

Einführung in Servo-Linear-Antriebssysteme

Die heutige Automatisierungsbranche setzt aufgrund ihrer dynamischen Reaktionsfähigkeit und Präzision zunehmend auf leistungsstarke elektrische Aktuatoren, insbesondere auf **integrierte Aktuatoren**. Bei der Bewertung der Aktuatorleistung für Konstruktionen stützen sich Ingenieure häufig auf kontinuierliche Schubkraft-Geschwindigkeit-Kurven, die aus der Motorleistung abgeleitet werden. Diese Kurven geben jedoch die Feinheiten der Leistung eines integrierten Linearantriebs nicht vollständig wieder. Integrierte Aktuatoren verfügen über eine Reihe einzigartiger Eigenschaften, die zur Gesamtleistung des gesamten Linearbewegungssystems beitragen.

Da sie die Gesamtleistung des Antriebs nicht abbilden, kann eine übermäßige Abhängigkeit von kontinuierlichen Kurven zur Schubkraft-Drehzahl-Beziehung dazu führen, dass Ingenieure Antriebe für ihre Konstruktionen zu klein dimensionieren, was zu Problemen bei der Systemleistung

und kostspieligen Verzögerungen führt. Obwohl kontinuierliche Kurven zur Schubkraft-Drehzahl-Beziehung allgemeine Schätzungen ermöglichen, berücksichtigen sie nicht alle Verluste, die einem kompletten integrierten Antriebssystem innewohnen.

Um einen integrierten Aktuator auszuwählen und sicherzustellen, dass seine Leistung den Erwartungen entspricht, sollten Ingenieure alle mechanischen und thermischen Einschränkungen des Aktuatorsystems berücksichtigen. Dieser ganzheitliche Ansatz spart nicht nur Zeit und Geld, indem er leistungsschwache Systeme vermeidet, sondern maximiert auch die Nutzbarkeit des Aktuators. Der erste Schritt besteht darin, die Leistung des integrierten Aktuators im Kontext des gesamten Systembetriebs zu bewerten, indem man über die kontinuierlichen Schubkraft-Drehzahl-Kurven hinausblickt.

Einschränkungen von standardmäßigen motorbasierten Leistungskurven

Die kontinuierlichen Kraft-Drehzahl-Kurven für die meisten integrierten Aktuatoren werden durch einfache Umrechnung der Werte der standardmäßigen kontinuierlichen Drehmoment-Drehzahl-Kurve des Servomotors in lineare Einheiten unter Verwendung der Steigungs- und Wirkungsgradwerte der Gewindespindel erzeugt. Dabei kommen die folgenden Gleichungen zum Einsatz:

$$\text{Drehmoment zu Schubkraft: } F = \frac{\tau * 2\pi e}{L}$$

Dabei ist:

τ das vom Motor an die Gewindespindel abgegebene Eingangsdrehmoment (Nm)

F die Schubkraft (N)

L die Spindelsteigung (mm/U)

e der Wirkungsgrad der Spindel (~90 % für Kugelgewindetriebe, ~70 % für Rollengewindespindeln)

$$\text{Drehzahl in lineare Geschwindigkeit: } V_L = \frac{V_R * L}{60}$$

Dabei ist:

V_L die Lineargeschwindigkeit (mm/s)

V_R die Drehzahl (U/min)

Die Anwendung der obigen Gleichungen ergibt eine Kurve,

die lediglich die Betriebsgrenzen des Motors in einem rein kontinuierlichen Rotationssystem berücksichtigt. Diese Kurve berücksichtigt jedoch nicht die lineare Hin- und Herbewegung, Beschleunigung, Verzögerung, die von der Gewindespindel erzeugte zusätzliche Wärme, die thermischen Grenzen der Gewindespindel und andere Einschränkungen, die eine erhebliche Verkürzung der Lebensdauer verhindern können.

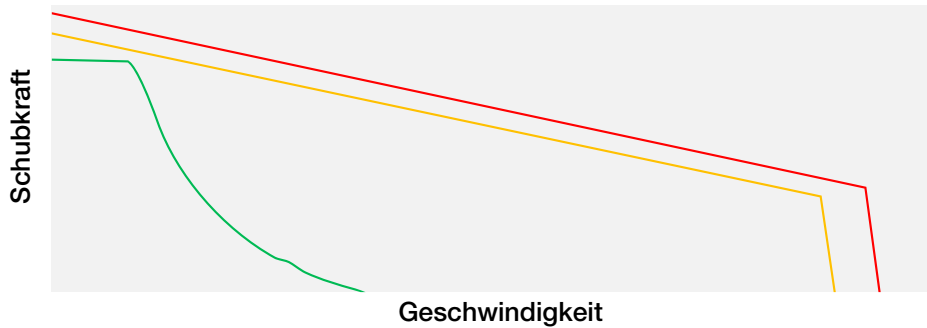
Diese Kurve stellt die theoretische Leistung des integrierten Aktuators gemäß den Motorinformationen dar, kann jedoch durch zusätzliche Systemparameter und Einschränkungen verbessert werden. Die Berücksichtigung dieser Parameter führt zu unterschiedlichen Kurven, die je nach den verwendeten Parametern ein besseres Verständnis der Leistungsfähigkeit der integrierten Aktuatoren vermitteln.

