



Matthias Schneider

Diplomand	Matthias Schneider
Examinator	Prof. Dr. Jasmin Smajic
Experte	Prof. Dr. Petr Korba, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Winterthur, ZH
Themengebiet	Angewandter Elektromagnetismus: Felder und Wellen

## Statorentwicklung einer PM-Synchronmaschine mit Hairpin Wicklungsverfahren

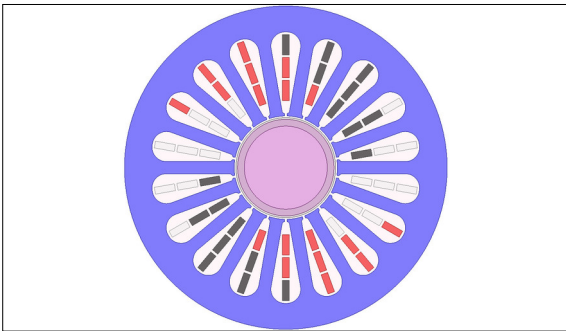


Abb. 1: 2D Modell des Stators mit Windungen und Rotor

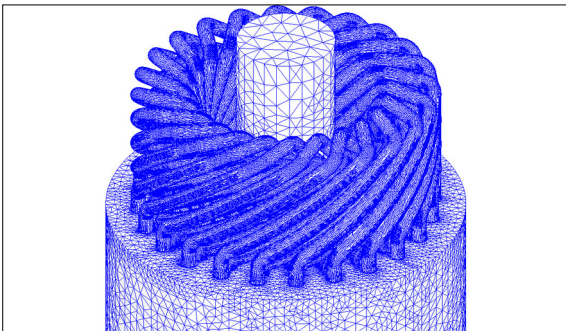


Abb. 2: Oberflächen 3D Mesh des Modells, das zum Bestimmen der Streuinduktivität verwendet wurde

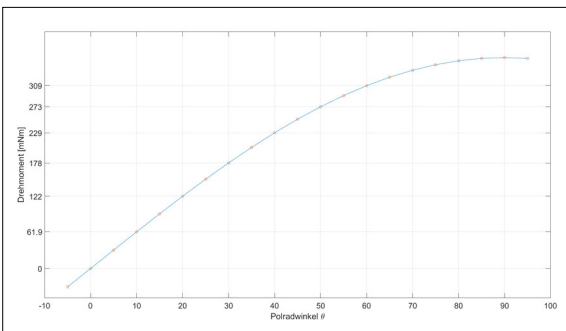


Abb. 3: Aus der Simulation ermittelte Drehmomentkurve der Maschine bei 50'000 rpm

**Ausgangslage:** In Zusammenarbeit mit dem Industriepartner soll eine neue Wicklungsmethode für eine bestehende Spindel getestet werden. Der Antrieb der Maschine ist ein permanent erregter Synchron-Motor. Die modulare Bauweise der Maschine erlaubt, dass ein neues Wicklungskonzept in der bestehenden Maschine getestet werden kann. Die neue Wicklung soll mit dem Hair-Pin-Verfahren erstellt werden. Ausschlaggebend für die Wahl dieses Verfahrens ist das hohe Potential zur industriellen Fertigung, welche ein indirektes Ziel der Arbeit ist. Im Rahmen dieser Arbeit soll die neue Wicklung mit elektromagnetischen Simulationen geprüft werden und auf Basis dieser Ergebnisse soll ein Prototyp gefertigt werden.

**Eckdaten der Maschine:**

Die konstante abgegebene mechanische Leistung der Maschine liegt bei 2 kW bei einem Drehzahlbereich von 45'000 bis 50'000 rpm. Der Umrichter liefert einen Strom von maximal 15 A bei einer Spannung von 100 V.

**Vorgehen:** Für die Modellierung der Maschine wurde ein Python-Skript geschrieben, welches ein 2D-Modell der Maschine generiert. Das Design, das sich aus den Anforderungen an die Maschine und den geometrischen Einschränkungen ergab, wurde mit Simulationen getestet und weiter optimiert. Um die Modelle zu erstellen und zum Lösen der elektromagnetischen Simulationen, wurde die Software Ansys Maxwell verwendet.

Mit dem 2D-Modell wird nebst der abgegebenen mechanischen Leistung der Maschine die magnetische Feldverteilung im Stator ermittelt. Aus den Simulationen wird ebenfalls die Spannung ermittelt, die benötigt wird, damit sich ein Strom von 15 A einstellt. Zum Ermitteln der Hauptinduktivität wurde eine Simulation durchgeführt, bei welcher der Motor im Reluktanzbetrieb ist, d.h. die Erregung durch den Permanentmagneten wird weggelassen. Auf Basis des 2D-Modells wurde ein 3D-Modell des Stator-Paketes generiert, der Wickelkopf zum Bestimmen der Streuinduktivität wurde nachträglich designt und dahingehend optimiert, dass sich ein minimaler Wert für den Kupferwiderstand und die Streuinduktivität ergibt. Die Abb. 2 zeigt das vollständig vernetzte Modell mit Wickelkopf und Welle, aus dem die Streuinduktivität ermittelt wurde.

**Ergebnis:** Auf Basis der Simulationen wurde die Maschine optimiert und ein Prototyp des Stators gefertigt. Die Abb. 3 zeigt das aus der Simulation ermittelte abgegebene mechanische Drehmoment, abhängig von Polradwinkel. Die Maschine wird bei einem Polradwinkel von 60° betrieben, was durch den Umrichter geregelt wird. Das erzeugte Drehmoment bei entsprechendem Winkel liegt bei 309 mNm, die abgegebene Leistung beträgt somit 1.62 kW. Die ermittelte Spannung liegt bei 51.7 V bei einem Strom von 15 A, die aufgenommene elektrische Leistung beträgt so 1.86 kW. Dementsprechend liegt der Wirkungsgrad der Maschine bei 87%. Aufgrund der geometrischen Einschränkungen entspricht die Leistung der Maschine nicht den geforderten 2 kW. Das Hauptziel der Arbeit war die Entwicklung eines neuen Wicklungsverfahrens für die bestehende Maschine, welches erfolgreich realisiert werden konnte.