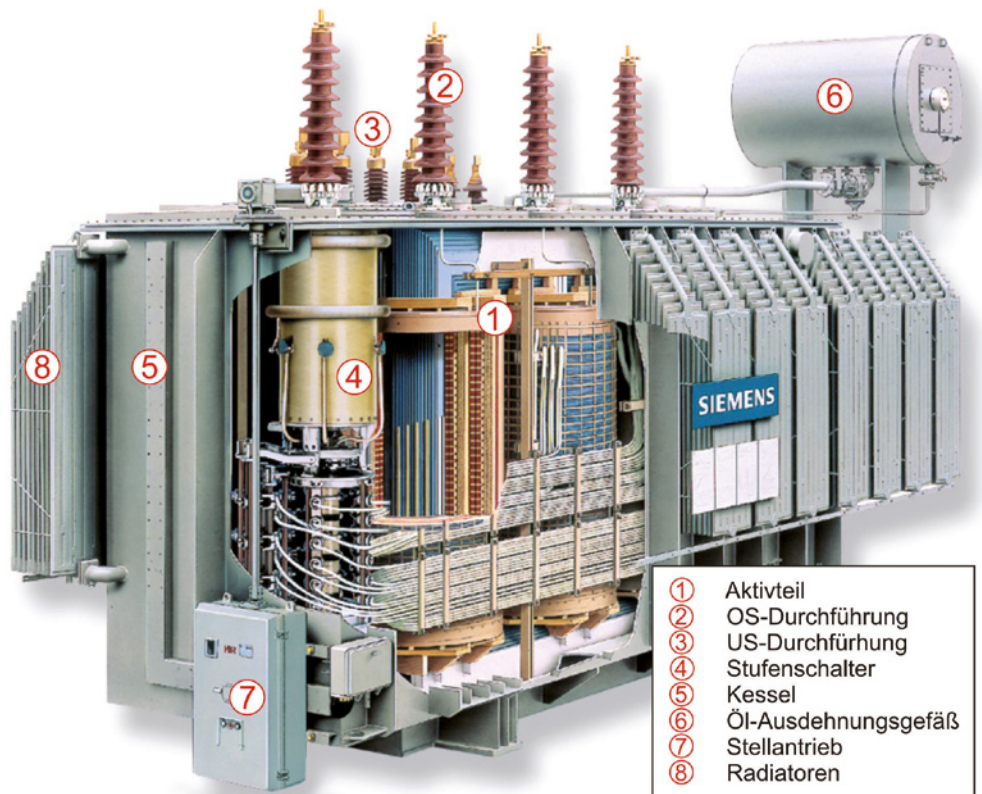


SIEMENS OPTIMIERT LEISTUNGSTRANSFORMATOREN MIT CST EM STUDIO

Ronny Fritsche, Siemens AG Sector Energy T TR PN



- | | |
|---|---------------------|
| ① | Aktivteil |
| ② | OS-Durchführung |
| ③ | US-Durchführung |
| ④ | Stufenschalter |
| ⑤ | Kessel |
| ⑥ | Öl-Ausdehnungsgefäß |
| ⑦ | Stellantrieb |
| ⑧ | Radiatoren |

Allgemeines Transformatorenbeispiel
anhand eines 40 MVA
Mittelleistungstransformators

Maßgeschneiderte Lösungen für beliebige Applikationen und Spezifikationen von Transformatoren zu entwickeln – das ist die Aufgabe des Sector Energy T TR PN. Im Bereich Leistungstransformatoren > 200 MVA, Ofen- und Stromrichtertransformatoren und Transformatoren für HGÜ-Anlagen lassen sich fast nie Standardlösungen finden. EM-Simulation hilft bei der Optimierung der Anlagen.

Der Siemens Energy Sector ist der weltweit führende Anbieter eines weiten Spektrums an Produkten, Lösungen und Dienstleistungen für die Energieerzeugung, -übertragung und -verteilung sowie für die Gewinnung, die Umwandlung und den Transport der Primärenergieträger Öl und Gas. Als weltweit einziger Hersteller verfügt der Siemens Energy Sector über das komplette Know-how entlang der gesamten Energieumwandlungskette, insbesondere im Bereich der Schnittstellen, zum

Beispiel zwischen Kraftwerk und Netzanbindung. Er deckt den Bedarf vor allem von Energieversorgungsunternehmen, darüber hinaus von Industrieunternehmen, insbesondere der Öl- und Gasindustrie.

