

Multivariable Control of MMC-fed Induction Machine Drives

Moritz Sebastian Spichartz

Kurzfassung der Dissertation:

Die Auswahl einer passenden Umrichtertopologie spielt eine entscheidende Rolle beim Entwurf eines elektrischen Mittelspannungsantriebs. In Hochleistungsantrieben mit langen Kabeln können Überspannungen an den Maschinenanschlüssen durch Reflexion von leistungselektronisch geschalteten Spannungspulsen auftreten, die die Isolation der Motorwindungen nachhaltig schwächen und sogar zerstören können. Zusätzliche Ausgangsfilter sind kostenintensiv und reduzieren die Drehmomentdynamik des Antriebs, weshalb der Einsatz von Multilevelumrichtern empfehlenswert oder sogar unumgänglich ist.

Der selbstkommutierende Modulare Multilevelstromrichter (engl. Modular Multilevel Converter, MMC) ermöglicht durch die einfache Kaskadierung von seriell geschalteten Submodulen eine hohe Anzahl an Ausgangsspannungsstufen bei gleichbleibender Komplexität in der Konstruktion. Das Potenzial dieser Topologie wird bereits erfolgreich bei HGÜ-Netzkupplungen mit konstanter Frequenz im Hochspannungsbereich genutzt.

Die besonderen Herausforderungen für den Einsatz des MMC in einem drehzahlvariablen Antrieb sind die hohen Anforderungen an das Echtzeitregelungssystem sowie die Implementierung eines passenden Mehrgrößenreglers. Die Regelung muss die Maschinenströme regeln und gleichzeitig die Spannungen der Submodule ausbalancieren, deren AC-Spannungsschwankungen topologiebedingt mit niedrigen Ausgangsfrequenzen steigen und nur durch die Injektion von zusätzlichen Kreisströmen im Stromrichter beherrschbar sind. Am Beispiel eines 17-Level-MMC mit jeweils acht Submodulen pro Zweig, der eine 3,9-MW 4,16-kV Induktionsmaschine speist, werden folgende Aspekte im Detail untersucht und ausgearbeitet:

Die sehr hohe Anzahl an I/O-Signalen zur Ansteuerung der IGBTs und zur Erfassung aller notwendigen Messwerte wird durch das Co-Design einer zeitlich sequenziell arbeitenden CPU zur Ausführung der Regelungsalgorithmen und parallel arbeitenden FPGAs in Master-Slave-Architektur zur Wahrung der Echtzeitfähigkeit beherrscht. Ein PC-basiertes Regelungssystem und die Weiterentwicklung zu einem industrietauglichen, modular aufgebauten Embedded System werden vorgestellt.

Bewährte stator- und rotorflussorientierte Regelungsverfahren für Induktionsmaschinen werden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für MMC-gespeiste Antriebe untersucht und erweisen sich nicht als optimale Lösungen. Daher wird eine neuartige Mehrgrößenregelung mit Zustandsrückführung und integrierter Vorsteuerung (engl. Multivariable State Control, MSC) eingeführt, die sich an den topologiebedingten Besonderheiten des MMC orientiert.

Als Gesamtregelung des MMC-Antriebs wird eine Kaskadenregelung mit unterlagerter Maschinenregelung MSC und überlagerter Ausgleichsregelung der gespeicherten Energien in den Submodulen des MMC, unterstützt durch zusätzliche zirkulierende Zweigströme bei niedrigen Ausgangsfrequenzen, vorgeschlagen. Simulationsergebnisse bestätigen das exzellente stationäre und dynamische Regelungsverhalten im gesamten Drehzahlbereich.