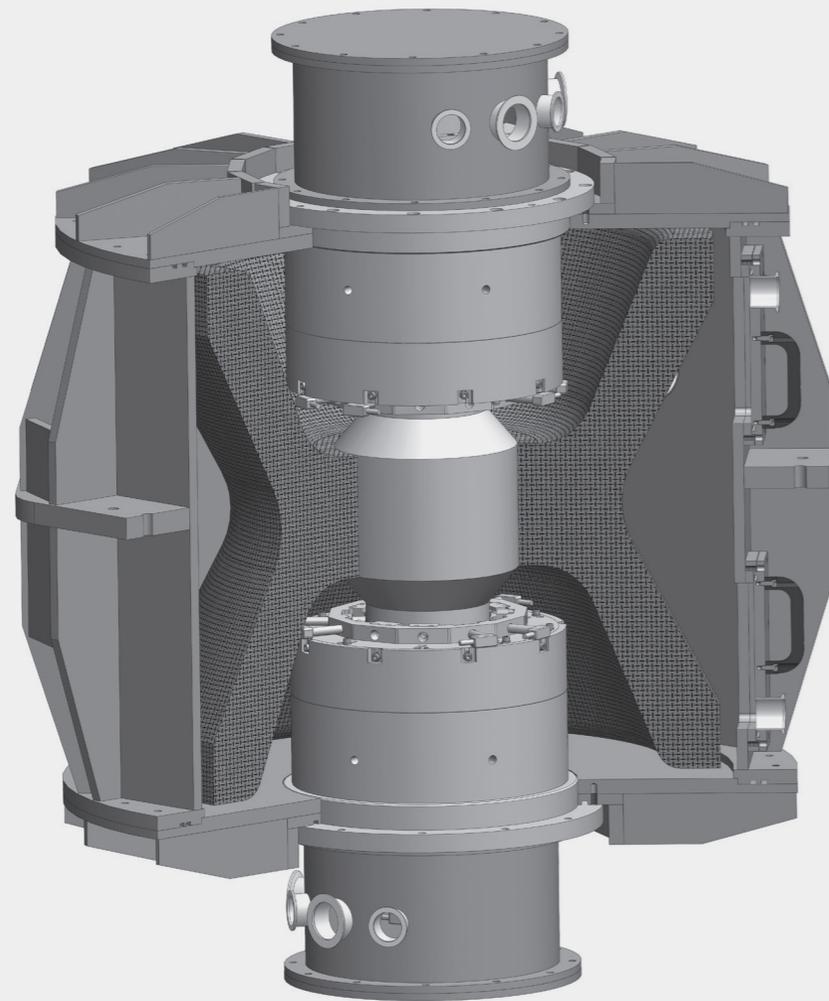




Projektleitung: ALEXANDER SCHULZ
Technische Universität Wien
Institut für Mechanik und Mechatronik



Skizze des Flywheels

Hocheffiziente Schwungradspeicher (Flywheels)

KOSTENREDUKTION DURCH NEUE KONSTRUKTIONSANSÄTZE, ROTORBAUFORMEN UND FERTIGUNGSVERFAHREN

Energiewende:

Wir brauchen kostengünstige Speicher!

Die Energiewende hin zu Erneuerbaren Energien bewirkt aufgrund deren fluktuierender Netzeinspeisung einen steigenden Bedarf an dezentralen Energiespeichern. Flywheels stellen eine ökologisch, ökonomisch und sozial nachhaltige Technologie zur dezentralen Energiespeicherung dar.

Flywheels bestehen im Wesentlichen aus einer Schwunghmasse, die zum „Laden“ des Flywheels mittels elektrischer Maschine im Motorbetrieb beschleunigt wird, beim „Entladen“ durch die elektrische Maschine im Generatorbetrieb abgebremst wird und beim Halten der Ladung mit möglichst minimalen Verlusten rotiert. Gegenüber anderen dezentralen Speichertechnologien, beispielsweise Akkumulatoren, weisen Flywheels eine wesentlich längere Lebensdauer sowie eine um vieles höhere Lade-/Entladezyklenzahl auf. Da Flywheels aus ökologisch unbedenklichen Werkstoffen bestehen, ist deren Aufstellung unproblematisch möglich.

Daher wären Flywheels speziell zur Netzstabilisierung die optimale Speicherlösung. Die zurzeit verfügbaren Flywheels weisen für einen breiten Einsatz als dezentrale Zwischenspeicher jedoch zu hohe Kosten auf.

