

Neue Einsatzgebiete für die Mathematik: Fallstudien: Herausforderungen der modernen Elektrotechnik bewältigen

Wie Ingenieure aus jedem anderen wichtigen Fachbereich haben auch Elektroingenieure mit größeren mathematischen Herausforderungen als je zuvor zu kämpfen.

Noch nie waren folgende Aspekte der Entwicklung so wichtig wie heute:

- Nachhaltigkeit: Die Erschließung von sauberen, zuverlässigen Energiequellen, die den geopolitischen Bedarf decken
- Effizienz: Steigender Strombedarf, der sich unterschiedlich schnell entwickelt
- Intelligente Technologie: Konsumenten fordern größere Effizienz, mehr Kontrolle und bessere Anpassung

Für Elektroingenieure sind intelligentere Systeme mit höherem Wirkungsgrad, die die Anforderungen an saubere Energien – und die dafür notwendigen komplexen Berechnungen – erfüllen, der Schlüssel zur Lösung dieser anspruchsvollen Herausforderungen der heutigen Zeit. Noch nie war es so wichtig – und so schwierig –, nachhaltige, effiziente und intelligente Energielösungen zu liefern. Der Druck auf Elektroingenieure, einige der dringendsten Probleme der Welt zu lösen, war noch nie so hoch. Die Welt verändert sich rapide. Die Menschen benötigen besseren Zugang zu erneuerbaren Energiequellen, und die Technologie liefert Lösungen, bevor der Verbraucher überhaupt bemerkt, dass es ein Problem gibt.

Wenn wir uns die Konstruktionsberechnungen zur Lösung dieser Aufgabenstellungen ansehen, stellen wir in der Regel fest, dass sie äußerst komplex und schwierig zu verwalten sind. Es reicht nicht mehr aus, Konstruktionsberechnungen – das geistige Eigentum des Unternehmens – in Kalkulationstabellen und traditionellen Notizbüchern wegzusperren.



Noch nie war es so wichtig – und so schwierig –, nachhaltige, effiziente und intelligente Energielösungen zu liefern. Der Druck auf Elektroingenieure, einige der dringendsten Probleme der Welt zu lösen, war noch nie so hoch.“

Glücklicherweise hat sich die Berechnungstechnologie so weit weiterentwickelt, dass Ingenieure nun über äußerst effektive Lösungen verfügen – wenn sie denn richtig eingesetzt werden. Konstruktions- und Berechnungssoftware liefert Elektroingenieuren die Werkzeuge zur innovativen Bewältigung der dringendsten und komplexesten Probleme der heutigen Zeit.

In diesem Artikel werden moderne Projekte der Elektrotechnik vorgestellt, bei denen diese neuen Herausforderungen mithilfe von komplexer technischer Mathematik bewältigt wurden. Wir lernen Ingenieure kennen, die:

- Den Wirkungsgrad von Sonnenenergie maximieren
- Die Effizienz des Stromversorgungsnetzes verbessern, um den Bedarf für Elektrofahrzeuge und andere Fortbewegungsmittel zu decken
- Intelligenter, leistungsfähiger und kostengünstiger eingebettete elektrische Systeme entwickeln

Andasol 1–3: Fallstudie zur Speicherung von Sonnenenergie

Wirtschaftliche und politische Faktoren setzen Elektroingenieure zunehmend unter Druck, erneuerbare Energiequellen als echte Alternativen zu fossilen Brennstoffen zu erschließen. Saubere Energie wie Wind- oder Sonnenenergie kann die Luftverschmutzung reduzieren, natürliche Lebensräume erhalten, den Bedarf an Kernenergie senken und Ländern helfen, unabhängiger von Energielieferungen zu werden.

Strom lässt sich einfach aus Sonnenstrahlen gewinnen, die auf Photovoltaikanlagen oder Sonnenkollektoren treffen. Es ist allerdings kaum möglich, diese Energie in der Nacht oder bei bedecktem Himmel zu speichern.

Mittlerweile ermöglicht es allerdings der Prozess der Salzschnmelze, in Sonnenkraftwerken rund um die Uhr Energie zu gewinnen. Der hohe Schmelzpunkt von Salz und die Tatsache, dass es erst bei extrem hohen Temperaturen verdampft, machen es möglich, Sonnenenergie in Form von Wärme im Salz zu speichern.

