

Zusammenfassung

Entscheidende Kriterien für elektrische Antriebe in automobilen Traktionsapplikationen sind Wirkungsgrad und Leistungsdichte. Bedingt durch die fortschreitende Entwicklung von Seltenerd-Permanentmagnetmaterialien wie *NdFeB* oder *SmCo* mit immer höheren Energiedichten weisen Permanentmagnet-Synchronmaschinen (PMSM) diesbezüglich hervorragende Eigenschaften auf. Sehr hohe Wirkungsgrade bzw. Leistungsdichten werden mit so genannten Interior PMSM (IPMSM) erzielt, bei denen die Permanentmagnete in die Rotorstruktur eingelassen sind. IPMSM sind daher mittlerweile der dominierende Maschinentyp in diesem Anwendungsbereich. Im Gegensatz zu Asynchronmaschinen (ASM), die seit Jahrzehnten in Traktionsantrieben zum Beispiel in Schienenfahrzeugen im Einsatz sind, sind die Erfahrungen mit PMSM in Traktionsanwendungen aber noch eher gering.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der wirkungsgradoptimierten Drehmomentregelung bzw. -steuerung hoch ausgenutzter IPMSM-Antriebe unter traktionstypischen Randbedingungen. Hierzu zählen der weit gespreizte Drehzahlbereich, der sowohl einen Betrieb im Ankerstell- wie auch im Flusschwäcbereich erfordert, und die speziellen Eigenschaften von Maschine und Wechselrichter wie Eisen-Sättigungseffekte, nichtsinusförmige EMK und kleine minimale Pulszahl. Die Regelungsstruktur muss zwei Aufgaben erfüllen:

Zunächst ist der Arbeitspunkt zu bestimmen, in dem der Antrieb unter den gegebenen Randbedingungen möglichst wirkungsgradoptimal betrieben wird. Zu diesem Zweck wird eine Arbeitspunktsteuerung hergeleitet und verifiziert, die Arbeitspunkte identifiziert, in denen das geforderte Drehmoment bei gegebener Drehzahl und Zwischenkreisspannung mit einem Stromzeiger minimaler Länge (Maximum Torque per Current) gestellt wird. Übersteigt das geforderte Drehmoment den maximal stellbaren Drehmomentbetrag, so wird es auf den maximal erreichbaren Wert begrenzt.

Darüber hinaus muss der wirkungsgradoptimierte Arbeitspunkt in die elektrische Maschine eingeprägt werden. Dies geschieht durch eine der Arbeitspunktsteuerung unterlagerte Regelungsstruktur. Mit der "Feldorientierten Stromregelung (FOR)" und der "Direct Torque Control (DTC)" werden zwei unterlagerte Regelungsstrukturen betrachtet und miteinander verglichen. Besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Drehmoment- bzw. Leistungsausbeute sowie auf der Drehmomentdynamik in dem für die gesamte Regelungsstruktur kritischen Betrieb im Flusschwäcbereich.