Projektziele

Im Rahmen des Forschungsprojekts Optimum Shape Flywheel werden in einer Kooperation zwischen der TU-Wien und der Fa. FWT Wickeltechnik GmbH

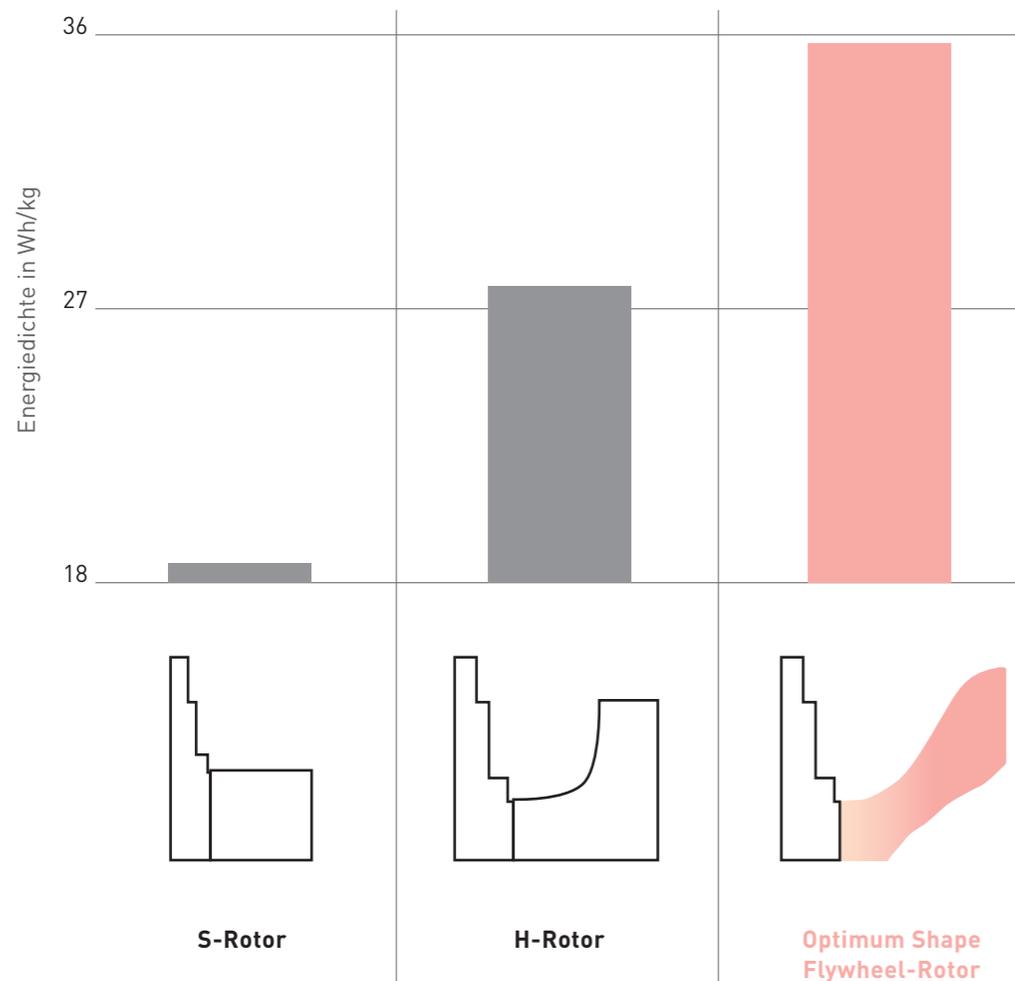
innovative Ansätze zur optimalen Formgebung sowie des optimalen Materialaufbaus der zentralen Komponente jedes hocheffizienten Flywheels, dem Schwungrad, inklusive optimaler Integration aller erforderlichen Komponenten (elektrische Maschine, magnetische Lagerung, etc.) sowie geeignete Fertigungstechniken erarbeitet. Durch die damit wesentlich bessere Materialausnutzung („Fully-Stressed-Design“) bei fertigungsoptimiertem Aufbau lassen sich zum einen die Investitionskosten wesentlich reduzieren und zum anderen die Gesamtenergieeffizienz nochmals steigern, wodurch hocheffiziente Flywheels für ein breites Anwendungsfeld wirtschaftlich nutzbar werden.

Modellbildung zur Finite-Elemente basierten Festigkeitsrechnung von Komposit-Werkstoffen mit komplexem Lagenaufbau

Wie bei allen Komposit-Bauteilen sind korrekte Materialdaten (E-Moduli, Querkontraktionszahlen, Festigkeit, etc.) von essenzieller Wichtigkeit. Je genauer diese ermittelt werden, desto besser ist auch die Berechnung der Strukturfestigkeit.

