

Abbildung des gesamten Energienetzes einer Windenergieanlage mit ANSYS Simulation mit System

Das elektrische System einer Windkraftanlage beinhaltet alle Komponenten zur mechanisch-elektrischen Energiewandlung. Sie stellt neben dem Rotor und dem mechanischen Antriebstrang die dritte wesentliche Funktionsgruppe einer Windenergieanlage dar. ANSYS stellt auch dafür sehr effiziente Simulationstools zur Verfügung.

Die wichtigste Komponente innerhalb der gesamten Wirkungskette des elektrischen Systems ist der Generator, der die Energie erzeugt. Mit den Komponenten zur Energieumformung (Umrichter, Transformatoren, Kondensatoren, Drosselspulen) und zur Energieweiterleitung (Kabel, Freileitungen) bildet er den elektrischen Teil einer Windenergieanlage.

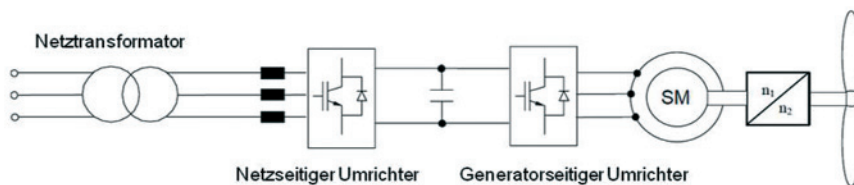


Bild 1: Der elektrische Teil einer Windenergieanlage

Die große Herausforderung des Entwicklungsingenieurs besteht darin, die einzelnen Komponenten, die zudem meist von unterschiedlichen Herstellern stammen, akkurat aufeinander abzustimmen und zu einem effizienten Gesamtsystem zusammenzuführen.

Systemsimulation

Um komplexe heterogene Systeme, die mit dem Anspruch höchster Effizienz entwickelt werden, überhaupt beherrschbar zu machen, führt kaum noch ein Weg an hochmodernen Simulationstools vorbei. ANSYS stellt für Entwicklungsingenieure, die sich mit derartigen Systemen beschäftigen, ein Set an spezifischen Lösungen bereit. Herzstück ist dabei das Programm Simplorer, der Systemsimulator von ANSYS. Mit Simplorer wird ein komplexes System zunächst komplett aus analytischen Modellen aufgebaut. Darauf aufsetzend können alle Komponenten anhand detaillierter FEM-Modelle mit den verschiedenen ANSYS Produkten analysiert, optimiert und mit den entsprechenden Eigenschaften in Simplorer und damit in das Gesamtsystem eingebunden werden.

Neben der Zusammenführung der Komponenten gibt es eine Vielzahl weiterer, für die Entwicklung elektrischer Systeme relevanter Anwendungen, die aufgrund ihrer Komplexität ebenfalls praktisch nur noch per Simulation zu bewältigen sind. Dazu gehören die Gestaltung der Netzanpassung, die Einbindung der Leistungsregelung gemäß vorhandener Drehzahlkennli-

nien unter Berücksichtigung der zulässigen Leistungs- und Spannungsschwankungen oder auch die Unterdrückung von Oberwellen. Eine Prüfung kritischer Betriebszustände wie ein generatornaher oder -ferner Kurzschluss, zulässige thermische Belastungen oder die Auslegung von Netzen gegen Kurzschlusswirkungen setzen gleichfalls spezifische Simulationstools voraus.

Für die Analyse der elektrischen Komponenten von Windenergieanlagen kommen neben Simplorer insbesondere folgende Lösungen zum Einsatz:

- **Maxwell 2D** und **Maxwell 3D**: FE-Simulation des Generators
- **RMxprt**: Analytische Generatorberechnung und Erzeugung eines in Maxwell direkt simulationsfähigen Generator-Designs (2D und 3D)
- **Q3D- Extractor**: Analyse parasitärer Einflüsse in und zwischen Kabeln

Analyse von System und Komponenten

Ein – zusätzlicher – Mehrwert dieser Tools liegt darin, dass sie neben der Standalone Nutzung auch nahtlos mit den struktur-

mechanischen ANSYS Simulationstools gekoppelt werden können.

