

FELDORIENTIERTE REGELUNG EINER PMSM

R. Gabel

1 EINLEITUNG

In vielen Anwendungen werden Gleichstrommaschinen als Antriebe eingesetzt, da sich diese Art von Motoren durch eine gute Einstellbarkeit der Drehzahl in weiten Bereichen auszeichnet.

Drehstromantriebe werden hingegen oft mit einer festen Drehzahl betrieben. Da die Drehzahl abhängig von der Frequenz der Speisespannung ist, kann eine Drehzahländerung ausschließlich durch eine Frequenzänderung des speisenden Netzes geschehen. Dieses war früher nur mit großem Aufwand realisierbar, durch die Weiterentwicklung der Leistungselektronik ist es heute jedoch möglich, auf einfache Weise in Frequenz und Amplitude variable Wechselspannungen aus einem Gleichspannungszwischenkreis zu erzeugen. Damit ist man in der Lage, auch Drehstrommaschinen mit variabler Drehzahl zu betreiben und verschiedene Arbeitspunkte anzufahren.

Im Gegensatz zu Gleichstrommaschinen besitzen Drehstrommotoren keinen mechanischen Kommutator und unterliegen somit keinem nennenswerten mechanischen Verschleiß, was große Wartungsintervalle ermöglicht. Auch können sie leichter explosionsgeschützt ausgeführt werden.

Zusammen mit der Leistungselektronik lassen sich heute kompakte Antriebe mit gutem Wirkungsgrad aufbauen, das gilt insbesondere für die permanentmagneterregte Synchronmaschine.

Die feldorientierte Regelung stellt dabei ein geeignetes Verfahren dar, die Synchronmaschine in der Drehzahl zu regeln.

2 FELDORIENTIERTE REGELUNG

Die permanentmagneterregte Synchronmaschine als Regelstrecke wird durch folgende nichtlineare Differentialgleichungen beschrieben:

$$\underline{u}_s = R_s \cdot \underline{i}_s + L_s \cdot \frac{d\underline{i}_s}{dt} + \frac{d}{dt}(\Psi \cdot e^{jp\varepsilon}) \quad (2.1)$$

$$\Theta \cdot \frac{d\omega}{dt} = \frac{2}{3} \cdot p \cdot \Psi \cdot \text{Im}(\underline{i}_s \cdot e^{-jp\varepsilon}) - m_w \quad (2.2)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \omega \quad (2.3)$$

In den Gleichungen sind neben mechanischen und elektrischen Parametern des Motors die angelegte Strangspannung \underline{u}_s und der daraus resultierende Strangstrom \underline{i}_s enthalten.

2.1 Raumzeiger

Die Synchronmaschine besitzt eine Drehfeldwicklung mit drei Strängen. Die Spannungen und Ströme der einzelnen Stränge werden bei der feldorientierten Regelung in Form von Raumzeigern zusammengefasst. Diese Raumzeiger beziehen sich auf das statorfeste a,b-Koordinatensystem und rotieren daher synchron mit dem Rotor. Um die Größen auf den Rotor zu beziehen, werden die Zeiger auf das rotorfeste d,q-Koordinatensystem transformiert. Die Transformation besteht dabei aus einer Verdrehung um einen Winkel $p\varepsilon$. Die Raumzeiger von Spannung und Strom in Komponentendarstellung von rotor- und statorfestem Koordinatensystem werden wie folgt dargestellt:

$$\underline{u}_s = u_{sa} + ju_{sb} = (u_{sd} + ju_{sq}) \cdot e^{jp\varepsilon} = \underline{u}_s \cdot e^{jp\varepsilon} \quad (2.4)$$

$$\underline{i}_s = i_{sa} + ji_{sb} = (i_{sd} + ji_{sq}) \cdot e^{jp\varepsilon} = \underline{i}_s \cdot e^{jp\varepsilon} \quad (2.5)$$

Für den rotorfesten Raumzeiger der Strangspannungen ergeben sich die Komponenten u_{sd} und u_{sq} zu:

$$u_{sd} = R_s \cdot i_{sd} + L_s \cdot \frac{di_{sd}}{dt} - p \cdot \omega \cdot L_s \cdot i_{sq} \quad (2.6)$$

$$u_{sq} = R_s \cdot i_{sq} + L_s \cdot \frac{di_{sq}}{dt} + p \cdot \omega \cdot L_s \cdot i_{sd} + j \cdot p \cdot \omega \cdot \Psi \quad (2.7)$$

In dieser Darstellung ist es möglich, die Regelung für Gleichgrößen auszulegen. Da lediglich die Komponente i_{sq} ein Drehmoment bewirkt, wird i_{sd} zu Null geregelt.

Aus den Gln. (2.6) und (2.7) ist eine Kopplung ersichtlich, d. h. der Strom i_{sd} beeinflusst sowohl u_{sd} als auch u_{sq} und auch i_{sq} hat Auswirkungen auf beide Spannungskomponenten. Um die Spannungskomponenten getrennt voneinander einstellen zu können, dürfen sie aber nur von einer Stromkomponente abhängig sein. Dieses wird durch die Kreuzentkopplung im Blockschaltbild (**Bild 1**) erreicht.

Durch Vorgabe von i_{sq} kann dann einfach das dem Strom proportionale Drehmoment eingestellt werden.

2.2 Regelung

Mit der Beschreibung der Regelstrecke durch das Gleichungssystem kann eine Regelungsstruktur entworfen werden.

Zunächst sollen die Stromkomponenten i_{sd} und i_{sq} geregelt werden. Dies geschieht jeweils mit PI-Reglern. Die Stromregler bilden innerhalb dieser Kaskadenstruktur die innenliegenden Regelkreise, denen ein äußerer Drehzahlregler überlagert ist.

