



Optimierte Produktentwicklung durch gekoppelte Feld- und Systemsimulation

Das große Ganze

Relais in Gebäudebeleuchtungsanlagen werden in der Regel erst dann bemerkt, wenn sie ausfallen – man sitzt im Dunklen. Um das zu verhindern, muss gewährleistet werden, dass sie auch nach enorm vielen Schaltzyklen und trotz fertigungsbedingter Parameterstreuungen möglichst energiesparend den Strom an- und abschalten.

Da es sich um mechatronische Systeme mit elektromagnetischen und mechanischen Komponenten handelt, sind die Wechselwirkungen aller Teile und der zulässige Streubereich der Fertigungstoleranzen nicht mehr mit einem Blick zu erfassen. Zur Konstruktion eines stromsparenden Dauerläufers ist es unerlässlich, nicht nur die Einzelteile zu untersuchen, sondern auch das Gesamtverhalten zu erfassen und mittels geeigneter Methoden den Einfluss von Parameterstreuungen zu untersuchen.

Reduzierter Leistungseintrag

Der Strom durch die Spule des Relais erzeugt eine magnetische Kraft, die auf den Anker wirkt. Dieser klappt in Abhängigkeit

von der Stromrichtung in die geöffnete oder geschlossene Position (Bild 1). Das Feld der Permanentmagnete im Eisenkreis hält den Anker auch bei ausgeschaltetem Strom in der geschlossenen Position. Ein kurzer entgegengesetzter Spannungspuls hebt den Anker an, die Vorspannung zwischen Kontakt- und Ankerüberhubfeder sowie der montagebedingte Kippwinkel der Ankerfeder sorgen dafür, dass der Anker umklappt und der elektrische Kontakt geöffnet wird.

Die Auslegung der Vorspannungen und der Einbau eines Trennblechs erzwingen ein monostabiles Verhalten – der Kontakt schließt hier nur ab einer bestimmten Spulenspannung – bei gleichzeitiger Absenkung des Leistungseintrags gegenüber monostabilen Relais ohne Elektromagnete.

Bei diesen schließt der Kontakt auf Grund des geringeren Felds erst bei höheren Spannungen.

Was verursacht Verschleiß?

Beim Öffnen des elektrischen Kontakts entsteht ein Lichtbogen, der zum Verschleiß der Kontaktflächen beiträgt und diese im ungünstigsten Fall verschweißen lässt. Durch das mechanische Prellen der Kontaktfeder wird dieser Lichtbogen für jeden Schaltvorgang mehrfach gezündet. Ziel der Auslegung ist es, neben dem Leistungseintrag das Prellen zu reduzieren. Hier stellt sich also die Frage, bei welcher minimalen Spannung in Kombination mit Vorspannung und Kippwinkel das gewünschte Verhalten erzielt werden kann.

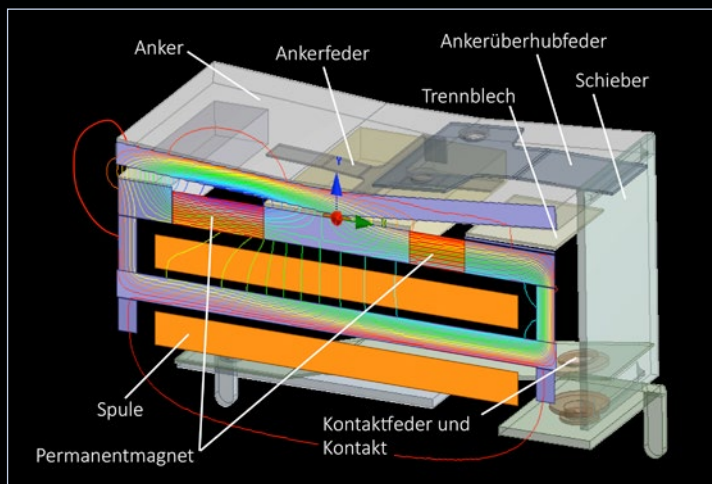


Bild 1: Mechanischer und elektromagnetischer Aufbau eines Relais.

