

Pedelec-antrieb

2011 – 2016

Zusammenfassung:

Das Projekt befasst sich mit einer besonderen Bauart der permanenterregten Axialflussmaschine, die unter dem Kürzel TORUS-N-N bekannt ist. Diese soll als Mittelantrieb in einem Pedelec zum Einsatz kommen. Aus der Ableitung der Antriebsanforderungen folgen Überlegungen zur Definition eines Bemessungspunktes, aus dem die elektromagnetische Beanspruchung des aktiven Bereiches hervorgeht. Das Grundwellenmodell der PMSM gestattet die Grundgleichungen für die analytische Modellierung herzuleiten. Da die Bauart infolge der Oberflächenmagnete einen Vollpolcharakter aufweist, gibt das MTPA-Kriterium stets einen reinen q -Strom vor. Die dadurch entstehende Proportionalität zwischen Strom und Drehmoment führt auf die Definition des Kupferverlustkoeffizienten, der durch Multiplikation mit dem Quadrat des effektiven Drehmoments die Stromwärmeverluste bestimmt. Es wird erkannt, dass die Minimierung des Kupferverlustkoeffizienten bei konstant gehaltenen Außenabmessungen bereits ein geeignetes Auslegungskriterium für Direktantriebe darstellt.

Es werden Details zum anvisierten Fertigungsverfahren erarbeitet, welches auf einer Zusammensetzung des Statoreisens aus Einzelsegmenten beruht. Als Besonderheit erweist sich die Randbedingung, dass zwischen den Einzelsegmenten jeweils ein Spaltmaß von 0,8 mm vorzusehen ist. Der Wert entstammt Prozessvorgaben für das Kunststoffspritzgießen, welches sämtliche Statorsegmente zusammenfügen soll. Aus der räumlichen Trennung resultiert eine Führung des PM-Flusses entlang der Weicheisenpfade, da die dazwischenliegenden Spalte Flussbarrieren darstellen. Daraus folgt die Idee zur Gestaltung von H-förmigen Segmenten, welche innerhalb einer TORUS-N-N-Maschine eine Konzentration des PM-Flusses bewirken. Obwohl jedes H-Segment vier Einzelzähne besitzt, genügt zur Bewicklung eine einzige Jochspule. Im Vergleich zu konventionellen Zahnspulen bedeutet das eine deutliche Reduktion des Wickelaufwandes. Die nachfolgende analytische Modellierung der Maschine konzentriert sich zunächst auf die Grundbauform einer Axialflussmaschine. Nach der Herleitung einer Drehmomentbeziehung erfolgt der Übergang auf die TORUS-Maschine, der geringfügige Änderungen der beschreibenden Gleichungen nach sich zieht. Auf Basis empirischer Werte für die elektromagnetischen Beanspruchungsgrößen wird gezeigt, dass das vorgegebene Volumen zur Generierung des Bemessungsdrehmomentes ausreicht. Ferner wird eine alternative Bauweise der segmentierten TORUS-Maschine, der N-S-Typ, aufgegriffen und mit der anvisierten N-N-Bauweise verglichen. Die Gegenüberstellung basiert auf analytischen Beziehungen, welche die Statorverluste wiedergeben. Es zeigt sich, dass der N-S-Typ weniger Stromwärmeverluste produziert. Ursache dafür ist der Wegfall des Statorjochs. Der eingesparte Platz kommt der Nutfläche zugute, wodurch sich der Strangwiderstand reduziert. Der Effekt überwiegt die Auswirkung des erhöhten Wicklungsfaktors der N-N-Variante. Aus fertigungs-technischer Sicht besitzt dennoch der N-N-Typ die höhere Attraktivität, da er nur die halbe Anzahl an Spulen beinhaltet. Abschließend erfolgt die quantitative Bestimmung des Segmentierungseinflusses bei der N-N-Variante. Es wird erkannt, dass der Spulenfaktor den Effekt der PM-Flusskonzentration quantitativ abbildet. Dessen analytische Bestimmung ist mit Hilfe von Reluktanznetzwerken möglich. Das Vorgehen wird am Beispiel der Lochzahlen $1/5$ und $1/7$ vorgeführt. Es zeigt sich, dass abhängig von der Außengeometrie ein optimales Wertepaar für Nutzahl und Spaltmaß existiert, bei dem der Kupferverlustkoeffizient minimal wird.

Literatur:

Jakob Jung: Konzentration des Permanentmagnetflusses durch Segmentierung des Stators am Beispiel einer Axialflussmaschine in TORUS-Bauart, Hrsg.: Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Hofmann, Dresdner Schriftenreihe zu elektrischen Maschinen und Antrieben, Band 9, 186 Seiten, ISBN 978-3-8440-5153-7, Shaker Verlag, Aachen, April, 2017.

J. Jung, W. Hofmann: Axialflussmaschine mit segmentiertem Stator für den Antrieb eines Elektrofahrrads, Freiburger Kolloquium Elektrische Antriebstechnik, Freiburger Forschungshefte A925 Elektrische Antriebstechnik (ISBN 978-3-86012-556-4), 8 Seiten, Juni, 2017.

J. Jung, W. Hofmann: Flux Focusing Effect within the Segmented Stator of an Axial Flux Machine, GMM-Fachbericht 89: Innovative Klein- und Mikroantriebstechnik, GMA/ETG- Fachtagung, 27.–28. 09 2017 in Saarbrücken, VDE Verlag. Berlin, S. 35 - 40, 2017.

J. Jung, W. Hofmann: Comparison of two Concentrated Winding Topologies applied on an Axial Flux Permanent Magnet Machine, European Power Electronics and Applications - EPE, Geneva, Switzerland, 2015.