Beispiele: Die Analyse der thermischen Belastung der verschiedenen Elemente des elektrischen Netzes erfolgt durch das unmittelbare Zusammenspiel der FEM-Simulation in Maxwell 3D mit ANSYS Mechanical. Genauso ist die Rückkopplung der temperaturabhängigen elektrischen Parameter nach Maxwell möglich. Die sich daraus ergebenden Verformungen sind wiederum mit dem Programmpaket ANSYS Mechanical simulierbar. Die Stromkräfte zwischen den Leiterschienen und die damit einhergehende Verformungen können ebenfalls mit der Kombination Maxwell 3D und ANSYS Mechanical ermittelt werden.

Anwendungsbeispiele aus der Windenergie

Generator:

In Windenergieanlagen werden verschiedene Generatorarten eingesetzt. Üblich sind Asynchrongeneratoren mit Kurzschlussläufer, doppelgespeiste Asynchrongeneratoren, Synchrongeneratoren mit elektrischer Erregung und Synchrongeneratoren mit Permanentmagnetenerregung.

Die Leistungsfähigkeit all dieser Generatoren kann unterschiedlich analysiert und optimiert werden:

- 1.) Mit dem Schaltungssimulator Simplorer:
Das Generatormodell wird als reines elektrisches Ersatzschaltbild simuliert, ohne geometriebezogene mechanische und elektrische Differenzialgleichungen.
- 2.) Mit dem Analytik-Tool RMxprt:
Hier wird das Generatormodell zunächst mit Geometrie- und Materialdaten in RMxprt eingegeben und anschließend als parametrisiertes

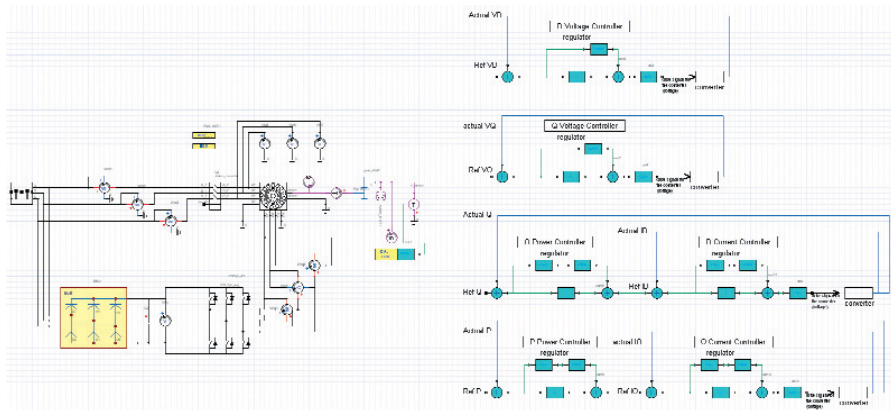


Bild 2: Doppelt gespeister Asynchrongenerator mit Umrichter und Regelung in Simplorer

- Ersatzschaltbild nach Simplorer exportiert.
- 3.) Mit dem FEM-Programm Maxwell 2D oder Maxwell 3D:
Das Generatormodell kann aus RMxprt automatisch in Maxwell 2D oder 3D erzeugt werden. Auch von hier ist der Export des Modells nach Simplorer möglich.
 - 4.) Mit einer transienten Kopplung von Simplorer mit Maxwell:
Diese erlaubt u.a. die Berücksichtigung von Wirbelströmen im Generator, die durch die Schaltvorgänge im Umrichter hervorgerufen werden.

Umrichter:

Sowohl die Wandlung von Dreh- in Gleichstrom (Gleichrichter) als auch von Gleich- in Drehstrom in definierter Frequenz (Wechselrichter) ist in Windenergieanlagen relevant.

Die dabei gängigen leistungselektronischen Halbleiterschalter IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), GTO (gate-turn-off Thyristor) und Thyristoren sind in Simplorer

in unterschiedlichen Detaillierungsgraden verfügbar.

In der einfachen Variante stellen diese Halbleiterventile kennliniengesteuerte Schalter dar. Für genauere Untersuchungen des Schaltverhaltens bietet Simplorer detailliertere Modelle. Spice-Modelle dieser Halbleiterventile sind direkt verwendbar. Das IGBT-Parametrisierungstool erlaubt, ausgehend vom Datenblatt des speziellen IGBT-Typs die Erzeugung des zugehörigen IGBT-Modells und dessen Anwendung in Simplorer.

