

Modellbildung mechatronischer Systeme

„Disziplinübergreifendes Systemverständnis durch mechatronische Analogien“

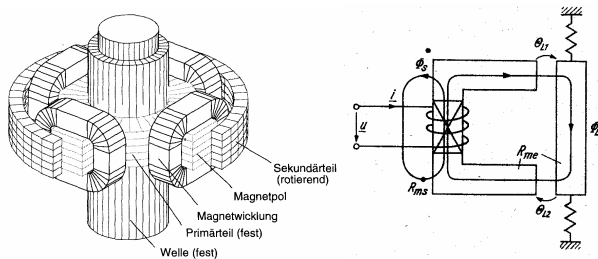
Der moderne Maschinenbau ist geprägt von mechanischen Produkten, die zunehmend durch Elektronik und Informationstechnik ergänzt werden. Häufig werden sie sogar, ausgehend von einem ganzheitlichen Systemverständnis, von vornherein als mechatronische Produkte konzipiert. Diese Entwicklung hat zur Folge, dass Fachdisziplinen wie „Mechanik“, „Elektrik“, „Magnetik“, die noch vor kurzem relativ isoliert von jeweiligen Spezialisten behandelt wurden, nun vom Produktentwickler als integriertes System behandelt werden müssen.

Nur selten wird sich ein solcher Entwickler in allen benötigten Disziplinen von vornherein als ausgebildeten Fachmann bezeichnen können. Er wird vielmehr gezwungen sein, sich als Quereinsteiger in eine neue Disziplin einzuarbeiten und daher möglichst viele Analogien zwischen seiner gewohnten und der neu zu erlernenden physikalischen Domäne suchen.

Bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH erarbeiten wir Ersatzmodelle für mechatronische Systeme, und zwar ausgehend von einer energetischen Betrachtungsweise, die wir als „mechatronische Analogie“ bezeichnen. Dieser Ansatz ermöglicht es, mechatronische Systeme in übersichtlichen Gesamtmodellen abzubilden, welche die beteiligten physikalischen Domänen energetisch miteinander verlinken. Drei Beispiele aus der Praxis illustrieren die Vorteile dieser Herangehensweise.

Magnetlager (elektromagnetischer Wandler)

Das in Bild 1 dargestellte Magnetlager besteht aus mehreren Magnetkreisen, welche dazu dienen, die zentral angeordnete Welle berührungslos in ihrer radialen Lage



zu stabilisieren.

Bild 1 Links: Technische Ausführung eines Magnetlagers [Meins: „Elektromechanik“]; rechts: Grundstruktur eines elektromagnetischen Wandlers [Lenk: „Elektromechanische Systeme“].

In der im Bild rechts gezeigten Grundstruktur erkennt man einen Luftspalt im magnetischen Kreis, dessen Breite sich über die Bestromung des Elektromagneten beeinflussen lässt. Von der Luftspaltbreite hängt die Zugkraft zwischen Magnetjoch und Anker ab, so dass

die Lage des Ankers letztlich durch Regelung des Stroms stabilisiert werden kann. Dem Anker entspricht in dem technischen Ausführungsbeispiel die in ihrer Lage zu stabilisierende Welle.

Üblicherweise wird dieses System in der Fachliteratur als elektromechanischer Energiewandler behandelt, was bezüglich seiner Außenwirkung auch stimmt. Die energetischen Wirkungsweisen sind aber viel besser verständlich, wenn ein durchgängiges mechatronisches Gesamtmodell betrachtet wird, in dem alle drei physikalischen Domänen, also auch die Magnetik, erfasst werden. Mit dem Ansatz der mechatronischen Analogie haben wir bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH ein solches Modell entwickelt. Die durchgängige „Sprache“ der elektrotechnischen Netzwerkdarstellung lässt auch solche Entwickler die Wirkungsweise des magnetischen Teilnetzwerkes verstehen, die von Haus aus keine Spezialisten in dieser Disziplin sind.

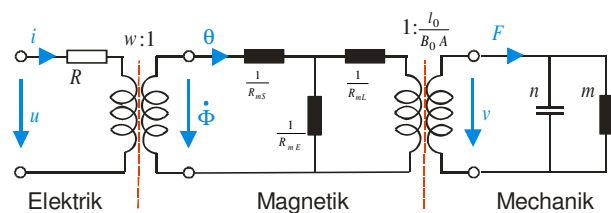


Bild 2 Linearisiertes Ersatzschaltbild des elektromechanischen Wandlers auf Basis mechatronischer Analogien

Aus den elementaren Beziehungen der Magnetik wurde hier analog zur Mechanik und zur Elektrik ein Modell des Magnetkreises formuliert, welches über jeweils einen elektrisch-magnetischen und einen magnetisch-mechanischen Wandler an die jeweiligen Domänen angekoppelt ist. Um diese beiden Energiewandlungsstufen im Schaltbild als ideale Übertrager repräsentieren zu können haben wir die in der Magnetik weit verbreitete Analogie des „ohmschen Gesetzes der Magnetik“, bei der eine Reluktanz mit dem Symbol eines elektrischen Widerstandes bezeichnet wird, verändert.

Aus dem Ersatzschaltbild wird unmittelbar deutlich, dass die magnetischen Reluktanzen elektrisch induktive Wirkung besitzen. Die mechatronische Analogie vermeidet damit die falsche Annahme, dass eine Reluktanz ein dissipativer Widerstand (mit thermischem Energieverlust) sei. Dieser Irrtum drängt sich bei Betrachtung des klassischen Schaltbildes intuitiv auf.