Andasol 1, das 2008 in der Nähe von Granada in Spanien ans Netz ging, war das erste kommerzielle Kraftwerk mit Parabolrinnen-Solarthermie. Die Andasol-Kraftwerkanlage wurde vom deutschen Solartechnikunternehmen Solar Millennium AG entwickelt. Laut Sven Moormann, einem Sprecher von Solar Millennium, sind die Produktionsstunden fast doppelt so hoch wie bei solarthermischen Kraftwerken ohne Wärmespeicherung.

Mittlerweile sind drei Andasol-Anlagen mit einer Bruttoleistung von je 50 Megawatt im Betrieb, die insgesamt etwa 180 Gigawattstunden Strom im Jahr produzieren. Jeder Kollektor hat eine Fläche von 51 Hektar und verbraucht etwa 200 Hektar Land.

Das Wärmespeichersystem von Andasol nimmt einen Teil der auf dem Solarfeld während des Tages produzierten Wärme auf und speichert sie in einer Mischung aus Natriumnitrat (60 %) und Kaliumnitrat (40 %). Ein voller Wärmespeicher nimmt 1.010 MWh Wärme auf. Das reicht aus, um eine Turbine etwa 7,5 Stunden bei Volllast zu betreiben, wenn kein direktes Sonnenlicht verfügbar ist.

Die Einrichtung des Salzspeichersystems ist zwar mit Mehrkosten verbunden, allerdings werden diese durch die zusätzlichen Stunden der Energieproduktion ausgeglichen. Der in den Andasol-Anlagen gewonnene Strom hat ungefähr denselben Preis wie Strom aus



Wirtschaftliche und politische Faktoren setzen Elektroingenieure zunehmend unter Druck, erneuerbare Energiequellen als echte Alternativen zu fossilen Brennstoffen zu erschließen.

anderen solarthermischen Kraftwerken – etwa 13 USD-Cent pro Kilowattstunde. Das ist immer noch fast doppelt so viel wie Strom aus einem Kohlekraftwerk, der kostengünstigsten Energiegewinnungsform, wenn man die Umweltschädigung durch die Verbrennung von Kohle außer Acht lässt.

Ingenieure arbeiten intensiv an der Verbesserung der Effektivität von Salzspeicheranlagen. Besonders vielversprechend sind u. a. die Verwendung von



Konstruktions- und Berechnungssoftware liefert Elektroingenieuren die Werkzeuge zur innovativen Bewältigung der dringendsten und komplexesten Probleme der heutigen Zeit.“

Salzmischungen mit einem niedrigeren Schmelzpunkt und die Bündelung des Sonnenlichts auf einem einzelnen Turm zur Erhöhung der Salztemperatur. Jede Technologie zur Speicherung von Solarenergie mithilfe von Schmelzsätzen und zur Umwandlung der gespeicherten Energie in nutzbaren Strom beruht auf kritischen Berechnungen zu Wärmeübertragung, Wärmeanalyse und Umwandlung von Schmelzsatz in Dampf. Die Schmelzsatzmischungen können variieren, bestehen aber in der Regel aus Natrium- und Kaliumnitrat. Sie können aber auch einen Anteil an Calciumnitrat aufweisen. Für die optimale Salzmischung sind umfangreiche Berechnungen unter Verwendung der physikalischen Eigenschaften der einzelnen Salze und des Mischverhältnisses der Salze erforderlich. Für Konstruktionsoptimierungen auf diesem Niveau wird häufig Berechnungssoftware eingesetzt, da sie den Berechnungs- und Analyseprozess enorm erleichtert.

Beurteilung der Auswirkungen von Plugin-Hybridfahrzeugen: Fallstudie zu Stromversorgung und -nachfrage

Manche Ingenieure arbeiten an der Stromgewinnung aus neuen Quellen, während andere die Auswirkungen des gestiegenen Strombedarfs untersuchen. Forscher des Pacific Northwest National Laboratory haben beispielsweise die potenziellen Auswirkungen einer wachsenden Flotte von Plugin-Hybrid-Elektrofahrzeugen (PHEF) auf die Stromversorgungssysteme in den USA unter die Lupe genommen.