Entwicklung besserer Leistungskurven

Um die Leistung genauer darzustellen, müssen zunächst die Verluste einbezogen werden, die auf reale Betriebsbedingungen mit mechanischen Einschränkungen zurückzuführen sind. Hierzu zählen insbesondere die Verluste durch Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen bei zyklischen Hin- und Herbewegungen. Deren Intensität und Häufigkeit werden maßgeblich durch die Hublänge bestimmt. Auch wenn die Berücksichtigung dieser Faktoren die theoretische Obergrenze der Leistungskurve senkt, liefert sie eine deutlich verlässlichere Erwartungshaltung an den integrierten Aktuator im realen Einsatz.

Kategorie	Parameter	Standard	Physikalisch begrenzt	Thermisch begrenzt
Motor	Rohdaten des Motors	Ja	Ja	Ja
Mechanisch	Spindelsteigung	Ja	Ja	Ja
	Gewindespindelwirkungsgrad	Ja	Ja	Ja
	Hin- und Herbewegung	Nein	Ja	Ja
	Beschleunigung	Nein	Ja	Ja
	Auswirkungen auf die L10-Lebensdauer	Nein	Nein	Ja
Thermisch	Wärmeentwicklung der Gewindespindel	Nein	Nein	Ja
	Wärmeentwicklung des Motors	Ja	Ja	Ja
	Wärmeentwicklung des Systems	Nein	Nein	Ja
	Motorverluste	Ja	Ja	Ja

Eine thermisch begrenzte Leistungskurve liefert umfassende, integrierte Angaben zu den Erwartungen an den Antrieb.



Ein Vergleich zwischen Standard- (rot), physikalisch begrenzten (orange) und thermisch begrenzten (grün) Kurven zur Schubkraft- und Geschwindigkeitsmessung.

Fügen Sie als Nächstes Parameter für die Gewindespindel hinzu, die die lineare Bewegung antreiben.

Gewindespindel sind nicht zu 100 % effizient – sie erzeugen bei ihrer Bewegung Wärme und tragen zur gesamten Wärmeentwicklung des Systems bei. Verluste aufgrund der Statorwicklungen, des Magnetkerns und der mechanischen Komponenten des Motors erzeugen ebenfalls Wärme.

Da die Gewindespindel eine niedrigere thermische Schwelle haben als der Motor, senken sie die thermische Grenze des gesamten Systems.

Der Betrieb des integrierten Aktuators innerhalb dieser niedrigeren thermischen Grenze schützt die Gewindespindel und stellt sicher, dass sich ihre geschätzte L10-Lebensdauer nicht verringert. Da Kugelgewindetriebe im Vergleich zu Kugelumlaufspindeln einen geringeren Wirkungsgrad und eine niedrigere thermische Grenze aufweisen, können diese Einschränkungen erheblich sein. Diese zusätzlichen Parameter liefern die genauesten visuellen Darstellungen der Systemleistung, da die resultierenden Kurven thermisch begrenzt sind.

Wenn die kritischen Parameter des integrierten Aktuators angewendet werden, bietet die Schubkraft-Geschwindigkeits-Leistungskurve eine hervorragende Darstellung der allgemeinen Einschränkungen auf Systemebene. Beachten Sie jedoch, dass die Kurve nur eine visuelle Darstellung ist – sie kann nicht zum Vergleich aller realen Leistungsfälle herangezogen werden.

Für einen noch tieferen Einblick in die Leistung des integrierten Aktuators in einer bestimmten Anwendung kombinieren Sie die Leistungskurve mit einer Software zur Aktuatorauslegung, die alle zugrunde liegenden Gleichungen zur Erzeugung der Kurven verwendet.

Auslegung eines Aktuators

Die Auslegungssoftware analysiert die spezifischen Bewegungsprofile einer Anwendung und liefert geeignete Lösungen, indem sie die Anwendungsanforderungen berechnet und mit spezifischen Pass/Fail-Kriterien vergleicht. Ähnlich wie bei Leistungskurven ist Auslegungssoftware herstellerabhängig – die Kriterien, die über Pass/Fail-Ergebnisse entscheiden, können variieren. Das Verständnis der zugrunde liegenden Kriterien ist für eine effektive Nutzung entscheidend.

