

Effizienz- und Kostenoptimierung elektrischer Antriebe

Frisch gewickelt



Elektrischen Traktionsantrieben für die Elektromobilität gehört die Zukunft, wenn es gelingt, ihren Wirkungsgrad und damit die (derzeit noch begrenzte) Reichweite eines Batteriefahrzeuges zu erhöhen. Außerdem ist neben dieser Verlustoptimierung die Reduktion der Kosten erforderlich, um den Kunden für alternative Antriebe in Kraftfahrzeugen zu gewinnen. Dieser Beitrag zeigt, wie diese Ziele durch eine alternative Wicklung erreicht werden können.

Die Bedeutung elektrischer Antriebe im Antriebsstrang von Kraftfahrzeugen wächst ständig. Der Start-Stopp-Betrieb des Verbrennungsmotors wird zum Standard und nahezu jeder Automobilhersteller hat inzwischen Hybrid-Fahrzeuge im Angebot. Zudem wird intensiv an reinen Elektrofahrzeugen gearbeitet.

Entscheidend für die Auslegung solcher Fahrzeuge ist aber, dass in typischen Fahrzyklen der Antrieb fast ausschließlich im Teillast-Betrieb genutzt wird. Dies verdeutlicht Bild 1: In der Drehmoment-Drehzahl-Ebene sind typische Betriebspunkte eingezeichnet, wobei die Betriebspunkte mit einer Leistung von 125kW und 100kW praktisch nicht im Zyklus angefahren werden. Es wird also deutlich, dass

der elektrische Antrieb hauptsächlich in Teillast bei unter 20% der Nennleistung betrieben wird.

Vergleich von Wicklungen mit verteilten und konzentrierten Spulen

Im Laufe der Entwicklung haben sich für Drehstrommaschinen Statorwicklungen mit verteilt angeordneten Spulen als technisch sehr günstig herausgestellt (Bild 2a). Der wesentliche Grund dafür liegt in der Art der Wicklungsgestaltung, die dazu führt, dass im Luftspalt der Maschine ein weitgehend sinusförmiges Magnetfeld erzeugt wird. An Bild 2a wird aber auch schon der Nachteil dieser Wicklungsart deutlich: Die ausladenden Wickelköpfe führen dazu, dass

- die Maschine in axialer Richtung recht lang wird,
- hohes Kupfergewicht und hohe Kupferkosten anfallen und
- erhöhte Ohmsche Verluste im Wickelkopf auftreten.

Diese Nachteile können beseitigt werden, indem eine Wicklung mit konzentrierten Spulen verwendet wird (Bild 2b). Allerdings entsteht so der gravierende Nachteil, dass das Luftspaltfeld eine große Anzahl Harmonischen mit hoher Amplitude enthält. Diese führen zu erhöhten Rotorverlusten (im Eisen und in den Permanentmagneten) [1]* und regen Kraftwellen an, die zu unerwünschten Geräuschen führen [2]*. Deshalb haben sich solche Wicklungen bisher im Automobilbereich für Traktionsanwendungen nicht durchgesetzt.

Optimierung von Wicklungen mit konzentrierten Spulen

In Bezug auf den Wirkungsgrad der elektrischen Maschine ist es nun vor allem erforderlich, die Harmonischen des Luftspaltfeldes zu eliminieren, die für die Verluste im Rotor verantwortlich sind. Dies gelingt mit Hilfe einer neuen Art von konzentrierten Spulen, bei welchen die letzte Windung nur halb um den Zahn gelegt wird [3]*. Bei geschickter Anordnung können diese Rotorverluste weitgehend vermieden werden. Einen beispielhaften Vergleich zeigt Bild 3: Dargestellt sind die Wirbelstromverluste eines Rotorschnittes einer solchen Maschine; die Berechnung der Wirbelstromverluste erfolgte wie in [3]* beschrieben und wurde mit ANSYS durchgeführt. Bild 3 zeigt im selben Maßstab die Wirbelstromverluste bei einer konventionellen (3a) bzw. neuartigen (3b) Wicklung mit konzentrierten Spulen. Sehr deutlich sind die Verbesserungen zu erkennen.

Hinsichtlich der Vermeidung von Geräuschen bei Wicklungen mit konzentrierten Spulen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, siehe z.B. [4]*.

Auswirkungen auf den elektrischen Antriebsstrang eines E-Fahrzeuges

Vergleicht man ein solches neues Motordesign (Wicklung mit konzentrierten Spulen und reduzierten Rotorverlusten) mit einem Standard-Traktionsmotor (Wicklung mit verteilten Spulen), so erkennt man insbesondere im Teillast-Bereich eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrades [5]*.

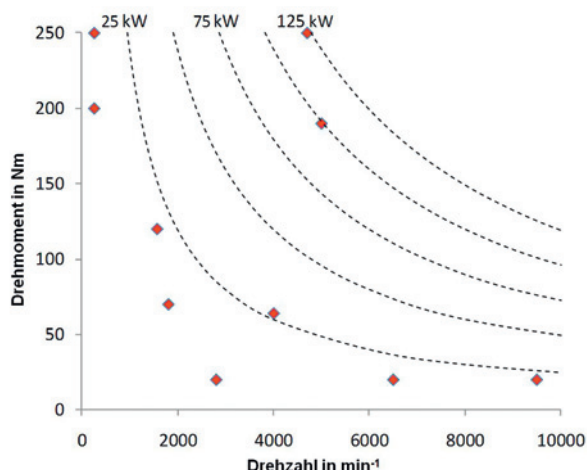


Bild 1: Typische Betriebspunkte von Elektrofahrzeugen in der Drehmoment-Drehzahl-Ebene.