Lastflussschätzungen, Überlastungswahrscheinlichkeiten, Messungen der Durchschnittskapazität und andere Berechnungen haben diesen Ingenieuren geholfen, zwei zentrale Fragen einer detaillierten Versorgungsnetzanalyse zu beantworten:

- Wie wirkt sich eine wahrscheinliche Zunahme von Plugin-Hybridfahrzeugen regional auf die Stromproduktionskosten aus?
- Welche Auswirkungen auf die CO₂-Intensität sind für ausgewählte Ladestrategien auf regionaler Ebene zu erwarten?



Branchenschätzungen zufolge betreffen 80 % der Innovationen im Premium-Segment der Automobilindustrie die Elektronik.

Die Forscher gingen davon aus, dass bis zum Jahr 2030 etwa 37 Millionen PHEF auf den Straßen unterwegs sein werden und jedes Energie für etwa 53 km pro Tag benötigt. Zur Beurteilung des für dieses Szenario benötigten Energiebedarfs und der Durchführbarkeit eines Stromversorgungssystems für die Zusatzlast müssen mathematische Modelle entwickelt werden, um die Auswirkungen auf die Komponenten der Übertragungsanlagen zu untersuchen. Neben einfachen Berechnungen der Systemlast (Grundlast und Spitzenlast) und der Kapazitäten der Übertragungsanlagen insgesamt ist auch die Systemstabilität zu berücksichtigen. Gelegentlich werden Bauteile wie Kondensatoren oder Phasenschiebertransformatoren verbaut, um auf langen Übertragungsleitungen die Stabilität zu verbessern. Für die Modellierung der Stabilität von Stromübertragungsanlagen sind viele komplexe Berechnungen erforderlich. Eine erste Stabilitätsbeurteilung lässt sich durch die Berechnung von Spannungsabfällen in einer Leitung, die Messung der Erwärmung von Leitern und die mathematische Bestimmung der Auswirkungen von zusätzlichen Komponenten wie Kondensatoren und Transformatoren auf den Entwurf erhalten.

Im Fall der PHEF-Untersuchung war der Gesamtstrombedarf der Elektrofahrzeugflotte relativ moderat. Bei den Auswirkungen auf die Kosten gab es allerdings große regionale Unterschiede. Eine hohe Kostensensitivität wurde für Gegenden vorhergesagt, bei denen die Versorgung jetzt schon knapp ist, beispielsweise in Kalifornien oder im Nordosten der USA. Im mittleren Westen, einem traditionellen Stromexporteur, zeichnen sich deutlich geringere Auswirkungen auf die Kosten ab. In allen Regionen waren die Kostenauswirkungen für Ladevorgänge am Tag doppelt so hoch wie für nächtliche Ladevorgänge.

Die CO₂-Intensität als Folge der PHEF-Einführung wird voraussichtlich ebenfalls regional unterschiedlich ausfallen. In Staaten, die vorwiegend auf Energie aus Kohle setzen, wird sich durch die neue PHEF-Last die CO₂-Emissionsintensität für alle untersuchten Ladestrategien wahrscheinlich reduzieren. In Gegenden, die stärker auf Wasserkraft oder erneuerbare Energien bauen, kann die CO₂-Emissionsintensität tatsächlich zunehmen, wenn die Mehrproduktion für die PHEF-Flotte in erster Linie mit Kohle oder Erdgas gedeckt wird.

Anhand von technischen Berechnungen für Stromnetzlasten und die zugehörigen Übertragungs- und Verteilungsmodelle kam die Untersuchung zu dem Schluss, dass der zusätzliche Energiebedarf für die Ladung einer Flotte von 37 Millionen PHEF im Jahr 2030 keine größeren Auswirkungen auf das Stromnetz

haben wird. Ein weiteres Ergebnis war, dass das Laden von Elektrofahrzeugen im Nordosten, im Westen und in Florida nachts sauberer ist, während es im mittleren Westen tagsüber umweltfreundlicher ist.