Siemens Energy beschäftigt weltweit rund 85.000 Mitarbeiter. Im Geschäftsjahr 2009 erzielte der Sector einen Außenumsatz von 25,4 Milliarden Euro und ein Ergebnis von 3,3 Milliarden Euro.

HERAUSFORDERUNG TRANSFORMATOR-DESIGN

Die Anforderungen an Leistungstransformatoren sind vielfältig: sie müssen nationalen und internationalen Normen sowie den Spezifikationen des Betreibers bzw. Auftraggebers entsprechen. Diese Bedingungen werden auch wesentlich durch das angebundene System sowie die Gegebenheiten am Einsatzort bestimmt. Bei der spezifikationsgerechten Dimensionierung von Leistungstransformatoren müssen mechanische, elektromagnetische sowie thermische Eigenschaften berücksichtigt werden.

Für jeden gefertigten Transformator erfolgt eine werksseitige Endprüfung, um den Betriebsfall im Voraus abzusichern und die Betriebssicherheit über mehrere Jahre hinweg zu gewährleisten.

ISOLATIONS AUSLEGUNG

Die Entwicklung von Isolationssystemen und -komponenten ist eine der Aufgaben bei der Auslegung von Transformatoren. Dabei gilt es, die elektrische Isolation zwischen den Wicklungen, die Isolation spannungsführender Wicklungen und Leiter untereinander sowie gegen geerdete Bauteile sicherzustellen. Die Konzeption, der Aufbau und die Formgebung sowie die einzusetzenden Isolierstoffe einer definierten Isolieranordnung ergeben sich aus den jeweiligen Anforderungen. Als Isolierstoffe in Leistungstransformatoren dienen in der Regel Mineralöle und imprägnierte Faserstoffe – auch Transformerboard genannt. Das System aus Pressspanbarrieren und Ölkanälen wird letztendlich als Isolationssystem bezeichnet.

KOMPLEXE GEOMETRIEN EFFEKTIV MODELLIERT

Die Benutzeroberfläche der CST STUDIO SUITE ist grundsätzlich sehr leicht zu bedienen und gewährt ein schnelles Arbeiten. Die Modellgeometrie muss den numerischen Solvern zur Verfügung gestellt werden. Dies geschieht durch eine Vernetzung und die Abbildung der Materialien auf das entstandene Gitter. CST EM STUDIO® (CST EMS) erlaubt es durch Wahl der Randbedingungen das Modell und damit den Rechenaufwand zu reduzieren. Abbildung 1 zeigt den Fünf-Schenkel-Aktivteil eines Leistungstransformators mit drei bewickelten Schenkeln als stark vereinfachte Geometrie, die vollständig in CST EMS erstellt wurde.

Isolationsanordnungen können, trotz der im CST EMS möglichen intelligenten Vereinfachungen, eine enorme Herausforderung an die Simulation darstellen. Die Dimensionen dieser Strukturen können bis zu mehreren Metern betragen. Dabei ist die Dicke einzel-

