz gelangte. Abschliessend wurden Messresultate einer 3-kVA-Synchronmaschine angegeben, die das einwandfreie Funktionieren dieses Regelverfahrens, insbesondere bei Reversiervorgängen zeigen.

L. Terens: Statischer Frequenzumrichter zum Hochfahren grosser Synchronmaschinen

Zum Anlassen von Gasturbosätzen sowie zum Hochfahren und Synchronisieren von Pumpspeichersätzen, Synchronkompensatoren, Kompressoren und Gebläsen kommt seit einigen Jahren die direkt auf die Synchronmaschine wirkende, statische Hochfahreinrichtung zur Anwendung.

Die Anforderungen, die an Hochfahreinrichtungen gestellt werden, hängen sehr stark vom Gegenmoment der hochzufahrenden Maschine ab. So kann die Nennleistung der Hochfahreinrichtung zwischen etwa 1% und 100% der Nennleistung der Synchronmaschine betragen. Die Hochfahreinrichtung besteht aus einem Zwischenkreisumrichter mit natürlicher Kommutierung, der den Stator der Synchronmaschine speist. Überdies ist ein weiterer Stromrichter zur Speisung der Erregung vorhanden. Entsprechende Regeleinrichtungen sorgen für die Einhaltung von Zwischenkreis- und Erregerstrom. Im oberen Drehzahlbereich erfolgt die Steuerung des maschinenseitigen Wechselrichters in Abhängigkeit der Statorspannung. Bremsbetrieb ist ebenfalls möglich. Im unteren Drehzahlbereich wird die Zwischenkreispulsung verwendet, indem der Strom im Zwischenkreis periodisch auf null reduziert wird, so dass im Wechselrichter die Weiterschaltung des Stromes von einem Ventil zum andern ohne Kommutierung erfolgen kann. Bei Maschinen, welche ohne allzugrosses Losbrechmoment langsam angefahren werden können, kann zur Steuerung eine Fremdsteuerung vorgesehen werden, welche eine von der Maschine unabhängige Frequenz vorgibt, die ausgehend von 0,1...0,3 Hz langsam erhöht wird. Bei höheren Losbrechmomenten, kurzen Anfahrzeiten oder beim Abbremsen bis in den Stillstand muss zur Steuerung ein mit der Synchronmaschine gekuppelter Polradlagegeber verwendet werden.

Prof. H. Bühler, EPFL