Mehrere Hersteller bieten proprietäre Dimensionierungssoftware für ihre Aktuatoren an. Im Gegensatz dazu ist ServoSoft eine herstellerneutrale Option, die eine große Auswahl an Produkten verschiedener Anbieter umfasst. ServoSoft bietet mechanische, thermische und motorische Pass/Fail-Kriterien, darunter:

- Maximaler Hub, Schubkraft und Geschwindigkeit
- Motorspannung
- Dauer- und Spitzendrehmoment
- Spitzen- und Effektivdrehzahl
- Thermische Begrenzungen des Motors

Die Online-Auslegungssoftware von Tolomatic – [Sizelt](#) – bietet noch mehr Kriterien, darunter:

- Beschleunigungsbegrenzung
- Knicklast
- Kritische Drehzahl
- Thermische Begrenzung der Schrauben
- Thermische Begrenzung des Systems

Was ist die L10 von elektrischen Linearantrieben

L10 ist die berechnete Lebensdauer, nach der erwartet wird, dass 10 % der Lager aufgrund von Ermüdung ausfallen, entsprechend den Eigenschaften des Antriebs und der Anwendung. Die Bestimmung der Lebensdauer eines Linearantriebs mit Kugel- oder Rollenschraube ist mit einer L10-Lebensdauerformel einfach, die sich auf die Lagerkomponenten der Planetenrollen-Gewindespindel/Mutter Baugruppe konzentriert.

Die Formel berücksichtigt wichtige Antriebsparameter wie die dynamische Belastbarkeit (DLR), die oft vom Hersteller angegeben und als C dargestellt wird. Die DLR ist die konstante Belastung, der ein Kugellager standhalten kann, um eine Nennlebensdauer von 1 Million Umdrehungen zu erreichen. Es ist ebenfalls wichtig zu wissen, ob der Aktuator während des Arbeitszyklus konstanten oder variierenden Belastungen ausgesetzt ist.

Konstante Belastungen sind unkompliziert, da sie direkt in die Berechnung einfließen. Bei variierenden Belastungen ist jedoch die äquivalente dynamische Belastung (Pe) erforderlich, die eine Belastung darstellt, die bei konstanter Einwirkung denselben Effekt hätte wie die Summe der tatsächlichen Belastungen.

Hier ist die Formel für die Berechnung von L10 bei konstanter Belastung:

$$L_{10} = (C/Pe)^3 \times I$$

Dabei gilt:

L_{10} ist die L10

C ist die DLR in Newton (N)

Pe ist die äquivalente Newton (N)

I ist die Spindelsteigung in Millimeter pro Umdrehung (mm/rev)

Die Formel ist für eine variable Last identisch,

jedoch muss Pe so berechnet werden, dass sie jede einzelne Last während des gesamten Arbeitszyklus berücksichtigt.

Verwenden Sie diese Formel:

$$Pe = \sqrt[3]{\frac{L_1 P_1^3 + L_2 P_2^3 + L_3 P_3^3 + \dots + L_n P_n^3}{L}}$$

Dabei ist:

- P_n jede einzelne Laststufe (N)
- L_n jede Hubstufe bei der zugehörigen Last in (mm)
- L die gesamte zurückgelegte Strecke pro Zyklus, also die Summe aller L_n -Werte

Kompetente Konstruktion erfordert kompetente Ressourcen

Die von den Herstellern bereitgestellten Leistungsdaten ermöglichen es Ingenieuren, die Leistung eines linearen Systems in einer Anwendung abzuschätzen. Je nachdem, welche Faktoren der Hersteller berücksichtigt, kann es jedoch erforderlich sein, die Systemgrenzen etwas genauer zu untersuchen. Eine gründliche Betrachtung der potenziellen Verluste liefert eine genauere Einschätzung der tatsächlichen Leistung des Aktuators, der zu erwartenden Lebensdauer, des Wartungsplans und der Ausfallrisiken.

Am besten sammeln Sie zunächst alle für Ihr Bewegungsprofil relevanten Informationen und geben diese in eine umfassende Auslegungssoftware ein. Dies bietet Ingenieuren eine zuverlässige Methode, um die Komplexität und die Fähigkeiten ihres integrierten Aktuators gründlich zu verstehen.

Die Zusammenarbeit mit Ihrem Hersteller und die frühzeitige, explizite Definition Ihrer Systemanforderungen ermöglichen es dem Hersteller, die genauesten Daten zu liefern. Dies hilft Ihnen, Kosten und Leistung des fertigen Designs in Einklang zu bringen.

Sehen Sie sich unsere [Online-Engineering-Tools](#) an oder wenden Sie sich an einen Ingenieur, um mehr zu erfahren.