

## Eisenlose Axialfluss-Permanentmagnet-Synchronmaschine mit Keramikwicklungsträger für Schwungradspeicher

DFG-HO 1483/77-1, 2016 – 2018

### Kurzfassungen:

Die in einem Schwungrad gespeicherte Energie steigt mit dem Quadrat der Drehzahl. Je kürzer die Länge der Antriebswelle ist, desto höhere Drehzahlen und breitere Drehzahlbereiche lassen sich realisieren, da die kritischen Drehzahlen außerhalb des Betriebsbereichs liegen. Die Anwendung von Axialflussmaschinen erlaubt eine drastisch reduzierte Länge der Antriebswelle gegenüber Radialflussmaschinen. Ziel dieses Vorhabens ist es, den Drehzahlbereich für Axialfluss-PM-Synchronmaschinen in einem Motor/Generatorsystem bis  $40.000 \text{ min}^{-1}$  technologisch zu erschließen, um eine signifikante Erhöhung der Energiedichte rotierender Speicher zu erreichen. Mit der hohen Drehzahl sind statorseitige Eisenverluste verbunden, die durch den Einsatz eines keramischen Wicklungsträgers im Ständer gänzlich vermieden werden sollen. Des Weiteren wird eine Reduktion der Reibverluste im Antriebssystem durch eine verlustarme magnetische Lagerung und den Betrieb im Vakuum angestrebt. Die Wärmeabfuhr soll mittels geeigneter Werkstoffe und Geometrie maximiert werden. Mit diesen Zielen erfolgt die verlust- und oberwellenarme Auslegung einer Axialflussmaschine mit Keramik-Wicklungsträger. Darauf aufbauend soll ein Prototyp entwickelt und gebaut werden, wobei zukünftige Entwicklungspotentiale zu dokumentieren sind. Das Vorhaben mündet in der messtechnischen Verifizierung des Prototyps zur Ermittlung des Effizienzgrades und der erreichbaren Speicherrate.

Die Fortsetzung des laufenden Forschungsvorhabens verfolgt das Ziel, die Eignung einer eisenlosen Axialfluss-PM-Synchronmaschine für Schwungradanwendungen mit Drehzahlen bis  $40\,000 \text{ min}^{-1}$  zu validieren. Dafür sind eine Maschine bestehend aus Ständer und Läufer sowie ein geeigneter Wechselrichter zur Inbetriebnahme des Antriebssystems erforderlich. Bisher konnte der keramische Wicklungsträger nur isoliert untersucht werden, wodurch zahlreiche Effekte vernachlässigt wurden. Für den erfolgreichen Betrieb der Axialflussmaschine mit einer sehr kleinen Maschineninduktivität und die Forderung nach einem verlustarmen Betrieb ist aus Sicht des Verfassers ein modularer Mehrpunkt-Wechselrichter notwendig. Das Vorhaben zur Validierung der Maschine wird daher um die Realisierung des Antriebssystems erweitert.

-----

The energy stored in a flywheel is in direct proportion to the square of its rotation speed. A shorter the drive shaft allows higher speeds and a wide range of varying speeds, since the critical speeds are out of the operation range. Applying an axial flux topology would drastically reduce the length of the drive shaft compared to radial flux machines. The scope of this research project is to exploit drive speeds of up to 40,000 rpm for axial flux machines in a motor/generator system. Thereby, the volumic energy of rotating storages can be significantly increased. The iron losses that come with higher speeds shall be completely avoided by using a stator with a ceramic winding carrier. In addition, aiming for the reduction of frictional losses, the machine shall be equipped with magnetic bearings and run in vacuum. The heat transfer is to be maximized by selecting suitable materials and a favorable geometry. Aiming for these goals, a design shall be developed for an axial flux machine with ceramic winding carrier while considering the reduction of losses and harmonics. This design

shall be the basis for a prototype. The prototype is to be developed and built. Future extension capacities shall be documented. The project will be finalized with an assessment of the prototype to verify the claimed efficiency and cyclic storage capacity.

An increase of the volumic energy of flywheel energy storage systems promotes axial-flux machines before radial flux machines due to the shorter drive shaft. For the elimination of iron losses during no-load operation, a ceramic plate carries the machine winding whilst providing a good thermal conductivity for the cooling of the winding. The continuation of the ongoing research project aims to validate an ironless axial-flux PM synchronous machine for flywheel applications of up to 40 000 rpm. This requires a machine consisting of stator and rotor as well as an inverter for its operation. Currently, only the isolates ceramic winding carrier could be analyzed, neglecting numerous effects. From the author's perspective, a successful operation of the axial-flux machine with a very small inductance and low losses demands a modular multi-level inverter. The project plan is therefore extended by the realization of the drive system.