

Wirfs, Rolf: "Ein Verfahren zur Regelung umrichter gespeister Asynchronmaschinen mit Hilfe einer gesteuerten Feldorientierung." D17 Darmstädter Dissertation 1991 (Übersicht)

Das in der Arbeit entwickelte Verfahren zielt vor allem auf möglichst hohe Ausnutzung des Pulswechselrichters im Feldschwächbereich der Maschine bei guter Dynamik. Da im Feldschwächbereich mit Grundfrequenztaktung die Spannungsamplitude maximal (aber konstant) ist, bietet sich hier die Regelung über Läuferfrequenz bzw. -Winkel an. Die Grundfrequenztaktung wird bei Hochleistungswechselrichtern mit sehr begrenzter Schaltfrequenz im oberen Drehzahlbereich ohnehin erforderlich. Bekannte Verfahren benötigen eine Umschaltung der Reglerstruktur beim Wechsel zwischen Grunddrehzahlbereich und Feldschwächbereich. Das vorgestellte Verfahren vermeidet derartige Strukturumschaltungen sondern arbeitet mit einer überlagerten, ablösenden Spannungsbegrenzungsregelung, die auf ein Modell wirkt, aus dem dann die Spannungsvorgabe für den Wechselrichter entnommen wird.

Bei der feldorientierten Regelung der Asynchronmaschine werden allgemein Modelle eingesetzt, welche aus Soll- und Istwerten maschineninterne Systemgrößen ermitteln. Die in der Praxis hauptsächlich eingesetzten Modelle setzen sich oft aus Teilmodellen zusammen:

Solche, bei denen gemessene Klemmengrößen (Ströme, Spannungen, Drehzahl) dazu verwendet werden um nicht gemessene innere Größen wie Moment, Fluß, Ströme im läuferflußorientierten Koordinatensystem sowie Läuferfrequenz zu berechnen ("Vorwärtsmodelle"). Diese damit errechneten Größen dienen vornehmlich als Istwerte für Regelungen, z.B. zur Stromregelung im läuferflußorientierten Koordinatensystem sowie solche, bei denen aufgrund gewünschter "innerer" Größen wie z.B. gewünschter Fluß und gewünschtes Drehmoment zurückgerechnet wird auf dazu erforderliche Klemmengrößen wie Ständerspannung und -Strom ("Rückwärtsmodelle")

In der vorliegenden Arbeit wird ein neues Rückwärtsmodell verwendet, das im läuferflußorientierten Koordinatensystem bei gegebenen Ständerspannungskomponenten und Ständerfrequenz Flüsse und Ströme berechnet ("Vorwärtsmodell") und durch modellinterne Rückführung die Ständerspannungskomponenten bildet (geregelt Maschinensystemmodell). Als interne Regelgrößen werden die momentenbildende Ständerstromkomponente sowie die in Läuferflußrichtung liegende Ständerflußkomponente verwendet. Die Ständerspannungskomponenten aus diesem geregelten Maschinenmodell werden zur Steuerung des Wechselrichters verwendet.

Die drei Eingangsgrößen in dieses geregelte Maschinenmodell sind

- a) der Sollwert der momentenbildenden Ständerstromkomponente - der wie üblich von einem überlagerten Drehzahlregler erzeugt wird - sowie
- b) der Sollwert der in läuferflußrichtung liegende Ständerflußkomponente. Dieser wird von dem überlagerten Spannungsbegrenzungsregler vorgegeben. Im Grunddrehzahlbereich ist der Spannungsbegrenzungsregler außer Eingriff. Sobald der Betrag der vom Modell abgegriffenen Spannungskomponenten die vom Wechselrichter realisierbare Maximalspannung übersteigt, kommt der Spannungsbegrenzungsregler in Eingriff und reduziert obigen Flußsollwert. Ein zusätzlicher, sehr schnell wirkender Eingriff beeinflusst vorübergehend die für den momentenbildenden Strom zuständige Spannungskomponente u_{1y} , um hinreichend schnell die im Wechselrichter wirksame Begrenzung des Spannungsbetrages auch im Modell zu realisieren.
- c) die Statorfrequenz. Diese bzw. der dazugehörige Transformationswinkel gewährleisten die Orientierung am Läuferfluß. In der vorliegenden Arbeit wird das Signal für die Ständerfrequenz mit Hilfe eines "Stromreglers Maschine" gewonnen. Dieser Regler vergleicht das vom Modell abgegriffene momentenbildende Stromsignal (i_{1yM}) mit dem gemessenen (- und ins läuferflußorientierte Koordinatensystem transformierten -) momentenbildenden Stromsignal und verändert das auf das Modell und die Koordinatentransformation wirkende Ständerfrequenz-Signal so lange, bis die Signale für Modellstrom und Iststrom übereinstimmen. Bei korrekten Ständerparametern im Modell und bei Ständerfrequenzen $>5\% f_{1N}$ wird damit eine korrekte Orientierung eingestellt. Zu dieser Orientierung ist somit eine Messung der Maschinenspannung nicht erforderlich, jedoch sollte der Wechselrichter die vom Modell gewünschten Spannungen auch korrekt erzeugen. Zur Verbesserung der Dynamik ist es sinnvoll, obigem Regler ein aus den Modellgrößen errechnetes Signal für die Läuferfrequenz aufzuschalten.

