

Neue Einsatzgebiete für die Mathematik: Fallstudien zu Herausforderungen bei Berechnungen im modernen Maschinenbau und deren Bewältigung

Wie alle anderen Felder der technischen Entwicklung stehen auch Maschinenbauingenieure vor einer Vielzahl neuer mathematischer Herausforderungen.

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

- Innovation – Entwicklung besserer und effizienterer Systeme, selbst in extremen Umgebungen
- Nachhaltigkeit – Deckung des steigenden Bedarfs an sauberer und bezahlbarer Energie
- Sicherheit – Schutz von Menschen und Maschinen unter Einhaltung der strengeren Sicherheitsstandards und schwindenden Toleranzen für Verletzungen oder Beschädigungen

Für Maschinenbauingenieure stehen Systeme zum Schutz und zur Erhaltung im Mittelpunkt der Erfüllung dieser schwierigen Herausforderungen unserer Zeit – und die dafür notwendigen komplexen Berechnungen. Die präzise Steuerung von extremen Umgebungen oder Bedingungen, die sonst teure Technik, den Zugang zu zuverlässiger Energieversorgung oder sogar Menschenleben zerstören würden, war noch nie so bedeutend – und so schwierig. Von Ingenieuren wird erwartet, dass sie innovative Entwürfe erstellen, und mehr noch: Sie dürfen nicht versagen.

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.



Active Vibration Control ist für die Internationale Raumstation (ISS) erforderlich.

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 Bauingenieuren die Werkzeuge zur innovativen Bewältigung der dringendsten und komplexesten Probleme der heutigen Zeit.

In diesem Artikel werden moderne Maschinenbauprojekte vorgestellt, für die zur Bewältigung dieser neuen Herausforderung komplexe technische Mathematik eingesetzt wurde. Wir lernen Ingenieure kennen, die:

- Strukturen steuern und empfindliche Anlagen mit Active Vibration Control (AVC) schützen
- Das Potenzial der Gezeitenkraft als erneuerbare und bezahlbare Energiequelle maximieren
- Humanoide Roboter entwickeln, die an Orte gehen und Dinge tun können, die für Menschen zu gefährlich wären

ARIS: Fallstudie über AVC

Schwingungen können im Maschinen- und Anlagenbau, in Fahrzeugen, Flugzeugen und anderen mechanischen Strukturen zu übermäßigem Verschleiß und Ausfällen führen. Faktoren wie Risse und sich lösende Verbindungselemente können bei Menschen Schmerzen und Unbehagen auslösen und teure Reparaturen oder Ausfallzeiten zur Folge haben.

Passive Schwingungskontrolle mithilfe von Dämpfern, Absorbieren, Versteifungen und sonstigen strukturmechanischen Änderungen kann bei besonders empfindlichen und teuren Hightech-Produkten keinen ausreichenden Schutz bieten. Maschinenbauingenieure müssen daher unerwünschte Geräusch- und Vibrationsentwicklung mithilfe von elektromagnetischen Stellgliedern, die Bewegungen feststellen und steuern, reduzieren. AVC-Methoden mit Formgedächtnislegierungen, elektrorheologischen Flüssigkeiten und magnetorestriktiven Materialien können passive Lösungsansätze für komplexe Aufgabenstellungen in der technischen Entwicklung ergänzen, wenn passive Schwingungskontrollmethoden nicht ausreichend sind.



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

Ingenieure nutzen Gleichungen für einfache, aber auch komplexe Schwingungsanalysen, für unabhängige Teile und auch für Teile, die zu einem größeren System oder einer größeren Struktur gehören. In der Regel wird für die Erstellung von AVC-Modellen Rechensoftware verwendet. Wenn sonstige Faktoren wie beispielsweise die Schallübertragung in die Analyse einfließen, werden die Modelle komplizierter, sodass eine Softwareanwendung notwendig wird.

Die Berechnung der zahlreichen internen und externen Kräfte, bis eine präzise, schwingungsfreie Formel gefunden ist, kann recht aufwendig sein, insbesondere, wenn das Produkt in unbekanntem oder unvorhersehbaren Umgebungen eingesetzt werden soll.

In der Internationalen Raumstation ISS, in der die Schwerelosigkeit nahezu komplett fehlt, ist AVC notwendig, damit die Wissenschaftler die Auswirkungen der Schwerkraft auf biologische, chemische und physikalische Systeme besser verstehen können. Das Active Rack Isolation System (ARIS) der NASA schützt die Experimente vor Vibrationen von außen, die die Forschungsergebnisse verfälschen könnten.

ARIS reduziert Störungen mithilfe einer Kombination von Sensoren und Stellgliedern. Wenn Beschleunigungsmessbaugruppen Störungen von der Raumstation

erkennen, senden sie entsprechende Informationen an die Elektronikeinheit von ARIS. Anhand der Daten erzeugen Schubstangen eine Reaktivkraft zwischen dem Nutz-Rack und dem Labormodul. Eine zusätzliche Mikrogravitäts-Rack-Barriere hilft, versehentliche Störungen des aktiven ARIS-Racks zu vermeiden.

