

Der Antriebs-Energiepass

Optimierung der Energieeffizienz bei der Antriebsauslegung

In der Wirtschaftskrise sind innovative Konzepte gefragt, um die Betriebskosten von Maschinen und Anlagen zu reduzieren. Hier haben die Energiekosten einen hohen Anteil. Zudem hat die Energieeffizienz in industriellen Prozessen vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung an gesellschaftlicher Bedeutung gewonnen.

» Olaf Götz und Peter Vogt

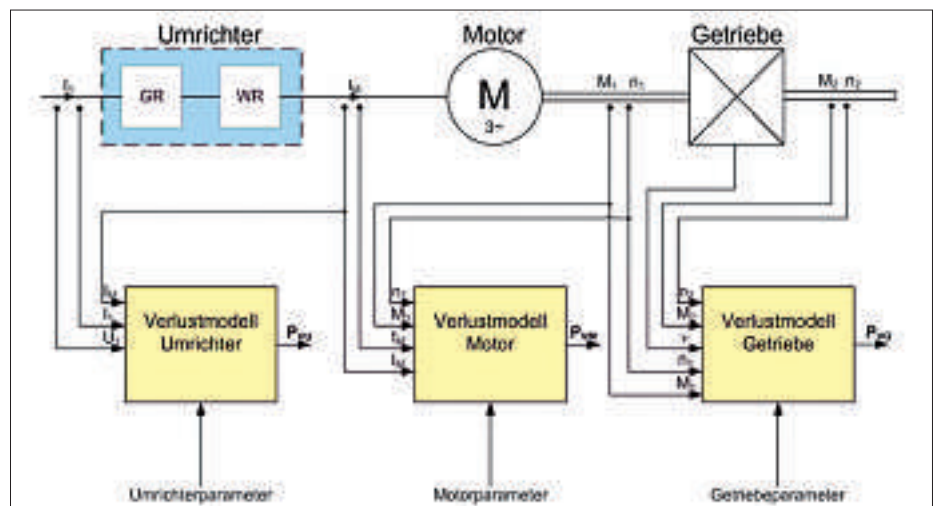
Wirksam beeinflussen lässt sich die Energieeffizienz einer Maschine durch die bedarfsgerechte Anpassung des Antriebssystems. Um die Energiebilanz einer Anwendung einfach bewerten zu können, hat der Antriebs- und Automatisierungsspezialist Lenze den «Energiepass Antriebslösung» entwickelt.

Dreh- und Angelpunkt für die Senkung des Energiebedarfs einer Anwendung durch die bedarfsgerechte Anpassung des Antriebssystems ist die Betrachtung des gesamten Antriebsstrangs: Von der Mechanik über die Antriebskomponenten bis hin zur benötigten Einspeiseleistung ist eine Vielzahl von Faktoren zu beachten. Der Energiepass Antriebslösung, ein Protokoll aus Lenzes Auslegungssoftware «Drive Solution Designer» (DSD), bietet dafür wertvolle Unterstützung: Er ermöglicht die unkomplizierte Bewertung der Energiebilanz einer Anwendung und zeigt Optimierungsmöglichkeiten auf.

Verluste in Anwendungen

Eine Antriebsaufgabe kann häufig auf unterschiedliche Art und Weise gelöst werden. Je nach Maschinentyp wird die benötigte Antriebsenergie direkt oder durch mehrere Umwandlungen gewonnen. Häufig wird eine translatorische Bewegung aus einer rotatorischen erzeugt. Dafür stehen verschiedene mechanische Systeme zur Verfügung.

Die wesentlichen Ursachen für Verluste in den Anwendungen sind Reibungskomponenten. Es treten Gleitreibung, Rollreibung oder Reibungen in Gasen und flüssigen Medien auf. Die Verluste in einer Anwendung hängen von den Reibungskräften, den Beschleunigungs-



Verluste im Antriebsstrang

und der Geschwindigkeit ab. Diese werden durch das kinematische Profil der Anwendung bestimmt. Treten maximale Geschwindigkeit und maximale Kräfte zum gleichen Zeitpunkt auf, wie dies bei trapezförmigen Geschwindigkeitsprofilen der Fall ist, erreicht die Prozessleistung hier das Maximum. Ob die Verlustleistung im Antriebsstrang hier ebenfalls auf das Maximum steigt, hängt aber zusätzlich von den Verlustursachen im Antriebsstrang ab.