„Zur Reduktion der Simulationszeit werden die Feldlösungen hier in Form von reduzierten Modellen berücksichtigt, die das Verhalten der einzelnen Komponenten abbilden.“

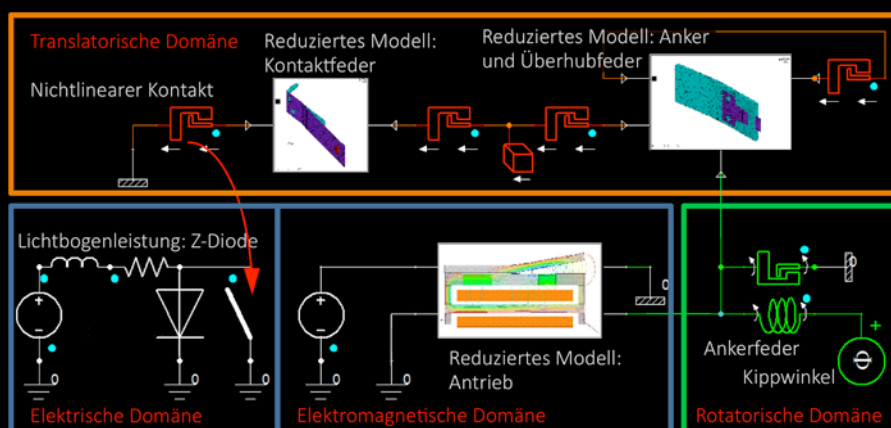


Bild 2: Bei der Systemsimulation werden die verschiedenen physikalischen Domänen miteinander verknüpft.

Die Systemsimulation wird in ANSYS Simplorer realisiert. Dabei erfolgt die Verknüpfung der Feldsimulationen mit elektrischen Schaltungen, magnetischen, mechanischen, thermischen oder hydraulischen Elementen sowie Blockdiagrammen, Zustandsgraphen und VHDL-Elementen (Bild 2). Zur Reduktion der Simulationszeit werden die Feldlösungen hier in Form von reduzierten Modellen berücksichtigt; diese bilden das Verhalten der einzelnen Komponenten ab und werden deswegen auch als Verhaltensmodelle bezeichnet.

Mehrere physikalische Domänen „dressieren“

Für den mechanischen Teil wird ein lineares Zustandsraummodell basierend auf einer modalen Reduktion erstellt. Die Definition der physikalischen Ein- und Ausgänge des Systems (Kräfte bzw. Verschiebungen an ausgewählten Stellen) erfolgt in der Modalanalyse bequem per Named Selections oder durch Remote Points; die resultierenden Zustandsraummatrizen werden mit einem vorgefertigten Makro (per SPMWRITE) extrahiert. Das generierte Zustandsraum-

modell antwortet also auf eine Kraft bzw. ein Drehmoment am Eingang mit einer Verschiebung bzw. einem Winkel am Ausgang. Mittels Simplorer-Blöcken mit angepassten Kontaktsteifigkeiten in den mechanischen Anschlüssen ist das nichtlineare Verhalten sich öffnender bzw. schließender Kontakte darstellbar. Die elektromagnetische Domäne wird zweidimensional in

Maxwell abgebildet und als Kennfeldmodell (ECE – Equivalent Circuit Extraction) in Simplorer implementiert. Dieses Kennfeld enthält den verketteten Fluss und das Drehmoment in Abhängigkeit von Strom und Ankerwinkel. Eine Ersatzschaltung mit einer Z-Diode bildet die im Lichtbogen umgesetzte Leistung ab, gesteuert über das Schließen der Kontaktfeder.

Seminar: Methoden der Feldkopplung und Systemsimulation

Mechatronische Systeme mit mehreren gekoppelten physikalischen Domänen können in ANSYS Workbench mit Hilfe entsprechender Methoden erfolgreich analysiert werden. Dieses Seminar vermittelt anwendungsbezogene Lösungen unter Nutzung der Kopplungs- und Interpolationsmöglichkeiten verteilter Feldgrößen zwischen Analysesystemen. Ferner werden numerische Ansätze zur Erzeugung von Verhaltensmodellen (ECE, SPMWRITE) aufgezeigt und deren Verwendung in der Systemsimulation trainiert.