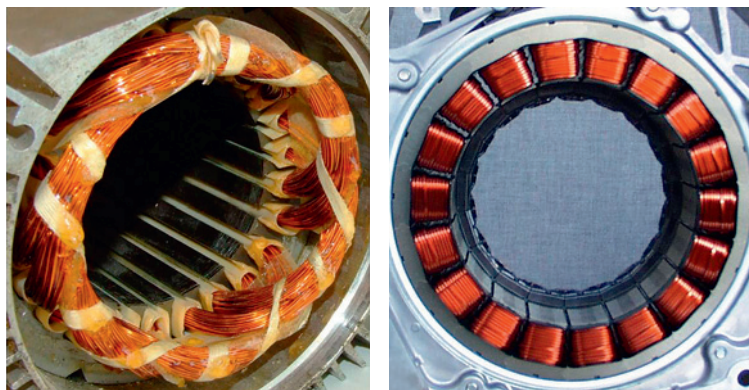


Bild 2: Wicklungsarten für Drehstrommaschinen: a) mit verteilten Spulen; b) mit konzentrierten Spulen.

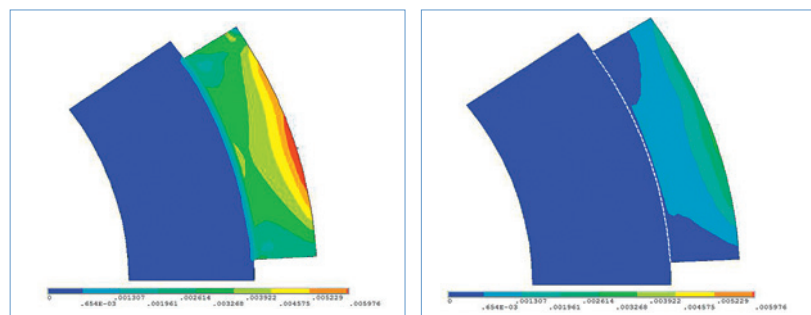


Bild 3: Wirbelstromverluste in Oberflächenmagneten: a) konventionelle Wicklung b) optimierte Wicklung

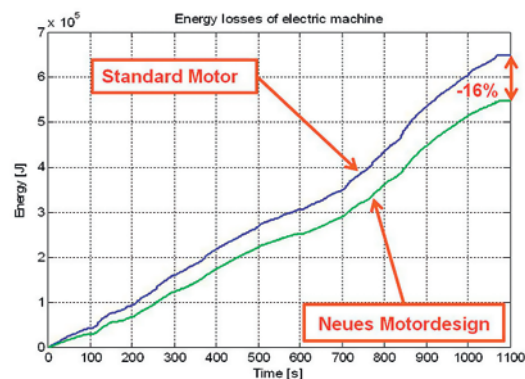


Bild 4: Kumulierte Energieverluste im Elektromotor während eines typischen Fahrzyklus für zwei alternative Motordesigns.

Diese Vorgehensweise ist eine extrem kostengünstige Möglichkeit zur Verlust- und Kostenreduktion.

Diese macht sich dann auch in einer deutlichen Verlustreduktion während eines typischen Fahrzyklus bemerkbar. In Bild 4 ist eine solche Fahrzyklussimulation für ein typisches E-Fahrzeug bezüglich der kumulierten Verluste im Elektromotor ausgewertet. Es zeigt sich eine deutliche Energieeinsparung gegenüber heutigen Lösungen. Da diese eingesparte Energie nun auch nicht über den Wechselrichter übertragen werden muss, ergeben sich in dieser Leistungselektronik zusätzliche Verlusteinsparungen.

Das verbesserte Wicklungsdesign ist praktisch ohne Zusatzkosten in der Produktion realisierbar, bei gleichzeitiger Ma-

terialeinsparung gegenüber Wicklungen mit verteilten Spulen. Zusätzlich entstehen geringere Verluste, was die Kühlung vereinfacht. Der Wechselrichter muss weniger Leistung übertragen, was zu einem geringeren Stromniveau und zu vereinfachter Kühlung führt. Die nicht in Verluste umgesetzte elektrische Energie führt – bei gleicher Reichweite – zu einer entsprechend kleineren Batterie. Alle Komponenten des elektrischen Antriebsstranges werden also kostengünstiger. Eine vorsichtige Abschätzung ergibt eine Kostenreduktion des elektrischen Antriebsstranges um circa 6%, bei gleichzeitig verbesserten technischen Eigenschaften.

Mit dieser extrem kostengünstigen Möglichkeit zur Verlustreduktion ist die Realisierung verbesserter technischer Eigenschaften bei gleichzeitiger Kostenreduktion gegenüber heutigen Standard-Motoren möglich. Zu beachten ist, dass entsprechende Teillast-Betriebspunkte auch in anderen Branchen eine ähnlich hohe Bedeutung wie im Automobilbereich haben, z.B. bei Pumpen- und Lüfterantrieben oder in Haushaltsanwendungen.

InfoAutor

Prof. Dr.-Ing Dieter Gerling, Dipl.-Ing. Klaus Mühlbauer, Universität der Bundeswehr München/Neubiberg, Institut für Elektrische Antriebstechnik
Dr.-Ing Gurakuq Dajaku, FEAAM GmbH, Neubiberg
Dieter.Gerling@unibw.de
www.unibw.de/EAA

InfoVerwendete Software: ANSYS Mechanical

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Udo Killat, CADFEM GmbH
Tel. +49 (0)892-7005-23
ukillat@cadfem.de

InfoLiteratur

* www.cadfem.de/infoplaner