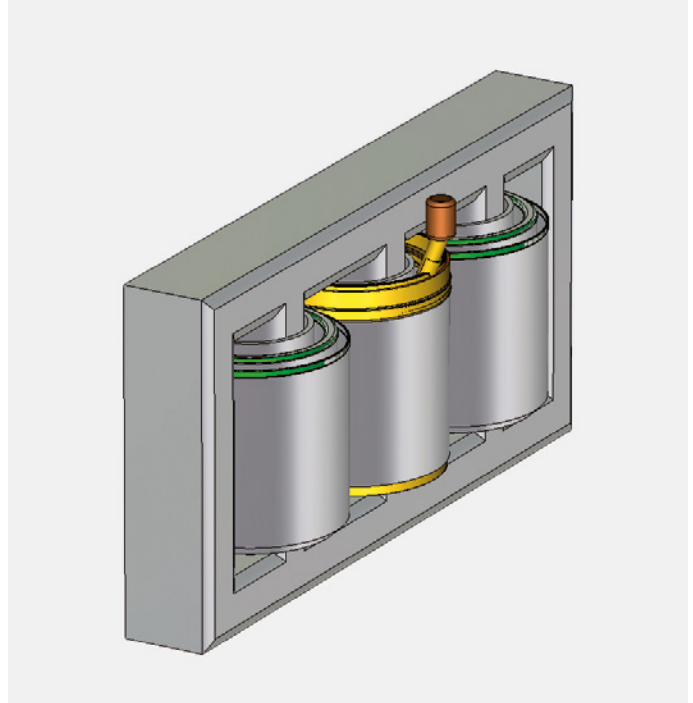


Abbildung 1) Nachbildung der vereinfachten Aktivteilgeometrie

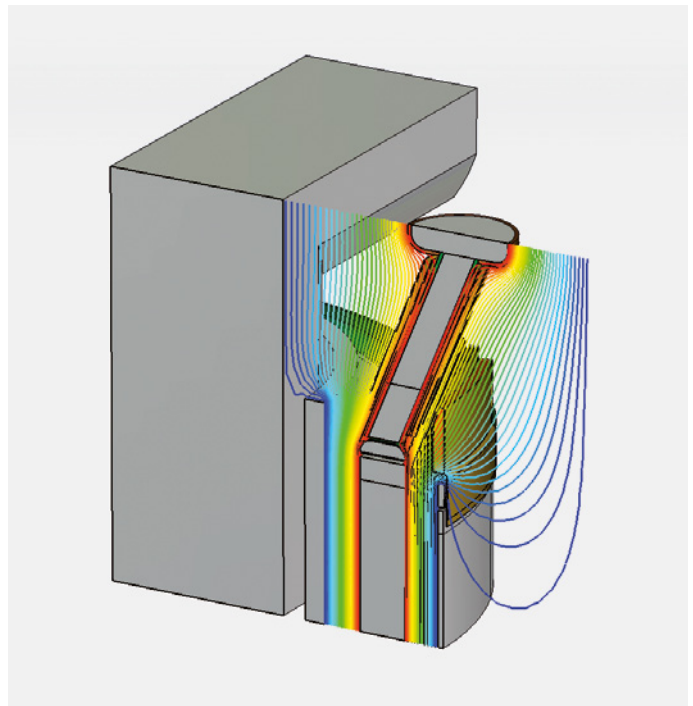


Abbildung 2) zweidimensionaler Äquipotentiallinienplot

ner Elemente, wie zum Beispiel der Transformerboard-Barrieren, auf wenige Millimeter beschränkt. Da aber gerade die Barrierenstärke und die Ölkanalbreite für die Dimensionierung der Isolationssysteme entscheidend sind, ist es von großer Bedeutung einen funktionsstarken und soliden Vernetzer (Mesher) zur Verfügung zu haben. Diesem Anspruch wird der Tetraeder Mesher sowie auch der Hexaeder Mesher des CST EMS gerecht. Mit den Möglichkeiten der globalen und lokalen Netzdichteeinstellungen fällt es dem Anwender leicht, ein sehr genaues, speziell auf seine Anforderungen zugeschnittenes Gitter zu erzeugen. Die Berücksichtigung von Symmetrieebenen ist gerade bei der Simulation von Isolierstoffsystemen von entscheidendem Vorteil. Abbildung 2 zeigt den Äquipotentiallinienplot im Ausleitungsbereich einer Wicklungsanordnung eines stark vereinfachten Aktivteiles. Für die Simulation wurde der ursprüngliche Fünf-Schenkel-Aktivteil (Abbildung 1) auf einen Schenkel reduziert.