Zur Bestimmung der Materialparameter ist es erforderlich, dass dieselben Fertigungsverfahren für die Probenkörper eingesetzt werden, die letztlich auch zur Fertigung des gesamten Rotors zum Einsatz kommen (Temperaturverlauf-, Vorspannungs-, Lagenaufbau-, Faserwinkel-, Faserdaten-Abhängigkeit). Daher werden in enger Zusammenarbeit zwischen dem Institut

Vergleich der Energiedichten unterschiedlicher Rotorformen



für Mechanik und Mechatronik, dem Institut für Werkstoffwissenschaft und Werkstofftechnologie der TU-Wien sowie der Fa. FWT Wickeltechnik GmbH Probengeometrien entwickelt und geprüft, um die Steifigkeits- und Festigkeitsparameter, die zur Beschreibung von transversal isotropen Materialien unter der Annahme von linear elastischem Verhalten nötig sind, sowie die Wärmeausdehnungskoeffizienten in und quer zur Faserrichtung, zu bestimmen. Zur Auslegung der Komposit-Flywheel-Schwungmasse hinsichtlich Festigkeit wird das Puck-Kriterium verwendet. Dieses basiert auf der Mohr'schen Bruchhypothese für spröde Materialien, hat daher eine physikalische Grundlage und dessen Prädiktion der Versagenswahrscheinlichkeit ist genauer als beispielsweise das nicht so rechenaufwändige und daher häufig eingesetzte Tsai-Wu-Kriterium.

Innovative Schwungmassenformgebung mit Wellen-Integralbauweise

Der Energieinhalt steigt quadratisch mit der Drehzahl. Geringste Schwungmassenkosten ergeben sich daher bei möglichst hohen Rotordrehzahlen und demzufolge geringer Rotormasse. Der Einsatz von Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen (CFK) ermöglicht hierbei gegenüber Metallen einen wesentlich höheren Energieinhalt bei gleicher Masse. Trotz der hohen massebezogenen Materialkosten resultieren aus der wesentlich geringeren erforderlichen Materialmenge letztlich um ein Vielfaches geringere Materialkosten als beispielsweise bei Stahlschwungrädern.

Grundsätzlich kann bei den Rotorbauformen zwischen Innen- und Außenläufer unterschieden werden. Beim Innenläufer dient eine Vollwelle als Trägerstruktur von Lager- und Motor/Generator-Komponenten, während beim Außenläufer eine Hohlwelle für die Anbindung der Lager- und Motor/Generator-Komponenten verwendet wird. Unter Vernachlässigung aller erforderlichen Komponenten, wie Lagerung und elektrische Maschine, ist die ideale Schwungmassenform bei Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen ein

Außenläufer ausgeführt als dünner Hohlzylinder. Beim Außenläufer stellt es jedoch ein generelles Problem dar, dass der Luftspalt der magnetischen Lagerung sowie der elektrischen Maschine aufgrund der auftretenden Dehnung des Rotors drehzahlabhängig zunimmt. Um auch bei Minimaldrehzahl einen ausreichenden Luftspalt zu gewährleisten, ergibt sich somit bei Höchstdrehzahl ein wesentlich größerer Luftspalt, der zu einer Reduktion der Energieeffizienz aufgrund der größeren erforderlichen Durchflutung bzw. zu einer Leistungsreduktion führt. Ein weiteres großes Problem stellt der fast direkte Kontakt des Motors/Generators mit dem CFK dar. Die Verlustwärme des weichmagnetischen Motor/Generator-Läufers kann aufgrund des Vakuums ohnedies nur durch Strahlung abgegeben werden und zusätzlich kann CFK nur geringer Temperaturbelastung ausgesetzt werden, da andernfalls die Festigkeit stark abnimmt bzw. stark beschleunigtes Kriechen und Relaxationsvorgänge auftreten. Aufgrund oben angeführter Probleme ist eine Ausführung als Innenläufer, bestehend aus einer Metallwelle zur Anbringung der Lager- und Motor/Generator-Komponenten zu bevorzugen. Typischerweise werden hierbei Schwungmassen mit rechteckigen- bzw. H-förmigen CFK-Schwungrad-Querschnitten eingesetzt. Eine H-förmige Schwungmasse ermöglicht es, dass ein Großteil der Masse für ein möglichst großes Trägheitsmoment weit außen angeordnet ist. Die auftretenden Eigenfrequenzen beschränken hierbei eine Anbindung mit sehr geringer axialer Länge bezogen auf die Länge des zylinderförmigen Teils. Die höchstbelasteten Bereiche sind auf Höhe der Anbindung da hier die größten Massenkräfte auftreten. Die Außenbereiche der H-Form, wo die größten anteiligen Trägheitsmomente erzielt werden können, sind nur gering belastet. Eine direkte Folgerung daraus ist, dass die Festigkeitseigenschaften des CFK bei, mit herkömmlichen Fertigungsverfahren herstellbaren, Geometrien der CFK-Schwungmasse nur unzureichend genutzt werden können. Damit entstehen höhere direkte Materialkosten der Schwungmasse und aufgrund der schweren