Die Ansteuerung der Gleich- und Wechselrichterschaltungen mit den Halbleiterventilen erfolgt in Simplorer über Zustandsgraphen, die aus sogenannten Zuständen (in denen die Steuersignale der Ventile definiert werden) und den diese verbindenden Transitionen (Bedingungen für die Änderung der Steuersignale) bestehen.

Transformatoren:

Simplorer ermöglicht die Simulation verschiedener Transformatormodelle als Er-

satzschaltbild. Detailliertere Untersuchungen und eine Kopplung mit Simplerer sind mit Maxwell 2D und 3D möglich.

Kabel:

Mit dem ANSYS-Tool Q3D Extractor kann aus der 3D-Kabelgeometrie sehr schnell ein parametrisiertes Ersatzschaltbild generiert werden, welches nach Simplorer exportiert und dort weiter beschaltet werden kann. Der Vorteil einer solchen Vorgehensweise besteht in der damit möglichen Analyse von Wanderwellen, Überspannungen und den damit verbundenen parasitären Effekten.

Regler:

Simplorer bietet die Möglichkeit, direkt auf dem Simulationssheet Regler abzubilden und diese mit der elektrischen Schaltung zu koppeln.

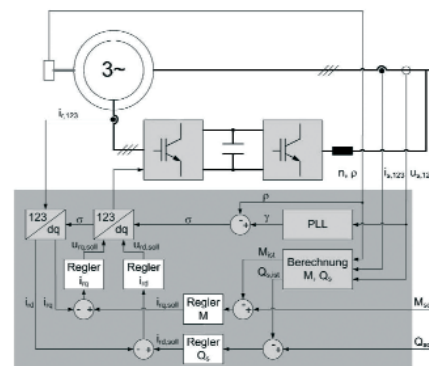
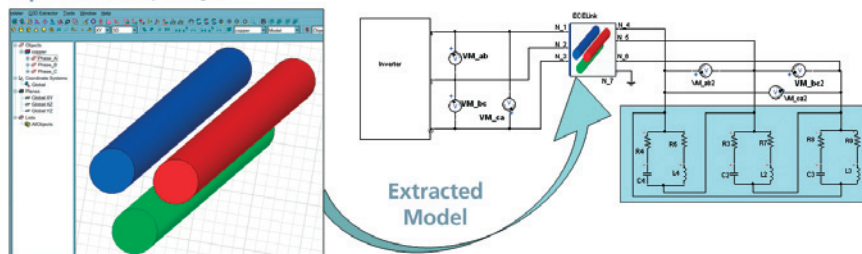


Bild 4: Regelschema für einen doppelt gespeisten Generator (Quelle: M. Geyler, P. Caselitz: Regelung von drehzahlvariablen Windenergieanlagen at 12/2008)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass der Systemsimulator Simplorer in Verbindung mit den anderen ANSYS Tools ANSYS RMxprt, Maxwell und Q3D sehr gut für die Simulation eines Windenergieanlagen-Netzes geeignet ist. Dabei besteht der besondere Vorteil darin, dass bei Notwendigkeit an beliebigen Stellen eine sehr detaillierte Simulation durch Nutzung der strukturmechanischen ANSYS Programmpakete möglich ist und deren Ergebnisse in Simplorer integrierbar sind. <<

3-phase Cable, in Q3D



3Phase simulation results with a 100hp motor surge impedance load

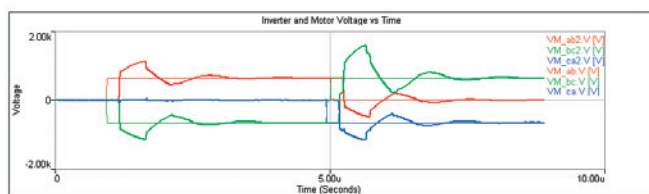


Bild 3: Simulation eines 3-Phasen Kabels in Q3D und Einbindung in Simplorer

Autor

Autor und Ansprechpartner

Dr.-Ing. Ulrich Bock, CADFEM GmbH Grafing
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-84
E-Mail ubock@cadfem.de