

ACCM

Austrian Center of Competence in Mechatronics

Programm: COMET – Competence Centers for Excellent Technologies

Programmlinie: K2-Zentren

High Performance Brushless Drives, 01/2013 – 12/2017, multi-firm

Neue Methode zur Berechnung von Eisenverlusten mit signifikant besserer Genauigkeit

Kurzfassung. Die exakte Bestimmung der Verluste in weichmagnetischen Materialien ist wesentlich für eine genaue Wirkungsgradberechnung von elektrischen Maschinen. Heutzutage verwendete Methoden basieren auf einer Modellierung im Frequenzbereich. Das führt bei großen Amplituden und nicht-sinusförmigen Verläufen der Flussdichte zu erheblichen Ungenauigkeiten. Die Modelle sind daher für hochausgenutzte elektrische Maschinen denkbar ungeeignet. Ein neuer Modellierungsansatz wurde jüngst am Linz Center of Mechatronics (LCM) entwickelt. Dabei wurde ein Ansatz im Zeitbereich verfolgt. Während Messaufwand und Modellkomplexität vergleichbar sind, ist die Genauigkeit um eine Größenordnung verbessert worden.

Exakte Eisenverlustberechnung ist wesentlich für das Design elektrischer Maschinen

Jüngste Entwicklungen im Bereich der Mathematik und Informatik haben den elektrischen Maschinenentwurf grundlegend verändert. Es stehen ausgeklügelte Optimierungsalgorithmen und numerische Techniken zur Berechnung und Modellierung zur Verfügung. Eine typische Optimierungsaufgabe im Bereich elektrischer Maschinen umfasst heutzutage meist die automatisierte Untersuchung mehrerer tausend Designs. Um die Laufzeit dabei auf einem erträglichen Maß zu halten, werden rechenintensive Operationen auf Computer-Cluster ausgelagert.

Neben der Optimierung der technischen Eigenschaften von elektrischen Maschinen sind auch die Herstellkosten meist als Zielgröße in Optimierungsproblemen inkludiert. Dies hat zur Folge, dass als Ergebnis meist sehr kompakte hochausgenutzte Anordnungen erzielt werden. Die eingesetzten weichmagnetischen Materialien werden deshalb sehr hohen Flussdichten

ausgesetzt und der zeitliche Flussdichteverlauf in der elektrischen Maschine divergiert im größten Bereich stark von der Sinusform.

Die zeitliche Änderung der Flussdichte in weichmagnetischen Materialien bewirkt sowohl Hysterese- als auch Wirbelstromverluste. Deren genaue Berechnung ist wesentlich, um in Folge auch den Wirkungsgrad einer elektrischen Maschine exakt bestimmen zu können.

Die aktuell eingesetzten Methoden basieren auf Ansätzen, die schon vor sehr langer Zeit entwickelt wurden. Damals wurde der Schwerpunkt auf eine sinusförmige Änderung der Flussdichte mit der Zeit gelegt. Auch wenn heutzutage diese Modelle um Korrekturfaktoren erweitert werden, so ist die Genauigkeit weiterhin nicht zufriedenstellend für Ingenieure.

Neue Modellierung mit deutlich höherer Genauigkeit bei vergleichbarer Komplexität

Aufgrund der Nachteile bestehender Modellierungsarten haben sich Forscher am LCM daran

gemacht, eine neue Berechnungsmethode zu entwickeln, bei der die Modellierung im Zeitbereich erfolgt. Dies ermöglicht die direkte Berücksichtigung nichtlinearer Materialeigenschaften und nicht sinusförmiger Flussdichteverläufe. Modellierungen im Zeitbereich wurden auch schon in der Vergangenheit untersucht. Allerdings waren sie aufgrund der hohen Komplexität und dem höheren Messaufwand nicht sinnvoll anwendbar. Die hier entwickelte Methode weist diese Nachteile nicht auf. Der Messaufwand ist vergleichbar mit aktuell gängigen Verfahren. Anstatt sinusförmiger Flussdichteverläufe werden zur Modellierung Dreieckssignale verwendet, wie in Abbildung 1 dargestellt. Das daraus berechnete Modell benötigt wenig Speicherplatz und bei der Auswertung auch einen geringen Rechenaufwand.