Der Schwerpunkt dieses Seminars liegt auf der Elektromagnetik- und Systemsimulation, wobei neben ANSYS Mechanical auch ANSYS Maxwell und ANSYS Simplorer verwendet werden.

Termin: 18. bis 19. Dezember 2014

Ort: Leinfelden-Echterdingen

www.cadfem.de/seminar-feldkopplung

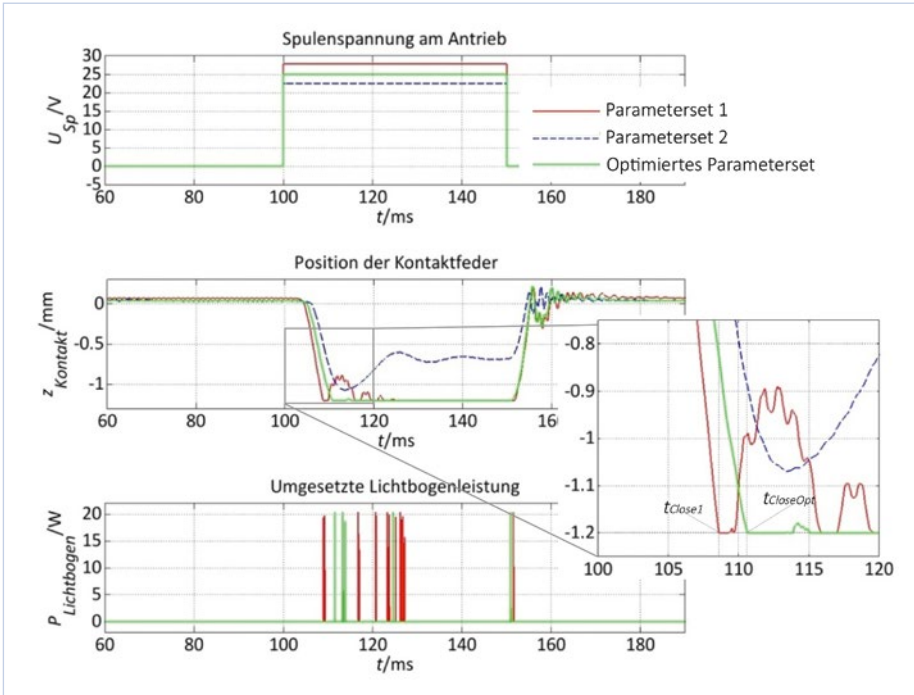


Bild 3: Schaltverhalten des Relais und Zündung des Lichtbogens für drei verschiedene Parameterkonfigurationen. Das Prellen des Kontakts (Mitte) führt zum Zünden von Lichtbögen (unten).

