

Dipl.-Ing. Reinhard Ingruber
Institut für Elektrische Maschinen und Antriebstechnik
E-Mail: ingruber@ema.tugraz.at
Tel: 0316 873 7746



Ass.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roland Seebacher
Institut für Elektrische Maschinen und Antriebstechnik
E-Mail: seebacher@ema.tugraz.at
Tel: 0316 873 7247



Wirkungsgradoptimaler Betrieb von Drehfeldmaschinen als Traktionsantrieb im Kraftfahrzeug

Optimizing the Efficiency of AC Machines Driving Motor Vehicles

Die Beschäftigung mit elektrischen Antrieben im KFZ hat am Institut für elektrische Maschinen und Antriebstechnik eine lange Tradition. Die Projekte reichen dabei von einem Elektrotaxi über ein eigens konzipiertes Elektromobil bis zur Untersuchung verschiedener Hilfsantriebe.

Der Bedarf an elektrischer Leistung im KFZ hat sich seit 1970 vervierfacht. Ein Großteil dieses Zuwachses geht auf das Konto elektrischer Antriebe, sowohl für Komfort-Features, als auch für sicherheitsrelevante Komponenten. Dafür kommen sowohl ungeregelte Gleichstrommaschinen, die nur durch Ein- und Ausschalten oder überwacht (z.B. Fensterheber) betrieben werden, als auch geregelte Hilfsantriebe (Aktuator des Verteilgetriebes bei Vierradantrieb) zur Anwendung.

Einen weit größeren Zuwachs an im KFZ umgesetzter elektrischer Energie bringt der elektrische Traktionsantrieb (sowohl als Hybrid, als auch als ausschließlicher Antrieb), in dessen Regelung und Speiseeinrichtung sehr viel Know-How steckt, um die mitgeführte kostbare Energie möglichst effizient zu nutzen. Der Einsatz reicht dabei vom Boost Modus zur Verbesserung der Fahrdynamik (Stichwort aktive Sicherheit) bis zum ausschließlichen Antrieb in umweltsensiblen Situationen (Großstädte bei Smog oder Feinstaubbelastung).

Ausgehend vom Energiespeicher (Batterie oder jetzt aktuell Ultracaps) ermöglicht moderne Leistungselektronik die Versorgung der elektrischen Maschine mit höchster Dynamik. Die rasante Entwicklung der Elektronik sowohl in Hinblick auf Leistungsfähigkeit (mehr Leistung in kleinerem Volumen) als auch der Informationsdichte erlaubt es immer mehr „Berechnung“ auszuführen und neben den Aufgaben der Energieumformung durch den Umrichter auch Regelalgorithmen und Aufgaben der Systembeobachtung zu übernehmen.

Der Wirkungsgrad des gesamten Antriebssystems vom Energiespeicher über den Umrichter (Leistungselektronik zur Einstellung der gewünschten Fahrzeuggeschwindigkeit) bis zum elektrischen Antrieb ist bei beschränktem Energievorrat (Tank, Batterie) unmittelbar erkennbar und von großer Bedeutung. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit einem Automobilhersteller wurde daher eine Regelungsstrategie für den energieeffizienten Betrieb einer Asynchronmaschine als Traktionsantrieb entwickelt, mit dem Ziel, Verluste im Umrichter und in der elektrischen Maschine zu minimieren.

Erstere setzen sich bei vorgegebener Batteriespannung aus den Schalt- und den Durchlassverlusten zusammen. Zweitere werden durch den Strom in den Wicklungen verursacht und durch die Ummagnetisierung des Eisens, das wegen der guten magnetischen Leitfähigkeit zur Flussführung verwendet wird.

Abb. 1 zeigt als Ergebnis einer solchen Untersuchung die Regelkennlinien für bestmöglichen Wirkungsgrad bei unterschiedlichem Drehmoment. Die Komplexität des regelungstechnischen Konzeptes wird deutlich, wenn man sich vor Augen führt, dass je nach gewünschtem Betriebspunkt spricht dem Wertepaar Drehmoment, Drehzahl eine andere Kombination aus magnetischem Fluss (ψ_s) und Strom (i_{sq}) zum besten Wirkungsgrad führt.