Infotainment in der Automobilindustrie: Fallstudie zu eingebetteten Systemen

Ob ein Fahrzeug nun mit Strom, Treibstoff oder einer Kombination von beiden angetrieben wird – in jedem Fall enthält es viele eingebettete oder mittels Smartphone gesteuerte elektronische Systeme. Branchenschätzungen zufolge betreffen 80 % der Innovationen im Premium-Segment der Automobilindustrie die Elektronik.“

Viele Fortschritte in der Automobilindustrie – in den Bereichen Sicherheit, Emissionskontrolle, Komfort und Qualität – wären ohne moderne, computerbasierte Steuersysteme gar nicht möglich gewesen.

Von Elektroingenieuren wird erwartet, dass sie mit kleineren und schnelleren elektronischen Systemen immer mehr schaffen. Die Integration dieser Systeme in Konstruktionsprozesse, die immer noch von Menschen aus dem Maschinenbau verwaltet werden, macht die Situation noch schwieriger, ebenso wie variierende Kundenwünsche und Vorschriften. Die Modernisierung und Standardisierung von Elektronik-Systemarchitekturen sind Voraussetzung für eine erfolgreiche Konstruktion, darin stimmen Branchenkenner überein. Hans-Georg Frischkorn, operativer Leiter „Automotive“ beim Elektroniksystemanbieter ESG, ist der Überzeugung, dass die Standardisierung eine neue Ära vernetzter Funktionen einläuten wird. „Es wird äußerst spannend werden, das intelligente Auto, das intelligente Netz und das intelligente Heim miteinander vernetzt zu sehen“, freut er sich. Zugleich warnt er davor, dass durch das vernetzte Auto die Komplexität von Elektroniksystemen weiter zunehmen wird.

Clarion, die US-Niederlassung der japanischen Elektronikgruppe Hitachi, wagt mit dem Cloud-basierten Infotainment-Service „Smart Access“ einen Vorstoß in den Markt für vernetzte Services und ergänzt damit ihr Angebot von traditionellen Fahrzeugprodukten. „Smart Access“ verfügt über eine Smartphone-Anbindung und ist in der Lage, auf eine Vielzahl von Apps zuzugreifen, unter anderem für Fahrzeugwartung, Sicherheitsmanagement und Notrufe. Nach Auskunft von Telematik-Führungskräften werden Fahrzeuge sowohl über eingebettete Systeme als auch über Smartphone-Systeme mit dem Internet verbunden werden. Um den damit einhergehenden Herausforderungen



zu begegnen, hat beispielsweise Volkswagen eine neue, unternehmensweite IT-Akademie ins Leben gerufen, um Top-Talente für Elektronik und Softwareentwicklung zu gewinnen und zu binden. So soll sichergestellt werden, dass Experten verfügbar sind, die die verschiedenen Komponenten von eingebetteten Systemen für Fahrzeug-Infotainment-Systeme verwalten können. Hierzu gehört die Überwachung von eingebetteter Software ebenso wie von elektronischen Systemen. Softwareingenieure müssen in der Lage sein, Softwareprobleme zu finden und zu korrigieren. Elektroingenieure hingegen müssen Elektronikprobleme behandeln und lösen können. Hierzu ist eine vollständige Analyse der Schaltkreise und der Low-Level-Geräte erforderlich. Konstruktionsberechnungssoftware mit Funktionen zum Plotten von Größenordnungs- und Phasengängen, Stromformen durch verschiedene Komponenten, Signalübertragung, Verlust und Abschwächung, sowie zum Berechnen anderer Elektronik-/Schaltkreisanalysen ist für eine effektive Steuerung von eingebetteten Systemen im Bereich Fahrzeug-Infotainment unbedingt notwendig.

Zusammenfassung

Inwieweit es den heutigen Elektroingenieuren gelingt, die großen Entwicklungs Herausforderungen zu bewältigen, wird enorme Auswirkungen auf zukünftige Generationen haben.

Zur Verbesserung der Technologien für alternative Energiegewinnung, für die Entdeckung von Möglichkeiten für eine effizientere Energienutzung und zum Ausbau der Fähigkeiten von digitalen Geräten werden außergewöhnlich viel Mühe und Innovationsgeist erforderlich sein.