Hydrokinetische Turbinen auf Basis von oszillierenden Tragflügelbooten: Fallstudie über erneuerbare Energie

Selbst für auf den ersten Blick einfache Projekte können anspruchsvolle Berechnungen notwendig sein. Diese Erfahrung machte 2010 auch ein Team von Maschinenbau- und Elektroingenieuren der Laval University in Québec (Kanada).

Auf der Suche nach einer Möglichkeit, die Kraft von Wasserströmungen zu nutzen, die höher war als konventionelle sich drehende Schaufeln, kam das Team auf die Idee, oszillierende Tragflügelboote zu verwenden.

Nach einer ausführlichen Analyse auf Basis von mathematischen Modellen der Strömungsmechanik entwickelte das Team eine 2-kW-Turbine als Prototyp, die für Tests auf einem See auf einem speziellen Ponton-Boot befestigt wurde. Die Konstruktion dieser Turbine war äußerst rechenintensiv. Für die Entwicklung der folgenden Komponenten war eine umfangreiche Sammlung von Formeln, Gleichungen und Diagrammen erforderlich:

- Zwei rechteckige oszillierende Tragflügelboote in einer räumlichen Tandemkonfiguration
- Vierfachmechanismen zur Kopplung der Stampfbewegungen der einzelnen Tragflügelboote an die zyklische Hebebewegung
- Ein System mit einem Freiheitsgrad als Antrieb für die Rotationswelle
- Ein drehzahl geregelter Stromgenerator (verbunden mit der Rotationswelle)
- Akkubank, gespeist vom Generator

Die installierte Generatorleistung wurde für mehrere Fließgeschwindigkeiten (Wasser) und Oszillationsfrequenzen (Tragflügelboot) gemessen und der Durchschnitt errechnet. Die Hebe- und Stampfamplitude lag in allen Durchgängen konstant bei der einfachen Profiltiefe bzw. 75°.

Bei maximaler Leistung erreichte die gemessene Generatorleistung nach Berücksichtigung aller Verluste im mechanischen System einen Wirkungsgrad von 40 Prozent. Die mechanischen Verluste des bei dieser ersten Implementierung verwendeten Kopplungsmechanismus betragen schätzungsweise mindestens 25 Prozent der gesamten Generatorleistung.

Der Prototyp übertraf mit einem hydrodynamischen Wirkungsgrad von 40 Prozent alle Erwartungen und erreichte ein Niveau, das mit den besten modernen Rotorblattturbinen vergleichbar war. Da rechteckige Tragflügelboote im Bau günstiger sind als verdrehte Rotorblätter, zeigen diese Ergebnisse das vielversprechende Potenzial der neuen Technologie, Strom aus fließendem Wasser zu gewinnen.

MABEL: Fallstudie humanoide Roboter

Während manche Maschinenbauingenieure versuchen, die Energieprobleme der Welt zu lösen, widmen andere ihre Zeit der Entwicklung von humanoiden Robotern. Die Forschung in diesem Bereich ebnet den Weg für Fortschritte bei Orthesen und Prothesen sowie beim Bau von Maschinen, die eine Vielzahl von Aufgaben übernehmen können, die normalerweise Menschen erledigen – von unterhaltsamen Aufführungen bis hin zu gefährlichen Militär- oder Rettungseinsätzen.



Ohne Konstruktionsberechnungssoftware für die Modellierung der Roboterkomponenten und -interaktionen wären Roboter wie MABEL kaum zu entwickeln.“

„Wenn Sie einen Roboter in ein brennendes Haus schicken wollen, um eingeschlossene Menschen zu suchen, muss dieser in der Lage sein, Treppen zu steigen und hinunterzugehen, Spielzeug auf dem Fußboden auszuweichen und in einer Umgebung zurechtzukommen, in der Räder und Schienen nicht geeignet sind“, erklärt Jessie Grizzle, Maschinenbauprofessorin an der University of Michigan.



Inwieweit es den heutigen Maschinenbauingenieuren gelingt, die großen Entwicklungsherausforderungen zu bewältigen, wird enorme Auswirkungen auf zukünftige Generationen haben. Genaue mathematische Berechnungen sind daher ein Muss.“

Grizzle gehört einem Universitätsteam an, das mit MABEL, einem zweifüßigen Roboter, der mehr als 110 freie Schritte schafft, große Schritte voran macht. Die Füße des Roboters erheben sich sieben bis 10 Zentimeter vom Boden, und für 40 Prozent der Schrittdauer hat der Roboter überhaupt keinen Bodenkontakt. MABEL läuft mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 7 km/h und erreicht eine Spitzengeschwindigkeit von 11 km/h.