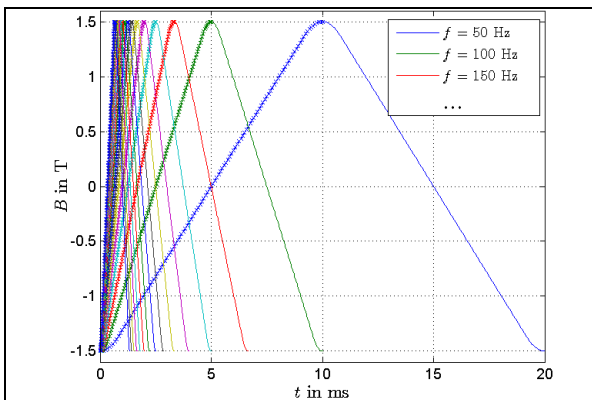


Abb. 1: Flussdichteverläufe, die für die Erstellung des nichtlinearen Modells verwendet werden



Wirkungen und Effekte

Das entwickelte Verfahren zur Eisenverlustberechnung hat großes Interesse im wissenschaftlichen Bereich erregt, nachdem es in dem renommierten Journal IEEE Transactions on Industrial Electronics erstmals vorgestellt wurde.

Darüber hinaus wurden auch Ingenieure aus der Praxis binnen kurzer Zeit aufmerksam und sie sind sehr interessiert daran, das Verfahren für ihre alltäglichen Aufgaben im Bereich der Modellierung und Optimierung von elektrischen Maschinen einzusetzen.

Sowohl Wissenschaftler als auch Ingenieure sind im Speziellen von einer Eigenschaft der entwickelten Technik angetan. Während aktuelle Modelle bei hohen Flussdichteamplituden und Frequenzen eine verminderte

Genauigkeit aufweisen, steigt diese bei der entwickelten Methode sogar an. Das ist ein wesentlicher Vorteil, da Eisenverluste überproportional mit diesen Parametern steigen. Somit wird durch dieses Verfahren eine exakte Berechnung von Maschinen mit hoher Drehzahl und hohem Ausnutzungsgrad erst ermöglicht.

In Abbildung 2 wird die Verifikation der Methode für periodische Flussdichteverläufe mit mehreren überlagerten Frequenzen vorgestellt. Man erkennt eine gute Übereinstimmung der Modellierungsergebnisse mit gemessenen zeitlichen Verläufen bei den dargestellten Hysteresen. Dies ermöglicht eine sehr exakte Bestimmung der Eisenverluste, während aktuell eingesetzte Modelle Berechnungsfehler von zirka 30% aufweisen.

Im Bereich der Eisenverlustberechnung wird aktuell sehr viel Forschung betrieben. Elektrotechnikingenieure begeistert bei dieser Methode zusätzlich, dass das Verfahren exakt auf die Anforderungen im Bereich elektrischer Maschinen hin entwickelt wurde. Die Messungen können mit gängigen Messanordnungen und vergleichbarem Messaufwand durchgeführt werden. Das Verfahren wurde auf Basis physikalischer Grundlagen entwickelt und ist somit technisch nachvollziehbar. Zusätzlich ist im Gegensatz zu in letzter Zeit entwickelten Verfahren die hier präsentierte Technik auch noch einfach in gängige Finite Elemente Software integrierbar.

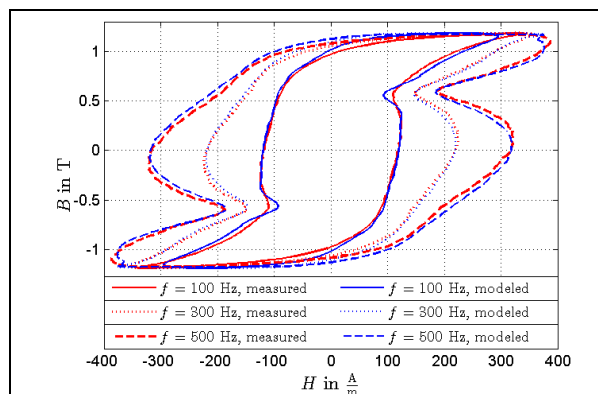


Abb. 2: Vergleich von Simulations- und Messergebnissen bei mehreren überlagerten Frequenzen

Die Forscher des LCM sind sehr erfreut über das große Interesse und sehen den vielfachen Einsatzmöglichkeiten des Modells für praktische Aufgabenstellungen schon mit viel Freude entgegen.

Weitere Informationen zu COMET – Competence Centers for Excellent Technologies: www.ffg.at/comet

Diese Success Story wurde von der Zentrumsleitung zur Verfügung gestellt und zur Veröffentlichung auf der FFG-Website freigegeben. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die FFG keine Haftung.