Der Fluss ergibt sich bei der Asynchronmaschine aus Drehzahl, Ständerfrequenz und Strom, bei der Permanentmagnet-Synchronmaschine hängt er vom Strom und der Temperatur der Magnete ab. Da der Fluss nicht als Messgröße zur Verfügung steht, muss er in der Regelstruktur anhand eines mathematischen Modells der Maschine online berechnet werden. Die Veränderung der Eigenschaften der Maschine aufgrund von Erwärmung und betriebspunktabhängiger Sättigung des Eisens erfordern eine Nachführung der Parameter des Maschinenmodells.

Die entwickelte Methode der Parameternachführung ermöglicht

zusätzlich eine exakte Einstellung des gewünschten Drehmoments bis zu niedrigsten Drehzahlen.

Ergebnis der Untersuchung ist ein Algorithmus, der zu jedem Betriebspunkt, bestimmt durch Moment und Drehzahl, die wirkungsgradoptimale Kombination aus magnetischem Fluss und Strom einstellt. Die entwickelte Methode zur Parameternachführung gewährleistet eine vom Betriebspunkt unabhängige Dynamik der Drehmomentregelung.

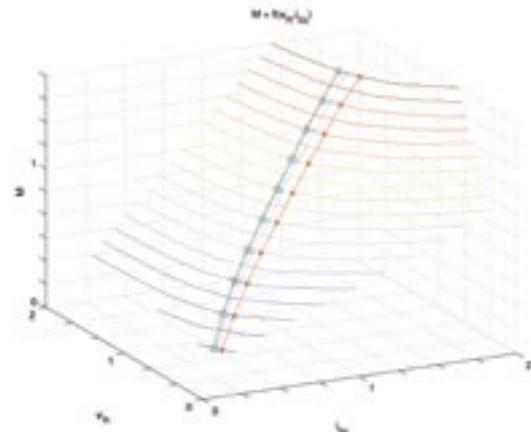


Abb. 1: Regelkennlinie für optimalen Wirkungsgrad

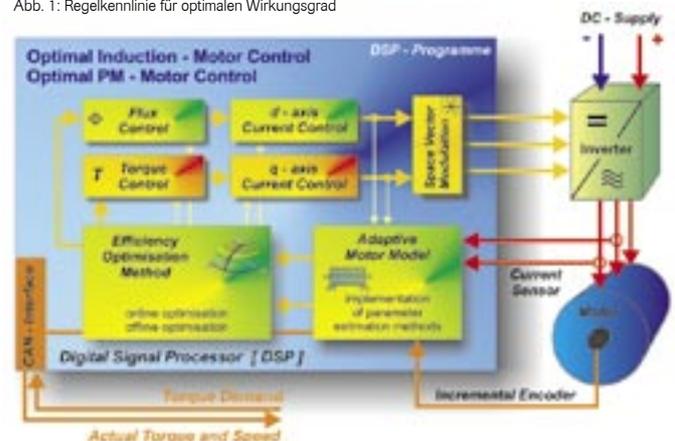


Abb.2

Optimizing the Efficiency of AC Machines Driving Motor Vehicles

Due to the large amount of electric drives (e.g. window lift, gearbox, ...) in cars the electric power consumption is rapidly increasing. Additionally, electric traction also requires much electric power. Current research at the Institute of electric machines and drives in co-operation with automotive industry covers the field of improving the efficiency of these traction drives. In addition to a proper design of the electrical machine an appropriate control strategy is necessary to grant optimal efficiency. The increasing computational power of digital signal processors allows the implementation of sophisticated control algorithms. Most of these control strategies operate with a model based approach. In order to cope with the changing behaviour of the electrical machine (due to heating up and varying saturation of iron) an online parameter adaptation is necessary and has been developed. Apart from a major improvement in efficiency the new algorithm results in extremely powerful torque control and extraordinary dynamics which does not depend on the current operating point.