

Gens, Wolfgang :

***Zur feldorientierten Regelung wechselrichtergesteuerter
Drehstromasynchronmotoren***

Zuerst erschienen in:

LEW-Nachrichten // Kombinat VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische
Werke Hans Beimler. - Henningsdorf : Komb., ISSN 0374-3691, Bd.
18 (1987), 39, S. 7-8

Zur feldorientierten Regelung

wechselrichter gespeister Drehstromasynchronmotoren

Prof. Dr. sc. techn. Wolfgang Gens

Technische Hochschule Ilmenau - Sektion Elektrotechnik

Der Steuerung von asynchronen Drehstrommotoren (DASM) wird aus bekannten Gründen verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt. Zur Befriedigung sehr hoher Ansprüche an das Betriebsverhalten werden Regelverfahren nach dem Prinzip der Feldorientierung angewendet.

1. Regelungsstrukturen nach dem Prinzip der Feldorientierung

Die feldorientierte Regelung beruht darauf, daß ausgehend von zeitlich veränderlichen Anforderungen an das Drehmoment und an den Magnetisierungszustand der DASM mittels des dem Motor vorgeschalteten Wechselrichters ein daraus abgeleiteter, zeitlich veränderlicher, vektorieller Zusammenhang zwischen der im Motor wirksamen Flußverkettung und dem Statorstrom unter Berücksichtigung unterschiedlicher Optimierungskriterien hergestellt wird. Bild 1 zeigt das Grundprinzip der feldorientierten Regelung. Die grundsätzlichen Varianten folgen daraus, indem der Block „Feldorientierung“ in Abhängigkeit vom eingesetzten Wechselrichter gestaltet wird [1, 2]. Sie sind in den Bildern 2, 3 und 4 dargestellt. Wesentliche Gesichtspunkte für die Auswahl einer Variante sind: Die Antriebskonfiguration (Einzel- oder Mehrmotorenantrieb); der Leistungsbereich; das geforderte statische und dynamische Steuerverhalten; der Drehzahlbereich; die geforderten Energieflußrichtungen und ihre zeitliche Wirksamkeit; der mit der Relevanz der Antriebsaufgabe korrelierende zulässige gerätetechnische Aufwand.

2. Wechselrichter für die feldorientierte Regelung (FOR)

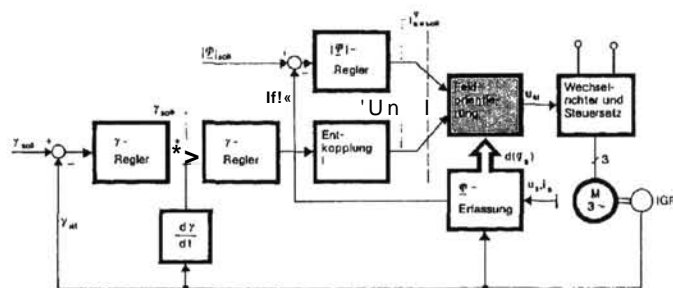
Für den Leistungsbereich ≥ 50 kVA kommen hauptsächlich Spannungswechselrichter (UWR), die mit kontaktlosen Schaltern auf der Basis von Spezialthyristoren (Frequenz-, GATT-, GTO- und RL-Thyristoren) ausgerüstet sind, zum Einsatz. Bei ihrer Ausführung als Pulsspannungswechselrichter (PUWR) ist die Pulsfrequenz $\ll 500$ Hz begrenzt. Damit sind die maximale Betriebsfrequenz, der minimal erzielbare Klirrfaktor des Statorstroms, der Grad der möglichen Eliminierung von diskre-

ten Drehmomentschwingungen und die Grenzen der Dynamik der Statorstromregelung festgelegt. Im Leistungsbe- reich < 50 kVA kommen Spannungsw- wechselrichter mit kontaktlosen Transi- storschaltern zum Einsatz. Bei ihrer Ausführung als PUWR wirken sich die zuvor genannten Beschränkungen in- folge der höheren zulässigen Pulsfre- quenz in geringerem Maße aus. Der Einsatz des nur getaktet betriebenen UWR mit steuerbarer Zwischenkreis- spannung, der sich durch geringere Verluste gegenüber dem PUWR aus- zeichnet, ist zu empfehlen, wenn keine