MABEL wiegt über 65 kg, mit einem schweren Torso (40 kg), zwei Beinen und einem Seilzug-Übertragungssystem. Die Gewichtsverteilung entspricht der eines Menschen. Auch beim Menschen ist das Gewicht im Oberkörper konzentriert, und die leichten Beine ermöglichen eine schnelle Fortbewegung. Federn im Roboter übernehmen die Aufgabe der Sehnen im menschlichen Körper; sie absorbieren Kräfte und speichern Energie.

Nach dem Bau von MABEL entwickelten die Ingenieure der Universität ein detailliertes mathematisches Modell des Roboters. Anhand dieses Modells entwarfen sie die Algorithmen des Steuerungssystems. Über eine nichtlineare, konforme Hybrid-Nulldynamiksteuerung mit Aktivkraftkontrolle, die in Echtzeit ausgeführt wird, wird eine selbsttätige Regelung erreicht.

Während der Roboter geht, läuft oder steht, misst ein Rückkopplungsregler alle Gelenkpositionen und Körperwinkel und errechnet die Befehle, die an die je zwei Motoren pro Bein übermittelt werden sollen. Die resultierenden Bewegungen bestimmen in Verbindung mit den Federn und Massen des Robotermechanismus die Kräfte, die die Beine auf den Boden anwenden, um in den Laufrhythmus zu finden.

Eine atemberaubende Menge von mathematischen Berechnungen macht den Bau von erfolgreichen humanoiden Robotern so schwierig. Der physikalische, mechanische und regelungstechnische Systementwurf erfordert komplexe Konstruktionsmodelle. Eine wichtige Berechnung ist die des Nullmomentpunkts (NMP) des Roboters. Das ist der Punkt auf dem Boden, an dem die Summe aller Momente der aktiven Kräfte null ist. Dieses Konzept ist eine Grundvoraussetzung für die dynamische stabile Haltung von zweibeinigen Robotern. Ohne Konstruktionsberechnungssoftware für die Modellierung der Roboterkomponenten und -interaktionen wären Roboter wie MABEL kaum zu entwickeln.

Zusammenfassung

Inwieweit es den heutigen Maschinenbauingenieuren gelingt, die großen Entwicklungsherausforderungen zu bewältigen, wird enorme Auswirkungen auf zukünftige Generationen haben. Genaue mathematische Berechnungen sind daher ein Muss.

Die Entwicklung von sicheren Strukturen, der Fortschritt bei den erneuerbaren Energien und der Bau von menschenähnlichen Robotern erfordern außergewöhnlichen Einsatz und große Erfindungsgabe.

Ingenieure werden auch in Zukunft auf den technologischen Fortschritt angewiesen sein, um Herausforderungen heute und in Zukunft bewältigen zu können. Leistungsfähigere Computer und bessere Konstruktionssoftware werden die Performance verbessern, die Genauigkeit sicherstellen und Risiken mindern.



Quellen:

Active Rack Isolation System (ARIS); ARIS ISS Characterization Experiment (ARIS-ICE), SpaceRef Interactive, Inc. Abgerufen im April 2012 von:

<http://www.spaceref.com/iss/payloads/aris.html>

Biped Robot MABEL Runs Free! DynamicLegLocomotion, 12. August 2011.

Abgerufen im April 2012 von:

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=xl0wk6_xpWo

Casal Moore, Nicole (2011). *Running robot: MABEL is now the world's fastest two-legged robot with knees*, University of Michigan News Service, 15. August 2011.

Abgerufen im April 2012 von: <http://ns.umich.edu/new/releases/8508>

Kinsey, T., et al. (2011). *Prototype testing of a hydrokinetic turbine based on oscillating hydrofoils*, Renewable Energy, 36 (2011) 1710e1718

Vibration Control, Indian Institute of Technology Delhi, 14. Januar 2011. Abgerufen im April 2012 von:

<http://www.scribd.com/doc/46861549/Chapter-7-Methods-of-Vibration-Control>

© 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 Mathcad 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 und Funktionsumfänge können nach Ermessen von PTC geändert werden.

J0807-Mathcad ME Whitepaper-DE-0912

Zur Überwindung der Herausforderungen im Maschinenbau sind anspruchsvolle Berechnungen erforderlich

Die Fortschritte bei Berechnungssoftware sorgen für Genauigkeit und mindern Risiken.

HERAUS-FORDERUNG

ERFORDERLICHE BERECHNUNGEN

Active Vibration Control (AVC) bei Strukturen

- Eigen-Wert-Problem über Lanczos-Rekursion
- Schallübertragung

Effizienz der Modellierung in komplexen Domänen wie Automobilbau und Luft-/Raumfahrt verbessern

- Dynamische vibroakustische Analyse
- Statische und dynamische Spannungsberechnungen
- Sicherheitsanalyse

Potenzial der Gezeitenkraft maximieren

- Repräsentative Flussgeschwindigkeit
- Betz'scher Leistungsbeiwert

Menschliche Fortbewegung auf zwei Beinen robotisch simulieren

- Nullmomentpunkt (NMP)