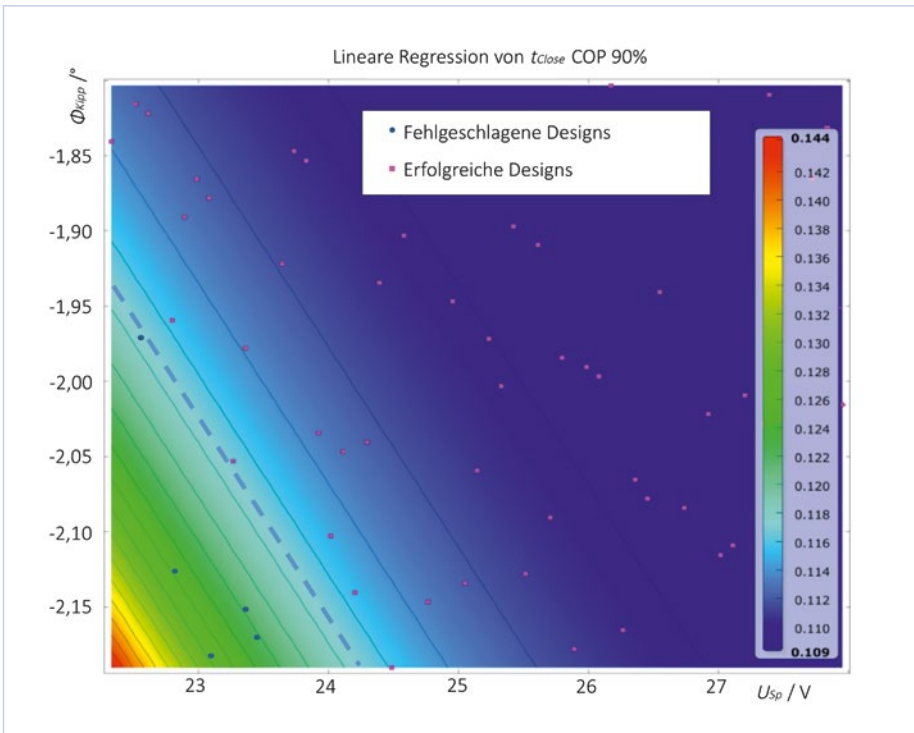


Bild 4: Abhängigkeit des Schließzeitpunkts von Spulenspannung und Kippwinkel.

Das initiale Design (Parameterset 1 aus Bild 3) liefert ein monostabiles Schaltverhalten des Relais – der Kontakt schließt für eine positive Spulenspannung, ansonsten ist er offen. Allerdings ist ein deutliches Prellen und damit verbunden das Auftreten von Schaltbögen sichtbar. Im Parame-

terset 2 wurde zur Reduktion der Leistung im Antrieb die Spulenspannung U_{Sp} gesenkt. Der Kippwinkel der Ankerfeder Φ_{Kipp} ist ein Fertigungsparameter und die auftretenden Toleranzen können dazu führen, dass sich die Kontaktfeder zwar noch bewegt, jedoch der Kontakt wie in diesem

Fall nicht mehr schließt (siehe mittleres Diagramm, blaue Kurve). Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs ist eine systematische Variation von Konstruktions- und Betriebsparametern sowie Fertigungstoleranzen unabdingbar. Die Kenngrößen Spulenspannung, Federvorspannung und Kippwinkel können parametrisiert werden, um sie dann mit der Software optiSLang einer Sensitivitätsanalyse zu unterziehen. Diese zeigt deutlich die Abhängigkeit des Schließzeitpunkts t_{Close} des Relais von der Spulenspannung U_{Sp} und dem Kippwinkel der Ankerfeder Φ_{Kipp} . Die gestrichelte Linie in Bild 4 markiert die Grenze zwischen erfolgreichen und fehlgeschlagenen Designs in optiSLang – wenn das Relais nicht schließt, kann der Wert t_{Close} nicht ermittelt werden und das Design gilt als fehlgeschlagen.

Reduzierter Lichtbogen durch Optimierung

Anhand der Sensitivitätsanalyse lässt sich also eine eindeutige Fertigungsvorschrift dafür ableiten, wie groß die Toleranz des Kippwinkels für eine bestimmte Spulenspannung sein darf. Eine Optimierung in optiSLang bezüglich minimaler Lichtbogenleistung und Leistung im Antrieb führt zu dem in Bild 3 dargestellten optimierten Parametersatz, bei dem das Relais kaum noch prellt. Dabei kann die im Lichtbogen umgesetzte Leistung gegenüber dem Originaldesign um mehr als 60% reduziert werden. Außerdem sinkt die Antriebsleistung gegenüber dem Originaldesign um 20%.

Durch die Systemsimulation basierend auf Verhaltensmodellen, die aus FE-Analysen extrahiert wurden, wird das Relais zu einem stromsparenden Dauerläufer. Die Systemsimulation eröffnet die Möglichkeit, beim Zusammenspiel elektromagnetischer, mechanischer, thermischer und hydraulischer Komponenten das komplette Optimierungspotenzial auszuschöpfen. Ein optimales Verhalten mechatronischer Systeme wird nicht nur durch die Verbesserung einzelner Komponenten erzielt, sondern vor allem durch die Abstimmung der Parameter aufeinander.

InfoAutor

Hanna Baumgartl und Martin Hanke, CADFEM GmbH

InfoAnsprechpartner | CADFEM

Hanna Baumgartl
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-120
hbaumgartl@cadfem.de

InfoVerwendete Software

ANSYS Workbench, ANSYS Simplorer, Maxwell, optiSLang