„Hocheffiziente und kostenoptimierte Flywheels sind die Lösung für Energiespeicher mit hoher Zyklenzahl und Lebensdauer.“

PROJEKTLEITER ALEXANDER SCHULZ

Schwungmasse eine größere erforderliche Lagerdimensionierung, damit wiederum höhere Kosten und eine Reduktion der Energieeffizienz der Lagerung. Aus der Optimum Shape Flywheel-Topologieoptimierung resultiert eine vollkommen neuartige Schwungmassenformgebung, die ein „Fully-Stressed-Design“ ermöglicht. Bezogen auf eine Schwungmasse mit rechteckförmigem Standardquerschnitt ergibt sich bei gleichem Materialeinsatz eine Erhöhung des Energieinhalts um etwa 100%, bezogen auf eine H-Form um etwa 25%.

Aus dem Ergebnis der Topologieoptimierung werden Geometrieparameter zur Optimierung des kompletten Rotors (Schwungmasse, Welle, inklusive aller erforderlicher Komponenten für die elektrische Maschine sowie der Lagerung) hinsichtlich maximalem Energieinhalt erarbeitet. Neben der Sicherheit gegen Versagen, die mittels COMSOL Multiphysics FE-Modell berechnet wird, sind die Eigenfrequenzen der Gesamtstruktur wesentliche weitere Nebenbedingungen bei der Optimierung. Diese werden mittels ANSYS FE-Modell berechnet und müssen für höchste Energieeffizienz des Flywheels mit genügend Sicherheitsabstand über der maximalen Flywheel-Drehzahl liegen.

Eine weitere wichtige Nebenbedingung ist die zulässige Maximaltemperatur der CFK-Schwungmasse. Hierzu wird ein thermisches FE-Modell des Flywheels in COMSOL Multiphysics gelöst, um auch bei maximaler Leistung der elektrischen Maschine über einem vorgegebenem Lastzyklus bzw. bei Dauerlauf einen sicheren Betrieb zu gewährleisten.

Fertigungstechnik für die optimale Schwungradtopologie

Aufgrund der innovativen Schwungmassengeometrie ergeben sich diverse Herausforderungen für die Fertigung. Erforscht werden daher die Grenzen aktueller Fertigungstechnologien und die Möglichkeiten zur Erhöhung der maximal möglichen Steigung der Geometrie, die ohne Abrutschen der Faser bzw. des Prepregs (vor-impregnierte Fasern), bei der Fertigung kegelförmiger Bereiche, erzielt werden kann, die Formgebungsgenauigkeit in Bezug zur Fertigungszeit sowie die Möglichkeit zur exakten Platzierung und der sicheren Integration von metallischen Inserts.

Messtechnische Verifikation aller Forschungsergebnisse

Zur sicheren Verifikation der FE-Festigkeitsberechnung wird ein statischer Messaufbau entwickelt, der eine möglichst gute Abbildung der Rotorbelastung, die bei Rotation der Schwungmasse auftritt, ermöglicht. Die Gesamtverifikation aller Modelle sowie der Interaktion aller Komponenten, die Erfassung der Effizienzsteigerung und die Implementierung einer magnetlagerbasierten Wuchtung erfolgt an einem OptimumShapeFlywheel-Messaufbau.

Kommerzielle Umsetzung

Die kommerzielle Umsetzung der hocheffizienten und kostenoptimierten Flywheel-Technologie soll, um den Wissensvorsprung optimal zu nutzen, parallel im Rahmen des Start-Ups Smart Mechatronic Technology erfolgen.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT:

- Ökonomisch nachhaltig: Durch die innovative Schwungmassengeometrie leistet das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Kostenreduktion von Flywheel-Speichern, wodurch deren Anwendung zur dezentralen Netzstabilisierung, speziell im Hinblick auf den steigenden Anteil an erneuerbaren Energien, näher rückt und damit die Netzausbaukosten gesenkt werden können.
- Ökologisch nachhaltig: Flywheel-Speicher weisen eine lange Lebensdauer bei höchster Zyklentfestigkeit auf und bestehen aus ökologisch unbedenklichen Werkstoffen.
- Sozial nachhaltig: Die dezentrale Energiegewinnung aus regenerativen Primärenergieträgern am Ort des Verbrauchs wird unterstützt und hilft damit, den Bedarf an importierten Primärenergieträgern zu reduzieren und Verteilungskonflikte, aufgrund knapper werdender Ressourcen, zu mildern.

