

Simulationsgestützte Auslegung von Lineardirektantrieben mit MAXWELL, SIMPLORER und ANSYS

Dipl.-Ing. Matthias Ulmer, Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe

Universität Stuttgart, Stuttgart, Deutschland

1 Motivation und Zielsetzung

Lineardirektantriebe halten immer stärker Einzug in die Automatisierungstechnik, da diese inzwischen günstiger angeboten werden wie vor einigen Jahren. Um diese Antriebe jedoch kostengünstig für die jeweilig gewünschten Anforderungen auszulegen und zu dimensionieren, ist eine Simulation im Vorfeld unumgänglich.

In diesem Beitrag soll ein systematischer Ansatz zur Dimensionierung feinwerktechnischer elektrodynamischer Linearantriebe vorgestellt werden. Dabei findet eine Auslegung des elektrischen, mechanischen, magnetischen und thermischen Teilsystems unter Berücksichtigung der physikalischen Zusammenhänge verschiedener Domänen statt. Die Software MAXWELL wird für die elektrische und magnetische Auslegung verwendet, ANSYS für die thermische und SIMPLORER für die Anbindung der mechanischen Komponenten.

Durch systematischen Einsatz von simulationsgestützten Programmen konnte eine durchgängige Methodik zur Entwicklung elektrodynamischer Lineardirektantriebe entwickelt werden.

2 Grundlagen elektrodynamischer Lineardirektantriebe

2.1 Funktionsweise

In Abbildung 1 ist das Funktionsprinzip eines elektrodynamischen Lineardirektantriebs dargestellt. Die Spule aus Kupferdrähten wird von einem Strom durchflossen, der durch das Permanentmagnetfeld der Magnete auf Basis der Lorentzkraft einen Vorschub erzeugt.

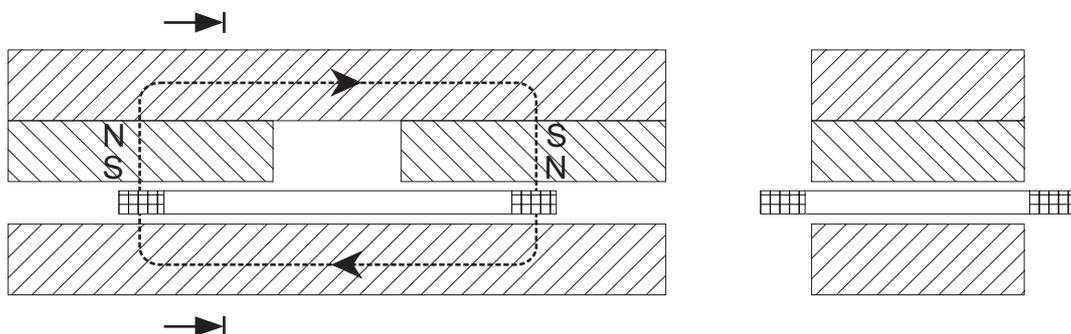


Abb. 1: Schematische Grundstruktur eines Lineardirektantriebs [1]

2.2 Bauformen

Lineardirektantriebe sind in unterschiedlichen Bauformen verfügbar. Dabei bietet jede Bauform unterschiedliche Vor- und Nachteile, die hinsichtlich der geforderten Einsatzumgebung bewertet werden müssen. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale sind:

- die Art des Aufbaus und der geometrischen Ausführung
- die Art der Bewegung und der bewegten Komponente
- die Art der Ansteuerung und der Kommutierung

Eine Übersicht über mögliche Bauformen ist in Abb. 2 dargestellt.