CST EM STUDIO WEIST BETRIEBSFESTIGKEIT NACH

Bei der virtuellen Betriebsfestigkeitsprüfung werden solche Isolationssysteme zwischen verschiedensten Elektrodenanordnungen im dreidimensionalen Raum simuliert, bewertet und weiter entwickelt. Die elektrostatischen Simulationen stellen dabei Augenblickswerte der Spannungsbeanspruchungen dar, wie sie typischerweise im Prüffall des Transformators auftreten. Der elektrostatische Löser des CST EMS eignet sich hier besonders gut zur Simulation, da das Tetraeder-Gitter der verwendeten Finite Elemente Methode (FEM) sowohl eine genaue Oberflächendiskretisierung als auch eine effiziente Volumendiskretisierung zur Verfügung stellt. Das ist für die hier beschriebene Anwendung besonders wichtig, da Potentialverteilungen auf Elektrodenoberflächen und auch auf Isolierstoffoberflächen für die Festigkeit des Isolationssystems unter Umständen von entscheidender Bedeutung sind. Abbildung 3 zeigt die Äquipotentiallinien aus einer elektrostatischen Simulation des Öl-Transformerboardisolationssystems.

FÜR JEDE ANWENDUNG DER PASSENDE SOLVER

Eine besondere Stärke von CST EMS ist die Vielzahl der verfügbaren numerischen Löser für verschiedene Problemstellungen. Zur Simulation von Verlusten durch elektromagnetische Felder in unterschiedlichen Elementen des Transformators wird der magnetoquasistatische Löser verwendet. Die Quellen der hier betrachteten Felder sind die Wicklungen, sowie die Leitungsführung der Wicklungsverbindungen, die zum Aktivteil gehören.

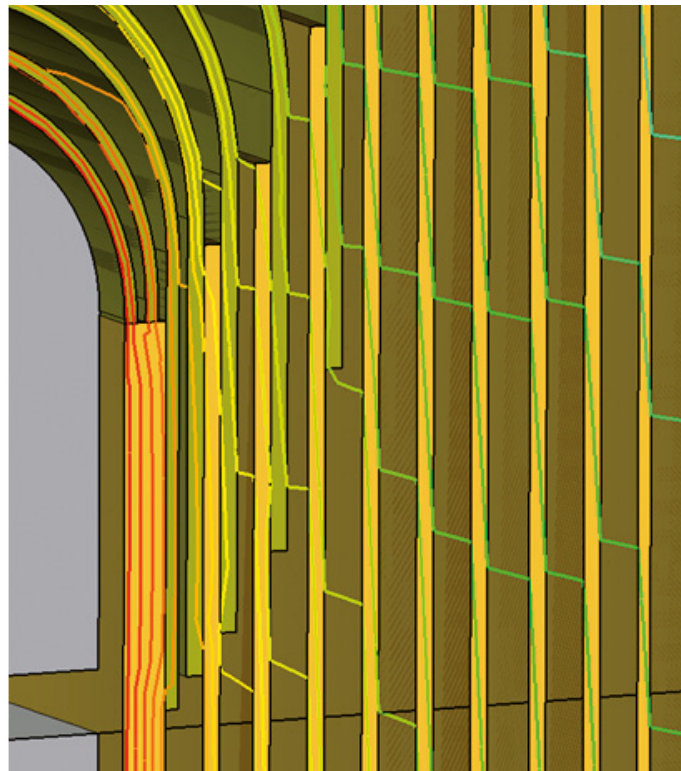


Abbildung 3) 2D-Äquipotentiallinienplot einer Gleichspannungsbeanspruchung des Öl-Transformerboard-Isolationssystems

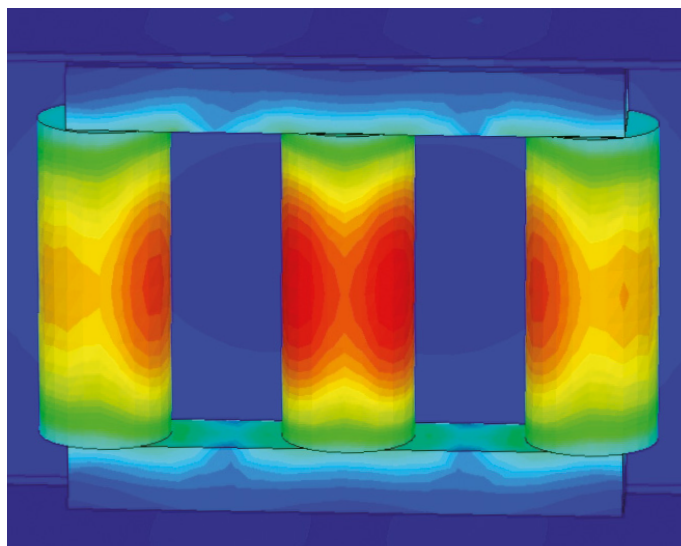


Abbildung 4) Simulation eines stark vereinfachten Aktivteilmodells zur Simulation der Wirkung von Schirmwänden (Darstellung der magnetischen Energiedichte im Kern)