Basierend auf diesem Ansatz werden in der Arbeit zwei Fälle untersucht: Mit und ohne Drehzahlmessung.

- 1.) Wenn eine Drehzahlmessung vorhanden ist, dann wird obigem Regler das gemessene Drehzahlsignal aufgeschaltet.
- 2.) Falls keine Drehzahlmessung vorhanden ist, dann kann ersatzweise mit einem 2-fach integrierendem Regler gearbeitet werden.

In beiden Fällen liefert der Regelkreis bei sehr kleinen Drehzahlen keine brauchbare Orientierung und muß durch eine Steuerung abgelöst werden.

In Kapitel 3 werden die insgesamt 5 Regelkreise analysiert und die erforderlichen Regler entworfen. Die vorgenommenen Aufschaltungen und einige Vereinfachungen führen zu "klassischen" Reglerstrukturen, z.B. PI-Regler für Strom, Drehzahl und Spannung, PID-Regler für Fluß. Die Parameter der Regler werden durch die zu kompensierenden Pole sowie durch Kriterien wie betrags- oder symmetrisches Optimum gefunden.

In Kapitel 4 werden per Simulation das oben vorgestellte Verfahren mit Maximalspannung (also ohne Spannungsreserve) im Feldschwächbetrieb und ein Verfahren mit lastabhängig berechneter Spannungsreserve (also keine Grundfrequenztaktung) verglichen. Ohne Spannungsreserve ist jede Drehmomentänderung mit einer Flußänderung verbunden. Der Streuflußanteil kann relativ schnell geändert werden, danach wird die große Läuferflußzeitkonstante wirksam. Das Verfahren ohne Spannungsreserve führt zu geringfügig längeren Anregelzeiten im Drehmoment, dafür ist aber das im generatorischen Betrieb stationär erreichte Drehmoment um bis zu 20% höher. In den simulierten Reversiervorgängen ist beim Beschleunigen kaum ein Unterschied zwischen den beiden Verfahren erkennbar während beim Bremsen im Feldschwächbereich das neue Verfahren deutlich besser ist.

Für die praktische Erprobung des Verfahrens hat Herr Wirfs einen Versuchsaufbau erstellt, der in Kapitel 5 beschrieben wird. Ein derartiger Versuchsaufbau erfordert sehr umfangreiche Ingenieurleistungen, begonnen beim Maschinensatz (ASM + GS-Belastungsmaschine) über die Leistungsteile, deren Auslegung, Ansteuerung und Schutz, bis hin zu einer betriebssicheren Signalverarbeitung.

Die Versuchsergebnisse in Kapitel 6 zeigen die Reaktion des Antriebes bei Änderung von Führungs- und Störgrößen im Grunddrehzahl- und Feldschwächbereich. Insgesamt liegt auch bei maximaler WR-Spannung noch ein erstaunlich gutes dynamisches Verhalten vor. Es gibt keine Probleme beim Wechsel zwischen Grunddrehzahl- und Feldschwächbereich. Auch der Betrieb ohne Drehzahlmessung scheint selbst bei niedrigen Drehzahlen (Anfahren und Stillsetzen) - konstantes Lastmoment vorausgesetzt- keine Probleme zu bereiten.

P.Mutschler