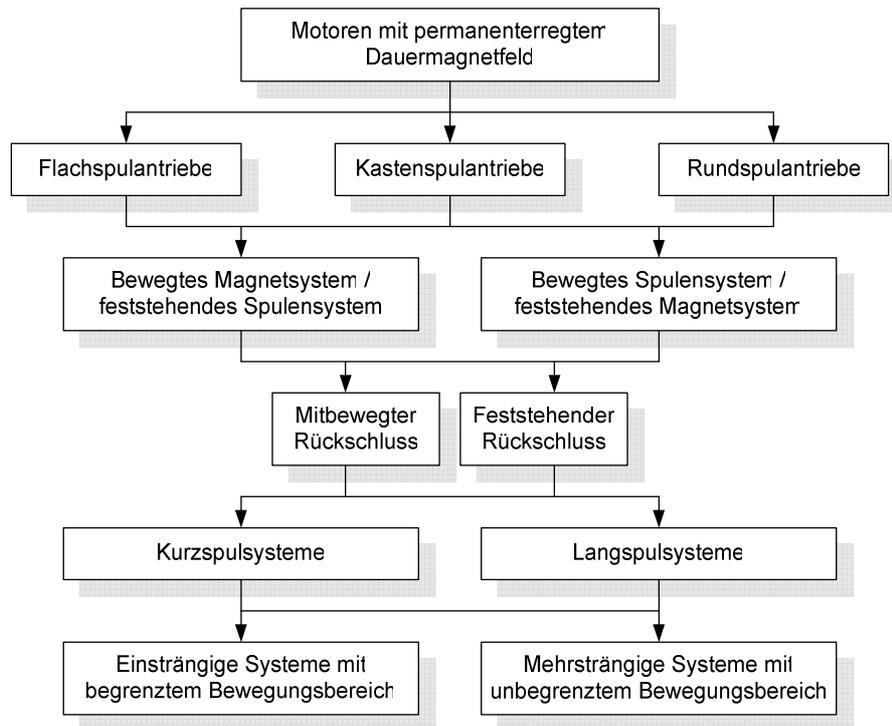


Abb. 2: Übersicht Motorbauformen [2]

Die Aufteilung der möglichen Bauformen dient zum einen der Übersichtlichkeit und zum anderen zur Unterscheidung. Die Auswahl und Struktursynthese kann hierbei allerdings nicht beliebig erfolgen, sondern muss speziell auf die geforderte Aufgabenstellung angepasst werden. Dies erfordert vom Ingenieur ein hohes Maß an Kompetenz und Erfahrung bezüglich den Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen Bauformen.

3 Dimensionierung von Antrieben

3.1 Allgemeine Vorgehensweise

Die Dimensionierung von Antrieben gliedert sich im Allgemeinen in vier Bereiche. Zunächst werden die Anforderungen und Spezifikationen im Lastenheft definiert. Dann wird eine Struktursynthese auf Basis der Bewegung und der Einsatzumgebung durchgeführt und eine Bauform ausgewählt. In einem weiteren Schritt wird auf Basis analytischer Ansätze die Motorbaugröße skaliert und eine überschlägige Berechnung der Motorkennwerte durchgeführt. Dabei werden auch die Werkstoffe ausgewählt und die Werkstoffparameter definiert sowie eine konstruktive Gestaltung vorgenommen. Als Ergebnis der Grobdimensionierung liegt ein erstes Geometriemodell mit Werkstoffkennwerten und überschlägigen Berechnungen der Kraft-Weg-Kennlinie sowie die Verlustleistung vor.

Auf Basis der FEM wird das Geometriemodell hinsichtlich der magnetischen, elektrischen, mechanischen und thermischen Parameter optimiert. Dabei findet eine Berücksichtigung der dabei auftretenden physikalischen Zusammenhänge der unterschiedlichen Domänen statt.

Abschließend erfolgen die Fertigung und die Inbetriebnahme des Antriebs. Durch den hohen simulativen Detaillierungsgrad ist der erste Prototyp meist sehr nahe am fertigen Endprodukt.

Der Ablauf ist in Abb. 3 schematisch als Übersicht dargestellt.