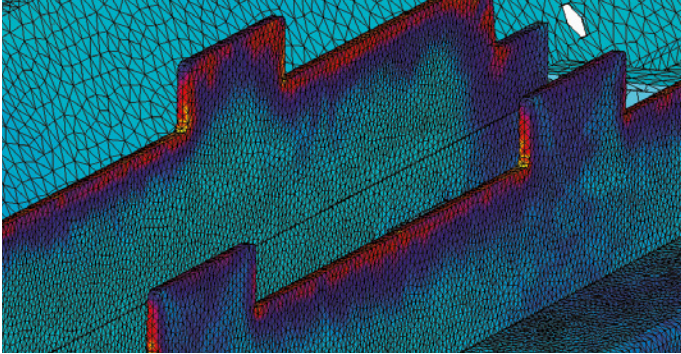


Abbildung 5) Verlustleistung in dem Pressrahmen

Der Aktivteil, bestehend aus dem Eisenkern, den Schenkelsätzen mit den konzentrischen Wicklungen und deren inneren Isolation, bildet das Herzstück des Transformators. Aufgrund der oben beschriebenen Streufeldquellen, kann es zu elektromagnetischen Einkopplungen in verschiedene metallische Konstruktionsteile kommen. Ziel der Simulationen ist es, die daraus entstehenden Verluste durch geeignete Leitungsführung oder auch durch entsprechende Schirmungsmaßnahmen zu vermeiden, bzw. zu reduzieren. Die magnetische Energiedichte im Kern, wie in Abbildung 4 dargestellt, hilft bei der Untersuchung der Wirkung von Schirmwänden. Das verwendete FEM-Verfahren auf Tetraedergittern erlaubt es, gekrümmte Oberflächen gut zu diskretisieren und die Wirbelstrom-Eindringtiefe aufzulösen. Dadurch können die elektrischen Eigenschaften der Schirmwände gut nachgebildet werden.

KEINE NEUENTWICKLUNG OHNE CST EM STUDIO

Die Bedeutung der Simulation in der hochspannungstechnischen Konstruktion und Dimensionierung, sowie der Bewertung der elektromagnetischen Verluste am Aktivteil wächst stetig. In Abbildung 5 werden die Verluste in der Presskonstruktion des Aktivteiles dargestellt. Deutlich zu erkennen ist der Effekt der Eindringtiefe. Die Modellierung dieser Eindringtiefe erfordert eine Kombination eines entsprechend feinen Gitters mit dem Einsatz von Elementen zweiter Ordnung. Thermische Überlegungen spielen dabei auch eine entscheidende Rolle. CST STUDIO SUITE bietet einen thermischen Löser an, der die elektrischen Verluste, die durch Simulation mit dem Niederfrequenzlöser ermittelt wurden, als Wärmequellen verwendet. Dadurch ist ein nahtloser Übergang zwischen elektromagnetischer und thermischer Simulation möglich, der für uns sehr interessante Analysemöglichkeiten eröffnet.

„CST EMS ist mittlerweile bei Siemens ein fester Bestandteil des Entwicklungsprozesses verschiedenster Leistungstransformator-komponenten geworden, insbesondere wegen der einfachen Bedienungsoberfläche und der Vielfalt der Löser. Dank der sehr engen Zusammenarbeit mit dem CST EMS Entwicklungsteam wurden Wünsche, Anregungen und Ideen immer offen aufgegriffen und zügig umgesetzt. Dies bildet die Basis für unsere Entscheidung auch weiterhin verstärkt die von CST angebotenen Lösungen anzuwenden.“

AUTOR:

Ronny Fritsche,
Siemens AG Sector Energy T TR PN
Katzwanger Str. 150, 90461 Nürnberg
mail: ronny.fritsche@siemens.com
Tel: 0911 434 2432, Fax: 0911 434 2315