3. Die indirekte Erfassung der Fluß- Verkettung [31]

Wesentliche Voraussetzungen für das Wirksamwerden der von der Theorie her der FOR innewohnenden Vorteile sind: die exakte Erfassung der in der DASM wirksamen Flußverkettung (meist Rotorflußverkettung) nach Betrag und Winkel ihres komplexen Raumvektors (kRV) im statorfesten Ko- ordinatensystem (KOS), erforderlichen- falls auch im Feldschwächbereich; die exakte Transformation von komplexen Raumvektoren in ein für die Informa- tionsverarbeitung zweckmäßiges KOS

Bild 1
Grundprinzip der feldorientierten Regelung
WuS = Wechselrichter und Steuersatz



extrem niedrigen Drehzahlen gefordert werden.

Es zeichnet sich ab, daß im oberen Drehzahlbereich getaktet und im unteren Drehzahlbereich mit niedriger Pulsfrequenz betriebene Transistorwechselrichter mit zweistufigem Zwischenkreis einen günstigen Kompromiß darstellen.

Der Einsatz von Spannungswchselrichtern wird sehr aufwendig, wenn die Energierückspeisung in das Netz gefordert wird. Bei kleinen Wechselrichterleistungen ist die Energierückspeisung auf einen Widerstand im Zwischenkreis zu empfehlen. Dabei sind Stromwechselrichter (IWR) - vorwiegend mit Phasenfolgelösung - vorteilhaft, wenn der Vierquadrantenbetrieb, aber stationär keine extrem niedrigen Drehzahlen gefordert werden und die unvermeidlichen Netzrückwirkungen zugelassen werden können.

(meist feldfest) und deren exakte Rücktransformation in das statorfeste KOS für die Ausgabe an den Wechselrichter. Für den industriellen Einsatz ist nur die indirekte Flußerfassung von Bedeutung. Hierbei wird der Mechanismus zur Bildung der Flußverkettung mit Hilfe von Echtzeitmodellen - analoge Rechenschaltungen oder Echtzeitprogramme - und von leicht zugänglichen Modelleingangsgrößen, wie Statorspannung, Statorstrom, Drehzahl und Drehwinkel, nachgebildet. Die Genauigkeit der indirekten Flußerfassung, insbesondere des Winkels, ist sehr bedeutsam für die erzielbare Leistungsfähigkeit der FOR. Folgende Einflüsse führen zu Fehlern bei der indirekten Flußerfassung:

— Die unvollständige Übereinstimmung von Abbildungsobjekt und Modell infolge nur angenäherter mathematischer Beschreibbarkeit,

- die begrenzte Genauigkeit der Lösungen der Modellgleichungen im Echtzeitbetrieb und der Zeitbedarf für die Lösung,
- die begrenzte Genauigkeit bei der Erfassung der Modelleingangsgrößen infolge von Verzögerungen, Totzeiten, zeitvarianten Gleich- und Wechselgrößen, Quantisierungsfehlern,
- die Verstimmung zwischen Abbildungsobjekt und Modell infolge Para-

nen Antriebskonfiguration, von der Struktur der FOR und vom geforderten Drehzahl- und Drehmomentbereich. Es ist anzustreben, daß möglichst nur solche Modelleingangsgrößen benötigt werden, die als Zustandsgrößen für die übergeordnete Regelung, den Schutz und die Diagnose mit der notwendigen Genauigkeit und Dynamik ohnehin bereitgestellt werden müssen. Das ausgewählte Modell sollte möglichst un-

und Wandlung der Zustandsgrößen z Eingangsgrößen für das Flußmodell, z Istwerten und zu Hilfsgrößen für die Koordinatentransformatoren entstehen auf die Leistungsfähigkeit der FOR, — Vergleich der praktisch erzielbare Leistungsfähigkeit der FOR mit der anderer Regelungsverfahren und des für die unterschiedlichen Verfahren notwendigen gerätetechnischen Aufwand:

Bild 2
Feldorientierung mittels dreikräftiger Statorstrom-Zweipunktregelung und Pulsspannungswechselrichter (PUWR)