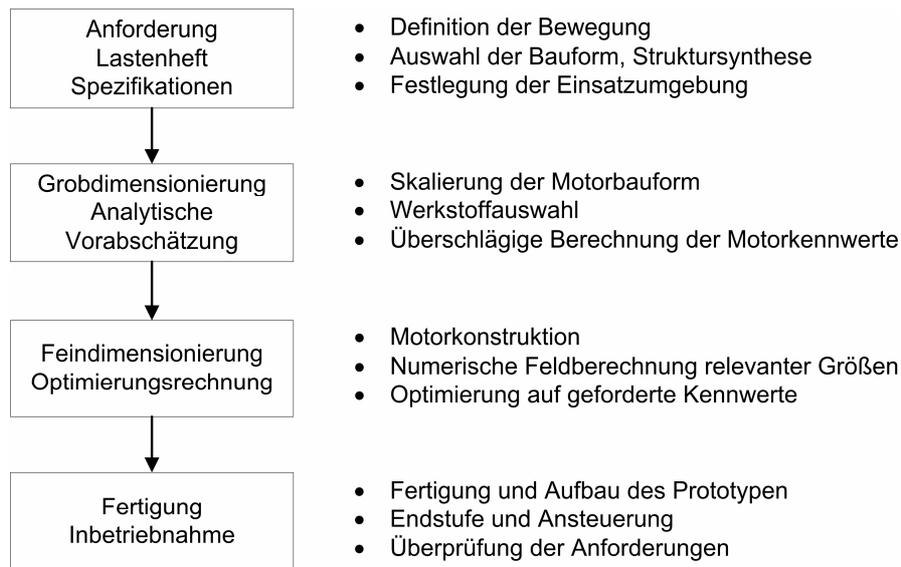


Abb. 3: Dimensionierungsablauf

3.2 Feindimensionierung mit Hilfe der FEM

Für die Feindimensionierung und Optimierung eines Antriebssystems mit Hilfe der FEM hat sich folgendes Vorgehen mit MAXWELL, ANSYS und SIMPLORER etabliert:

- Magnetisch-statische Auslegung
- Magnetisch und elektrisch transiente Betrachtung
- Kopplung mit dem thermischen Teilsystem
- Systembetrachtung im Simplorer, Einbeziehung des mechanischen und des elektrischen Teilsystems

3.3 Verknüpfung der Teilsysteme

Speziell bei der Verknüpfung der Teilsysteme miteinander zeigt die FEM-Simulation klare Stärken gegenüber analytischen Ansätzen. Hierbei kann die Rückwirkung und die Beeinflussung der Motorkenngrößen aufeinander berücksichtigt und dargestellt werden. In Abb. 4 ist der prinzipielle Ablauf einer gekoppelten elektromagnetischen und thermischen Simulation dargestellt.

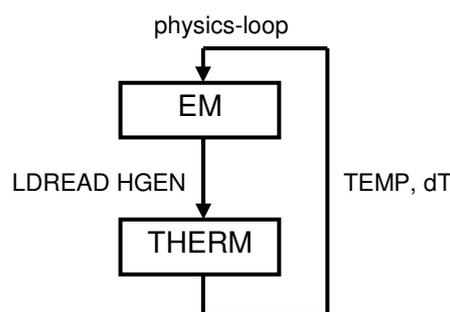


Abb. 4: Schematischer Ablauf einer gekoppelten Simulation

Die Leistungsfähigkeit eines Antriebs ist durch die maximal abführbare Leistung begrenzt. Durch eine Optimierung des thermischen Teilsystems kann somit die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems oftmals deutlich gesteigert werden. Da eine Vielzahl an Motorkennwerten von der Temperatur abhängig ist, sind speziell thermisch gekoppelte Simulationen von großer Bedeutung. Eine Kopplung der Systeme kann in unterschiedlichen Detaillierungsgraden durchgeführt werden. Von unidirektionalen Lasteinkopplungen bis hin zu transient-transient Kopplungen mit Rückführung der Ergebnisse ist mit modernen Simulationsprogrammen alles möglich. Trotz der Verfügbarkeit hoher Rechenleistungen bleiben dreidimensionale transient-transient-Kopplungen meist nur für kleine Aufgaben berechenbar. Hierbei spielen im speziellen die unterschiedlichen zeitlichen Domänen zwischen dem elektrischen, magnetischen und thermischen Teilsystem eine große Rolle. Während

beispielsweise im elektrischen Teilsystem ein PWM-Signal im kHz-Bereich aufgelöst werden muss, sind im thermischen die Auswirkungen nach Sekunden, Minuten oder gar Stunden von Interesse.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag konnte eine durchgängige Methodik zur Simulation und Optimierung von Lineardirektantrieben mit MAXWELL, ANSYS und SIMPLORER aufgezeigt werden. Physikalische Zusammenhänge zwischen magnetischem, elektrischem, thermischen und mechanischem Teilsystem können mit Hilfe der Kopplung der Simulationssysteme abgebildet und visualisiert werden. Die Entwicklungszeit kann dadurch massiv verkürzt werden. Der erste Prototyp ist bereits meist sehr nah am fertigen Produkt.

5 References

- [1] Stölting, H.-D., Kallenbach, E.: Handbuch elektrische Kleinantriebe, Carl Hanser Verlag, München, 4. Auflage, 2011.
- [2] Grotz, A.: Vergleichende Untersuchungen hochdynamischer, feinwerktechnischer, elektrodynamischer Lineardirektantriebe mit bewegtem Spulensystem und bewegtem Magnetsystem. Dissertation am IKFF, Universität Stuttgart, 2008.