Ingenieure werden auch in Zukunft auf den technologischen Fortschritt angewiesen sein, um Herausforderungen heute und in Zukunft bewältigen zu können. Verbesserungen bei Rechenleistung und Konstruktionssoftware werden die Effizienz erhöhen, und zukunftsweisende Berechnungssoftware wird dazu beitragen, die Genauigkeit zu verbessern und Risiken zu mindern.

Quellen

Biello, David (2009). *How to Use Solar Energy at Night*, Scientific American, 18. Februar 2009. Abgerufen im April 2012 von: <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=how-to-use-solar-energy-at-night>

Bongard, Arjen (2012). *In Embedded Systems, Standardization Seen as Key*, Automotive IT International, 27. Januar 2012. Abgerufen im Mai 2012 von: <http://www.automotiveit.com/in-embedded-systems-standardization-seen-as-key/news/id-004886>

Clarion to Offer Telematics Service, Automotive IT International, 9. Mai 2012. Abgerufen im Mai 2012 von: <http://www.automotiveit.com/clarion-to-offer-telematics-service/news/id-005774>

Kintner-Meyer, Michael, et al. (2010) *Impact Assessment of Plug-in Hybrid Vehicles on the U.S. Power Grid*, EVS-25 Shenzhen, China, 5.-9. November 2010.

Telematics Update: Analyst Says Traffic Is Key Telematics Application, Automotive IT International, 18. April 2012. Abgerufen im Mai 2012 von: <http://www.automotiveit.com/telematics-update-analyst-says-traffic-is-key-telematics-application/news/id-005548>

Telematics Update: Room Seen for Embedded and Smartphone-based Connectivity, Automotive IT International, 18. April 2012. Abgerufen im Mai 2012 von: <http://www.automotiveit.com/telematics-update-room-seen-for-embedded-and-smartphone-based-connectivity/news/id-005552>

Wallin, Peter und Axelsson, Jakob. *A Case Study of Issues Related to Automotive E/E System Architecture Development*.

Zur Überwindung der Herausforderungen in der Elektrotechnik sind anspruchsvolle Berechnungen erforderlich.

Die Fortschritte bei Berechnungssoftware sorgen für Genauigkeit und mindern Risiken.

HERAUSFORDERUNG

ERFORDERLICHE BERECHNUNGEN

Wirkungsgrad von Sonnenenergie maximieren

- Auslegung des Solarladereglers
- Effizienz von Akkubanken bei niedrigen Temperaturen
- Strahlungsintensität der Sonne

Effizienz des Stromversorgungsnetzes verbessern

- Optimaler Leistungsfluss
- Gesamtübertragungsfähigkeit
- Energieeffizienz mittels Standardbildungsenthalpie

Bedarf für Elektrofahrzeuge decken

- Durchschnittliche Kapazität/Lastfaktor
- Lastflussberechnungen
- Netzüberlastungswahrscheinlichkeit

Leistungsfähigere, kostengünstigere eingebettete Systeme entwickeln

- Spannungsabfall
- Schwingkreisanalyse
- Lineare Superposition
- Piezowiderstands-Theorie

© 2012, PTC. Alle Rechte vorbehalten. Die Inhalte dieser Seiten werden ausschließlich zu Informationszwecken bereitgestellt und beinhalten keinerlei Gewährleistung, Verpflichtung, Bedingung oder Angebot seitens PTC. Änderungen der Informationen vorbehalten. PTC, das PTC Logo, PTC Creo, PTC Elements/Pro, PTC Mathcad, PTC Windchill, PTC Windchill PDM/Link, Pro/ENGINEER und alle PTC Produktnamen und Logos sind Warenzeichen oder eingetragene Warenzeichen von PTC und/oder Tochterunternehmen in den USA und anderen Ländern. Alle anderen Produkt- oder Firmennamen sind Eigentum ihrer jeweiligen Besitzer. Releasetermine sowie Funktions- oder Leistungsumfang können nach Ermessen von PTC geändert werden.

J0989-Mathcad_EE_(BCC1&2)-DE-1012