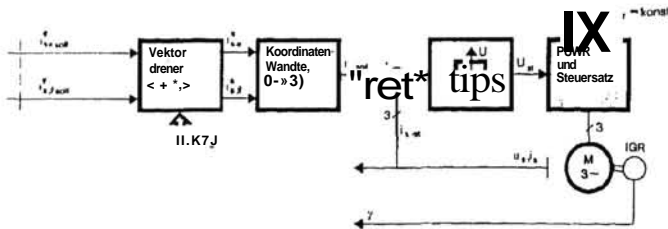


Bild 3
Feldorientierung mittels stetiger Regelung der Statorstromkomponenten und Pulsspannungswechselrichter (PUWR)

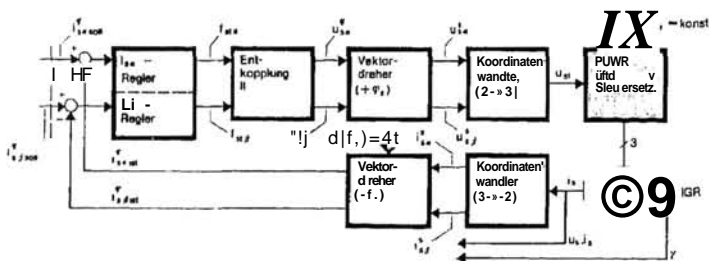
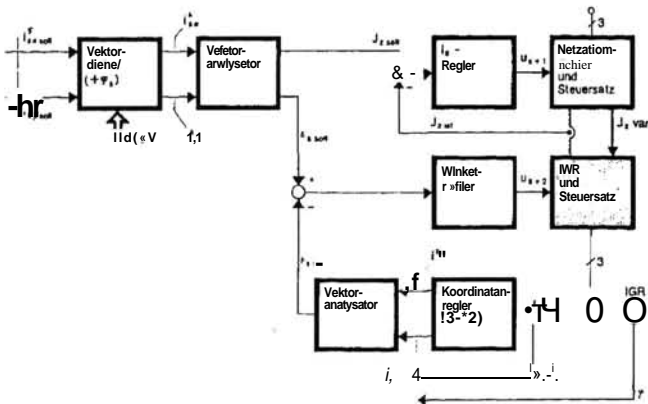


Bild 4
Feldorientierung mittels stetiger Regelung von Amplitude und Winkel (im statorfesten Koordinatensystem) des Statorstroms und Stromwediselrichter (JWR)



meteränderungen des Abbildungsobjekts, zum Beispiel durch Erwärmung, Belastung, Feldschwächung, Fehleinstellung der Modellparameter. In bezug auf die Vektoroperationen und die indirekte Flußerfassung ergeben sich für künftige Untersuchungen folgende Aufgaben:

- Auswahl eines geeigneten Flußmodells, ausgehend von der vorgegebene

empfindlich gegenüber Verstimnungen sein. Alle Modellgleichungen müssen mit der erforderlichen Genauigkeit und in der verfügbaren Taktezeit der zugeordneten Hierarchieebene abgearbeitet werden können,

- Analyse des Einflusses von Fehlern, die bei der Ausführung der Vektoroperationen mit endlicher Genauigkeit und Geschwindigkeit und bei der Erfassung

4. Zusammenfassung

Es werden die prinzipiellen Strukturen der feldorientierten Regelung von Drehstromasynchronmotoren und die Merkmale der dazu notwendigen Wechselrichter angegeben. Auf die Ursachen von Fehlern bei der indirekten Flußerfassung und auf Schwerpunkte künftiger Untersuchungen — Auswahl geeigneter Flußmodelle, Einfluß von Fehlern bei der Erfassung und Verarbeitung von Informationen auf die Leistungsfähigkeit der feldorientierten Regelung — wird hingewiesen.

Literaturhinweise

- [1] Berger, G.: Beitrag zur Realisierung der feldorientierten Drehzahlregelung einer von einem Pulsspannungswechselrichter gespeisten Drehstromasynchronmaschine. Diss. A der TH Ilmenau, 1982.
- [2] Probst, W.-P.: Untersuchung der feldorientierten Regelung einer von einem Stromwechselrichter gespeisten Drehstromasynchronmaschine. Diss. A der TH Ilmenau, 1984.
- [3] Kornhaas, I.: Die indirekte Erfassung der Flußverteilung von Drehstromasynchronmaschine als Voraussetzung für ihre feldorientierte Regelung. Diss. A der TH Ilmenau, 1984