Elektromagnetischer Wicklungstransformator

Bild 3 zeigt die Grundstruktur eines Wicklungstransformators, bei dem zwei Spulen mit unterschiedlicher Anzahl von Wicklungen auf einen gemeinsamen magnetischen Kern gewickelt sind. Da beide Wicklungen – abgesehen von magnetischen Streuflüssen – vom gleichen magnetischen Fluss durchsetzt sind, ergibt sich eine Übersetzung von Spannungen und Strömen von der Primär- zur Sekundärseite.

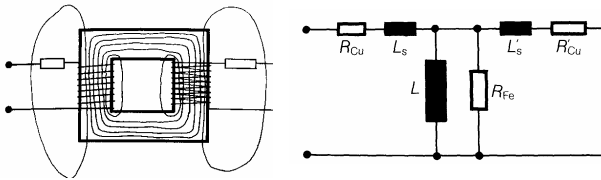


Bild 3 Grundstruktur eines handelsüblichen Wicklungstransformators und elektrisches Ersatzschaltbild [Gerthsen, Kneser, Vogel: „Physik“]

In der Fachliteratur wird dieses System gewöhnlich als rein elektrisches System behandelt. Das klassische Ersatzschaltbild enthält dann drei Induktivitäten in T-Anordnung, deren physikalischer Ursprung auf Basis einer für disziplinfremde Ingenieure wenig anschaulichen Gegeninduktivität erklärt wird. Sie besitzt den Nachteil, dass sie sich im Schaltbild nicht mit gewohnten Elementen repräsentieren lässt.

Eleganter lässt sich das System mit Hilfe der mechatronischen Analogie behandeln: Dabei wird der magnetische Kreis (das Herzstück des Transformators) als Bindeglied zwischen Primär- und Sekundärseite behandelt (Bild 4). Wieder führen elementare Magnetikzusammenhänge auf eine recht überschaubare Struktur, aus der der induktive Charakter der Streu- und Hauptreluktanzen unmittelbar zu entnehmen ist. Bei Bedarf lassen sich die magnetischen Netzwerkkomponenten auf die elektrische Seite transformieren, wodurch sich direkt das in Bild 3 rechts gezeigte elektrische Schaltbild herleiten lässt.

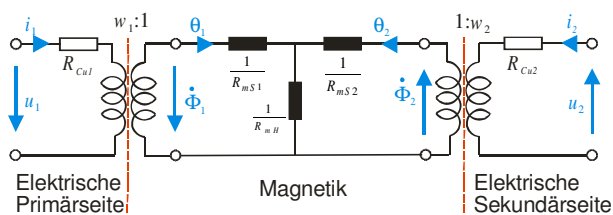


Bild 4 Magnetischer Wicklungstransformator als elektrisch-magnetisch-elektrischer Energiewandler

Piezoelektrischer Transformator

Als weiteres Beispiel dient ein piezoelektrischer Transformator (Bild 5). Derartige Transformatoren zeichnen sich u. a. durch besonders flache Bauform und hohes erzielbares Spannungs-Übersetzungsverhältnis aus.

Die Energiewandlung erfolgt von der elektrischen Primärseite über einen mechanischen Resonanzkreis auf

die elektrische Sekundärseite. Ein Ersatzschaltbild nach mechatronischer Analogie zeigt Bild 6.

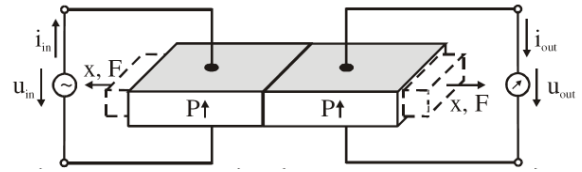


Bild 5 Prinzipskizze eines piezoelektrischen Transformators

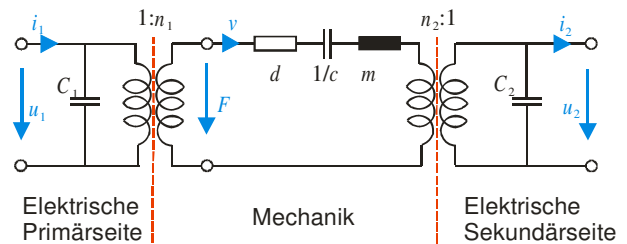


Bild 6 Ersatzschaltbild eines piezoelektrischen Transformators

Piezoelektrische Systeme besitzen in ihren elektrischen Teilnetzwerken kapazitiven Charakter. Für die Energiewandlung hat das zur Folge, dass die mechanische Kraft proportional zur elektrischen Spannung ist – anders als bei induktiven Wandlern wie dem in Bild 1 beschriebenen Magnetlager, bei denen der Strom die Kraft erzeugt.

Beim piezoelektrischen Transformator bietet es sich deshalb an, im mechanischen Teilnetzwerk die Kraft als Klemmen- und die Geschwindigkeit als Flussgröße aufzufassen (man beachte den Unterschied zu Bild 1), denn so können für die beiden Wandlungsstufen ideale Übertrager verwendet werden.

Unsere Kompetenz

Bei der ATHENA Technologie Beratung GmbH entwickeln wir Modelle für mechatronische Systeme. Als Mechatroniker sind wir Spezialisten für die korrekte Modellbildung der energetischen Wandlungsstufen. Die Betrachtungsweise über die Grenzen der physikalischen Domänen hinweg versetzt uns in die Lage, durchgängige Modelle für Gesamtsysteme zu erstellen, mit denen unsere Kunden ihre technischen Problemstellungen zielorientiert bearbeiten oder bestehende Lösungen effektiv optimieren können.

Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann, Leiter der Technischen Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA
Technologie Beratung GmbH
Technologiepark 13
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 60
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: info@myATHENA.de
<http://www.myATHENA.de>