

On-line Verfahren zur energieeffizienten Betriebsweise von hochausgenutzten elektrischen Antrieben

DFG - HO 1483/67-1, 2014 - 2017

Zusammenfassung:

Im Projekt wurden elektrische Fahrzeugantriebe mit permanenterregten Synchronmaschinen mit vergrabenen Magneten und mit Käfigläufer-Asynchronmaschinen untersucht. Diese werden im Fahrzeug klassischerweise drehmomentgesteuert betrieben. Sie arbeiten besonders während Beschleunigungsvorgängen in Überlast und damit im Sättigungsbereich. Die Energieeffizienz der magnetisch hoch ausgenutzten Antriebe hängt von der Wahl der Steuergrößen bei feldorientierter Regelung ab. Eine FEM-Berechnung der Motoren und anschließende modellbasierte Optimierung zeigte, dass die wahren verlustminimalen Steuergrößen durch den hohen Sättigungseinfluss stark von den nominellen Kennlinien abweichen.

In der Praxis ist eine Antriebsregelung gewünscht, die kein genaues, per FEM-Berechnung ermitteltes Maschinenmodell erfordert. Außerdem sind vorab bestimmte Motorparameter immer fehleranfällig zum Beispiel durch Temperaturänderung während des Betriebs. Aus diesem Grund wurden im Projekt Möglichkeiten zur Online-Suche der optimalen Steuergrößen untersucht. Diese bieten das Potenzial selbst bei unbekanntem oder veränderlichen Maschinenparametern den Arbeitspunkt maximalen Drehmoments bei gleicher Höhe des Ständerstroms einzustellen. Als veränderliche Größe wurde der Stromwinkel im feldorientierten Koordinatensystem gewählt.

Für die Online-Optimierung musste zunächst eine Zielfunktion definiert werden, die das Drehmoment aus einer Leistungsbilanz anhand von den in der Regelung verfügbaren Größen schätzt. Dieses Drehmoment-Äquivalent hat nicht den Anspruch, das tatsächliche Drehmoment in der Höhe genau zu bestimmen. Es konnte jedoch messtechnisch für beide Maschinentypen nachgewiesen werden, dass Drehmoment-Äquivalent und tatsächliches Drehmoment ihr Maximum bei gleichem Stromwinkel aufweisen. Anschließend wurde ein Zustandsautomat programmiert, der die Zielfunktion bei Veränderung des Stromwinkels maximiert. Es wurde sich für eine Downhill-Simplex-Suche entschieden. Diese wurde für beide Maschinentypen simulativ mit bereits publizierten Online-Verfahren verglichen und ihre Vorteile aufgezeigt.

Im Falle der Synchronmaschine mit vergrabenen Magneten konvergiert die diskrete Simplex-Suche deutlich schneller zum Punkt maximalen Drehmoments pro Ampere, als eine kontinuierlich arbeitende Suche auf Basis einer Signaleinprägung. Im Falle der Asynchronmaschine ist die Simplex-Suche zwar etwas langsamer als ein vergleichbares Verfahren auf Basis des Goldenen Schnitts. Jedoch finden die Übergänge deutlich sanfter und mit weniger Drehmomentänderungen statt und man muss den Suchraum nicht von vornherein vorgeben.

Für beide Maschinentypen wurde das entwickelte Online-Verfahren im Rahmen einer feldorientierten Regelung am Antriebsversuchsstand umgesetzt und getestet. Die Messergebnisse weisen die korrekte Konvergenz zum vorher manuell bestimmten Punkt maximalen Drehmoments pro Strom nach. Es wird der wahre und sättigungsabhängig optimale Punkt gefunden. Das Online-Verfahren kann nur während konstanter Drehmomentanforderung und nicht während Transienten eingesetzt werden. Die Konvergenzzeit liegt unterhalb von zwei Sekunden für die Synchronmaschine und unterhalb von vier Sekunden für die Asynchronmaschine. Man kann es dazu verwenden, die Antriebsregelung während der Inbetriebnahme selbstlernend auf die Maschine einzustellen. Das

Verfahren setzt keinerlei zusätzliche Hardware voraus, sondern basiert rein auf Software. Aus diesem Grund hat es großes Potenzial in zukünftigen Serienanwendungen eingesetzt zu werden.

Die Ergebnisse wurden publiziert zur IEEE VPPC 2014, IEEE IECON 2015, EPE 2015 und in den IEEE Trans. on VT 2018 sowie in einer Dissertation.