Energieeffizient ist ein Antriebssystem aber erst dann, wenn diese Anpassung an den Bedarf verlustarm ist. Das lässt sich durch eine intelligente Regelung erreichen. Bei der Anwendung kann man häufig noch zwischen dem System der Kraftübertragung – Riemen, Spindel usw. – und der Bewegungsführung –

Rad, Gleitführung usw. – unterscheiden. Für einen Positionierantrieb lässt sich das vereinfacht wie folgt ausdrücken:

$$P = F * v$$

wobei die Kraft sich z.B. aus den Komponenten der Reibkraft

$$F_{\mu} = \mu * F_N$$

und der Beschleunigungskomponente

$$F_a = m * a$$

zusammensetzt. Der aus der Reibkraft resultierende Kraftanteil wäre hier der Verlustanteil der Anwendung. Ziel sollte es sein, durch Wahl geeigneter Mechaniken schon in der eigentlichen Anwendung die Verluste zu minimieren.

Verluste im Getriebe

Die Verluste des Getriebes werden bestimmt durch die Reibungsverluste zwischen den Zahnflanken, die Lagerreibung, die Dichtungs- und die Planschverluste. Während im unteren Drehzahlbereich die Reibungsverluste an den Zahnflanken überwiegen, nehmen die Planschverluste mit steigender Umfangsgeschwindigkeit eine immer höhere Bedeutung ein. Die Gesamtverluste des Getriebes bestimmen sich aus der Größenordnung, mit der sich die Verluste je Stufe potenzieren. Um die Planschverluste zu begrenzen, darf die Eintriebsdrehzahl des Motors in das Getriebe nicht zu hoch sein.

Während die Zahnreibungsverluste näherungsweise proportional zur übertragenen Leistung sind, hängen die Planschverluste nicht von der Belastung ab. Im Folgenden soll dies durch die vereinfachte Gleichung repräsentiert werden:

$$P_{th,G} = P_{th,N,G} * \left\{ k_{th,M} * \left| \frac{M_2}{M_{N,G}} \right| + k_{th,0} \right\} * \left| \frac{n_1}{n_{N,G}} \right|$$

Verluste im Motor

Elektrische Maschinen haben unterschiedliche Verlustquellen. So entstehen in den Wicklungen Stromwärmeverluste, die vom Quadrat der Stromstärke abhängen. Dabei kann es sich je nach Maschinentyp um Verluste im Stator oder im Rotor handeln.

Für den Stator gilt:

$$P_{R,S} = 3 * R_S * I_M^2$$

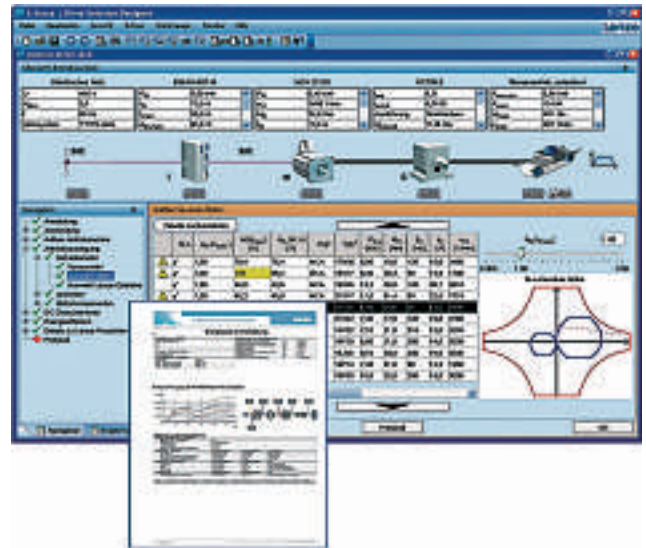
Für den Rotor der Asynchronmaschine lassen sich die Verluste über das Gesetz über die Aufteilung der Luftspaltleistung ermitteln:

$$P_{R,R} = s * P_\delta$$

Dabei ist P_δ die über den Luftspalt der Maschine übertragene Leistung.

