



Doctoral Thesis

Design of a highly efficient brushless current excited synchronous motor for automotive purposes

Author(s):

Illiano, Enzo Michele

Publication Date:

2014

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010433793> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22393

***DESIGN OF A HIGHLY EFFICIENT BRUSHLESS CURRENT
EXCITED SYNCHRONOUS MOTOR FOR AUTOMOTIVE
PURPOSES***

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZÜRICH

(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by

ENZO MICHELE ILLIANO

Dipl. Ing. ETH in Informationstechnologie und Elektrotechnik

born on *11.12.1984*

citizen of Giubiasco (TI)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Konrad Wegener

Prof. Dr. David Dyntar

Prof. Dr. Adrian Omlin

Prof. Dr. Konrad Reichert

2014

Abstract

Mainly because of the total absence of rare earth permanent magnets, the separately excited synchronous motor (SSM) is particularly interesting as traction drive.

To avoid the problems related to brushes, the energy transfer necessary to feed the rotor coil should preferably succeed contactless through a rotary transformer. This requires a challenging rotor current control concept in particular concerning the quick rotor demagnetization. In addition, because of the current flowing in the rotor, the continuous power of this machine is lower than the one of permanent magnet based topologies with similar dimensions.

A rotor current controller for a brush-based excitation system is designed and manufactured. A control strategy for an already existing SSM (designed before the project start) and the new controller is developed implemented and tested on the test bench. The main goal of this step is to gain experience to design a more challenging brushless machine. A new current excited synchronous motor, equipped with a rotary transformer to guarantee a contactless energy transfer to the rotor, is then designed and tested on the test bench. In particular, a new simple and effective method to contactless control the rotor current is evaluated. The machine is also equipped with a newly developed system which allows a significantly faster demagnetization of the rotor thus improving the functional safety of the motor.

The main functional safety problems are briefly examined to allow the test of the motor in an electric vehicle on public streets.

To reduce the rotor current requirement, and consequently improve the continuous power of the motor, a wide bunch of rotor shapes with increased L_d/L_q ratio are designed, described through parameters, and simulated. The outcome of the simulations confirms a significant reduction of the rotor current requirements for the shapes with a reduced q inductance.

To conclude, possible improvements concerning the filling factor are roughly investigated through the manufacturing of a stator wound using bar windings. A stator filling factor of 0.6 is reached in this way.

Test bench measurements show that the current excited machine offers an excellent functional safety, reaches very similar efficiencies and even better peak power- curves and densities compared to magnet based topologies.

Kurzfassung

Vor allem wegen der totalen Abwesenheit von seltenen Erden, ist die stromerregte Synchronmaschine (SSM) eine vielversprechende Topologie als Antrieb für Elektrofahrzeuge.

Um die Probleme, die mit Bürsten verbunden sind, zu eliminieren, soll die Energieübertragung zur Speisung des Rotors berührungslos mit einem rotierenden Transformator erfolgen. Das benötigt ein anspruchsvolles Regelungskonzept für den Rotorstrom vor allem bezüglich der schnellen Rotorentmagnetisierung. Weiterhin ist wegen des im Rotor fließenden Stroms die Dauerleistung dieser Maschine bei gleichem Bauraum niedriger als bei anderen Topologien.

Ein Rotorstromregler für eine Energieübertragung durch Bürsten wird ausgelegt und aufgebaut. Anschliessend wird eine Regelstrategie für eine existierende SSM (entwickelt vor dem Projektstart) in Kombination mit dem neuen Regler implementiert und am Prüfstand getestet. Hauptziel dieses Schrittes ist der Erfahrungsgewinn für die Auslegung einer bürstenlosen Maschine, die deutlich anspruchsvoller ist. Ein zweiter stromerregter Motor, ausgerüstet mit einem rotierenden Transformator um eine kontaktlose Energieübertragung zu garantieren, wird ausgelegt und am Prüfstand getestet. Eine neue Methode zur kontaktlosen Regelung des Rotorstroms wird implementiert und evaluiert. Die Maschine ist auch mit einer neuentwickelten Schaltung, die eine schnelle Entmagnetisierung des Rotors erlaubt, ausgerüstet. Das erhöht die funktionale Sicherheit des Motors.

In einem weiteren Schritt werden die wichtigsten sicherheitsrelevanten Zustände eines Elektrofahrzeuges in Kombination mit der SSM untersucht, was schlussendlich auf die Zulassung von Probefahrten auf öffentlichen Strassen ermöglichen soll.

Um den Rotorstromerregungsbedarf zu reduzieren und damit die Dauerleistung der Maschine zu steigern, werden zahlreiche Rotorformen mit erhöhtem L_d/L_q Verhältnis parametrisiert, simuliert und miteinander verglichen. Mit Hilfe einer Simulation kann nachgewiesen werden, dass eine Verringerung der q-Induktivität den Rotorstrombedarf reduziert.

Um die möglichen Verbesserungen bezüglich des Füllfaktors im Stator zu untersuchen, wurde ein Motor mit Formstäben anstelle von Runddrähten ausgelegt und aufgebaut. Ein Füllfaktor von 0.6 wird damit erreicht.

Prüfstandmessungen zeigen, dass die stromerregte Maschine eine exzellente funk-

tionale Sicherheit, eine sehr ähnliche Effizienz und sogar bessere Spitzenleistungskurven und Dichten verglichen mit Permanentmagnetmaschinen erreicht.