

REGELUNG EINER PMSM (SPARK) FÜR EINE WINDKRAFTANLAGE

F. Turki

1 EINFÜHRUNG

Alternative Stromversorgungen werden immer attraktiver und eine der saubersten und umweltfreundlichsten ist die Windenergie. Die heutigen Windkraftanlagen, vor allem im unteren Leistungsbereich, haben niedrige Wirkungsgrade. Mit dem Ziel, einen besseren Wirkungsgrad und gleichzeitig eine niedrigere Geräuschemission erreichen zu können, wurde für eine Windkraftanlage mit einem permanenten Synchronmotor (SPARK) und einem Wechselrichter der Firma Feldmann die Steuerung/Regelung realisiert.

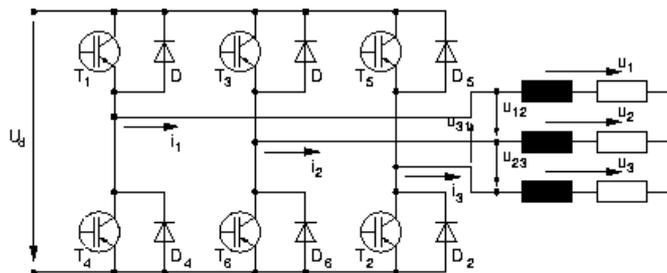


Bild 1: Schaltung einer IGBT-B6-Brücke an einer Maschine

Die angewandte Leistungselektronik basiert auf zwei B6-Brücken nach **Bild 1** für jeweils einen Gleichrichter (maschinenseitig) und einen Wechselrichter (netzseitig).

2 REGELVERFAHREN

Zur Regelung der Leistung, die der Maschine entnommen und ins Netz gespeist wird, wurden zwei Regelverfahren näher untersucht. Die entsprechenden Erfahrungen werden im Folgenden beschrieben.

2.1 Feldorientierte Regelung

Durch die Verfügbarkeit von Wechselrichtern mit ober-schwingungsarmen Ausgangsgrößen geht man bei Synchronantrieben verstärkt zur feldorientierten Regelung über.

Der Gleichfluss der rotierenden Dauermagnete erzeugt den auf den Ständer umgerechneten effektiven Fluss Ψ . In die Richtung dieses Flusses legt man die d-Achse, die mit der Kreisfrequenz

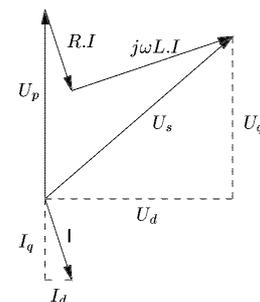


Bild 2: Zeigerdiagramm

des Ständerstroms gegenüber dem statorfesten α - β -Koordinatensystem rotiert. Da der magnetische Fluss im Luftspalt ausschließlich durch die Permanenterregung aufgebaut wird, weist der Raumzeiger der Ständerströme keine flussbildende Komponente auf. Der zeitabhängige Umlaufwinkel γ gibt auch die momentane Stellung der rotierenden d-Achse gegenüber der statorfesten α -Achse an. Vernachlässigt man den ohmschen Ständerwiderstand, so liegen Ständerstrom und Ständerspannung in Phase, d.h. der Leistungsfaktor an den Maschinenklemmen ist näherungsweise 1.

Zur Erzeugung einer höheren Nutzspannung wird die Raumzeigermodulation gewählt. Es ist ein Schaltverfahren, das minimale Schaltverluste ermöglicht und den in **Bild 3** dargestellten zeitlichen Verlauf der Leiterspannungen moduliert. Durch diese Spannungsform entsteht eine höhere Leiter-Leiter-Spannung als bei konventioneller Sinus-PWM.

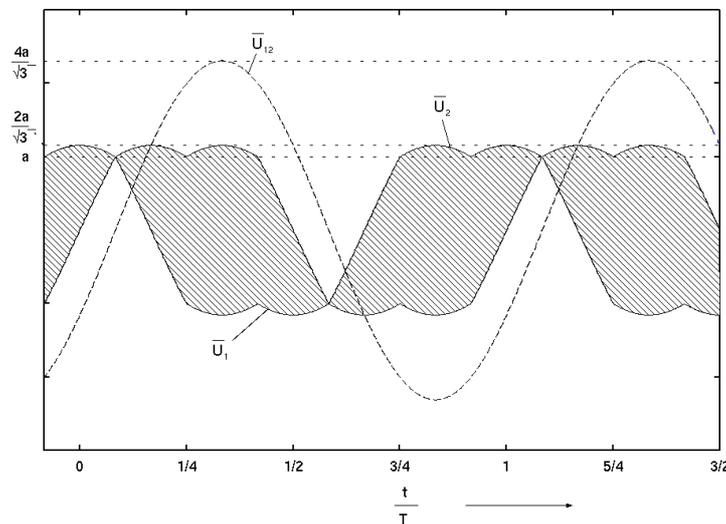


Bild 3: Phasenspannungen und deren Differenz (Leiter-Leiter)

Die feldorientierte Regelung benötigt eine relativ hohe Rechenzeit, da die rotierenden Größen, um sie im Regelkreis zu benutzen, zunächst umgewandelt werden müssen und anschließend die Stellgrößen zurückgewandelt werden müssen (**Bild 4**).