Die Verluste für die Erregung im Grundstellbereich der Maschine entfallen bei permanentmagnetenerregten Maschinen. Bei der feldorientierten Regelung einer Maschine wird der feldbildende Anteil des Stromes konstant gehalten, der drehmomentbildende Anteil proportional der Belastung erhöht.

Drive Solution Designer mit Energiepass Antriebslösung



Dadurch sind die Stromwärmeverluste näherungsweise quadratisch abhängig von der Drehmomentbelastung. Hohe Überlastungen führen also zu überproportional ansteigenden Wicklungsverlusten. Neben den Verlusten in den Wicklungen der Maschinen entstehen aber auch Verluste in den Eisenkreisen, die die Wicklungen tragen.

Verluste im Frequenzumrichter

Die Verluste im Frequenzumrichter lassen sich in Verluste am Gleichrichter, Leiterbahnverluste, in den Zwischenkreiskondensatoren, in der Steuerelektronik und im Wechselrichter unterteilen. Liegt ein Frequenzumrichter am Versorgungsnetz, so wird auch dann Leistung für die Steuerelektronik benötigt, wenn der Motor selbst nicht aktiviert ist. Die Verluste im Wechselrichter sind bei vorgegebener Netzspannung im Wesentlichen abhängig von dem zu übertragenden Strom, der Pulsfrequenz und der Modulationsart. Die Stromwärmeverluste im Frequenzumrichter sind in erster Näherung proportional zum Scheinstrom des Motors. Zur Veranschaulichung sei folgende Gleichung angeführt:

$$P_{th,I} = P_{th,N,I} * \left| \frac{I_M}{I_{N,I}} \right| + P_{th,0,I}$$

Optimierung der Antriebslösung

Der gesamte Energiebedarf lässt sich aus der Integration der Summe der einzelnen Leistungen – Verluste, Beschleunigungsleistung, Prozessbedarf usw. – über den Maschinenzyklus ermitteln und auf einen Betrachtungszeitraum hochrechnen. Mit diesen Werten können dann die Energiekosten sowie die CO_2 -Emissionen ermittelt werden.

Hier bietet das Auslegungswerkzeug DSD weitreichende Unterstützung: Das Software-

Tool ermöglicht nicht nur die exakte Bestimmung der Prozessgrößen, sondern auch die optimale Abstimmung der Komponenten untereinander durch den darin enthaltenen Konfigurator. Zur Erhöhung der Energieeffizienz stellt der DSD den «Energiepass Antriebslösung» bereit. Mittels der Verlustmodelle können die Verluste auf ihre Ursachen zurückgeführt und sowohl der Energiebedarf als auch die Energiekosten der Anwendung und ihrer Antriebslösung berechnet werden. Zusätzlich wird die rückspeisbare Energie berechnet, die über den DC-Bus ausgetauscht oder über ein Rückspeisemodul in das Versorgungsnetz zurückgeführt werden kann. Durch den Vergleich unterschiedlicher Lösungen kann der Anwender so die optimale Kombination der Komponenten und den besten Bewegungsablauf für die Antriebsaufgabe finden.

Die Energieeffizienz ist dabei nur ein – sehr wichtiges – Optimierungsziel. Hinzu kommen andere Kriterien, wie z. B. Anschaffungskosten, Zuverlässigkeit, Bauraum usw., die im Rahmen eines ganzheitlichen Lösungsansatzes mit dem DSD berücksichtigt werden können.

Fazit

Mit dem «Energiepass Antriebslösung» können bereits bei der Planung des Antriebssystems einer Maschine deren Kosten- und Energieeinsparpotenziale erkannt und ausgeschöpft werden. Zusätzlich kann ein nachhaltiger Beitrag zum Umweltmanagement und zur CO_2 -Reduktion aufgebaut werden. «

Infoservice

Lenze Bachofen AG
Ackerstrasse 45, 8610 Uster
Tel. 043 399 14 14, Fax 043 399 14 24
info@lenze-bachofen.ch, www.lenze-bachofen.ch

Autoren

Dipl.-Ing. Olaf Götz (links) und Dipl. Ing. Peter Vogt, Lenze Extertal (Entwicklung Software für Antriebsauslegung)