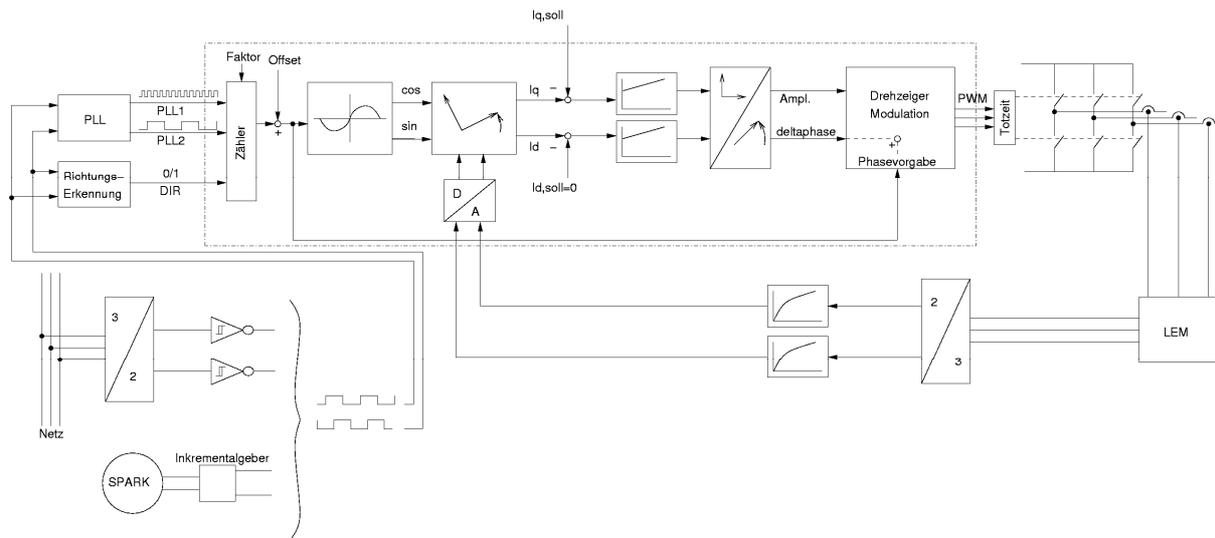


Bild 4: Gesamt-Flussdiagramm des Regelkreises

Über den Strom in der Maschine wurde auf eine konstante Zwischenkreisspannung von 650V geregelt, entsprechend einer Kaskadenregelung, die vereinfacht wurde, indem der Stromregelkreis durch Umkehrung der Regelrichtung des äußeren Kreises ersetzt wurde (**Bild 5**).

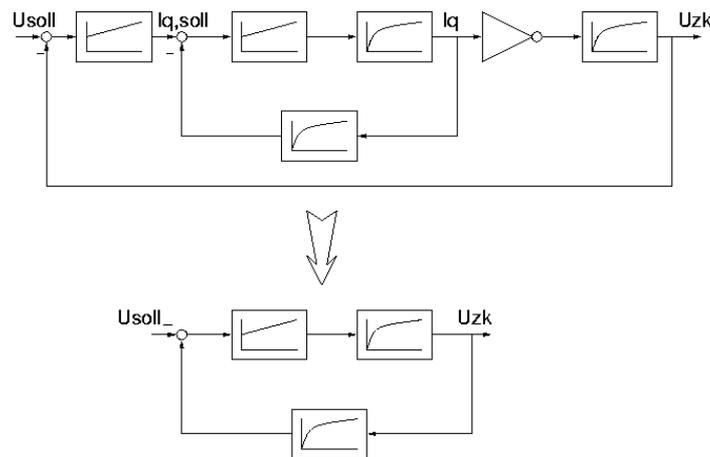


Bild 5: Vereinfachung des Maschinenregelkreises

Messungen im Betrieb zeigten eine sehr wellige Netzstromform, deren Ursache die zu geringe Rechengeschwindigkeit des benutzten Mikrocontrollers (C167) war, der nicht schnell genug auf Spannungsschwankungen der oberwellenbehafteten Netzspannung reagieren konnte. Ein weiterer Nachteil dieser langsamen maschinenseitigen Regelung ist die verzögerte Reaktion auf schnelle Schwankungen in der Einspeiseleistung durch Windböen.

2.2 Direkte Stromregelung

In diesem Verfahren werden alle drei Ströme mit Hilfe dreier Analogregler direkt am „Ort des Geschehens“ geregelt. Das hat den Vorteil, dass die Regelung sehr schnell ist und entsprechend rasch auf Schwankungen reagieren kann. Die Sollgrößen kommen aus dem Mikrocontroller in Form gefilterter PWM-Signale (Tiefpass an der Maschine und Bandpass für 50Hz am Netz).

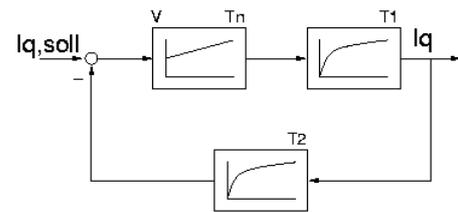


Bild 6: Stromregelkreis

Das Stellglied ist ein Komparator, der die Stellgröße mit einem Dreieckssignal vergleicht und so die Schaltfolgen für die IGBTs erzeugt (Analoge PWM-Erzeugung).

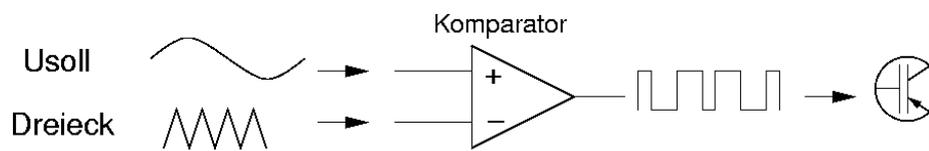


Bild 7: Analoge PWM-Erzeugung

Die Regelung der Zwischenkreisspannung auf der Maschinenseite erwies sich als nachteilig, da Windböen in erster Linie eine Überhöhung der Spannung bewirken, was sich negativ auf die Dynamik des Regelkreises auswirkt. Die Lösung bestand darin, die Zwischenkreisspannung durch den netzseitigen Wechselrichter zu regeln. Aufgrund der gegenüber der Maschine deutlich schnelleren Regelstrecke konnte so eine relativ konstante Zwischenkreisspannung realisiert werden. Auf der Maschinenseite wird die Leistung nach der in **Bild 8** dargestellten Leistungs-Drehzahl-Kennlinie entzogen und durch die Spannungsregelung des netzseitigen Wechselrichters ins Netz eingespeist.

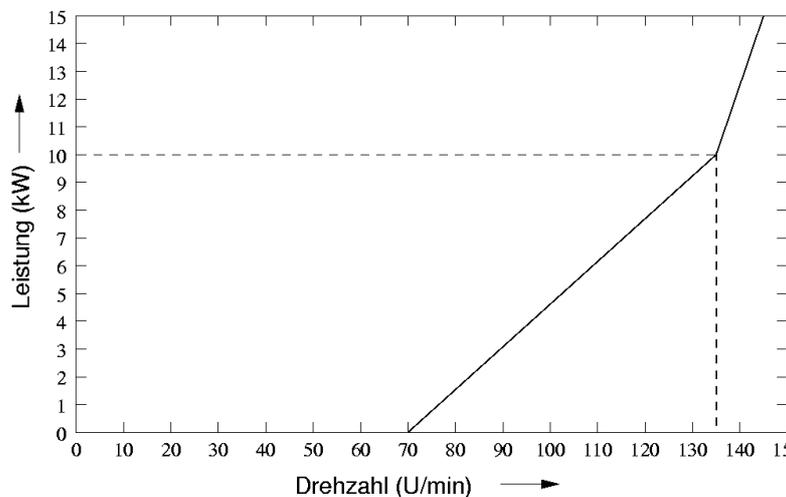


Bild 8: Leistungs-Drehzahl-Kennlinie

Der Verlauf der Kennlinie, der auf den Datenblattangaben für die Rotorblätter basiert, stellt sicher, dass dem Rotor die maximale Leistung entnommen wird. Das sogenannte Stallverfahren, bei dem bei hohen Drehzahlen die entzogene Leistung stärker zunimmt, bewirkt sowohl eine Leistungs- als auch eine Drehzahlbegrenzung.

3 FAZIT

Da die feldorientierte Regelung eine höhere Spannungsausnutzung ermöglicht, reduziert sich bei gleicher Leistung der Maschinenstrom, sodass geringere stromproportionale Verluste anfallen bei gleichzeitig verminderter Erwärmung. Dieses Verfahren ermöglicht also einen besseren Wirkungsgrad als die direkte Stromregelung. Nachteilig ist jedoch der hohe Rechenaufwand für den Mikrocontroller, dessen Leistungsfähigkeit das dynamische Verhalten der Regelung begrenzt. Eine direkte Stromregelung, bei der die Regler analog aufgebaut sind, ermöglicht dagegen nahezu sinusförmige Ströme, was maschinenseitig zu verringerter Geräuschemission und netzseitig zu verringerter Oberwellenbelastung führt. Nachteilig sind mögliche Ungenauigkeiten der analogen Regler, da Toleranzen sowie Erwärmung/Alterung der passiven Bauelemente zu Ungleichmäßigkeiten in den Betriebsgrößen führen können.