



Fachaufsatz, erschienen in: Antriebstechnik 11/2014.

Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford

Intelligent abschalten

Wie man Werkzeugmaschinen energieeffizienter macht

Energieeinsparung und umsichtiges Energiemanagement sind im Maschinenbau allgegenwärtige Themen. Doch eine allgemeingültige Strategie gibt es nicht – vielmehr hängt sie von der jeweiligen Anwendung oder sogar dem Anwender ab. Doch welche Konzepte sind besonders wirksam, um mithilfe der Steuerungs- und Antriebstechnik die Energieeffizienz zu verbessern?

Im Maschinenbau werden unterschiedlichste Produkte wie z. B. hocheffiziente Motoren, Rückspeisemodule oder Energiemonitoring und -management-Funktionen in der SPS beworben. Doch wo wird überhaupt die meiste Energie in einer Maschine verbraucht? Abb. 1 liefert am Beispiel einer Werkzeugmaschine mit einer mittleren Leistungsaufnahme von 50 kW einen Überblick über die Aufteilung des Energieverbrauchs während eines typischen Bearbeitungsvorgangs. Auffällig ist hierbei: Nur 30 % des Energieverbrauchs gehen auf das Konto von Servoachsen und die Werkzeugspindel (Hauptantriebe).

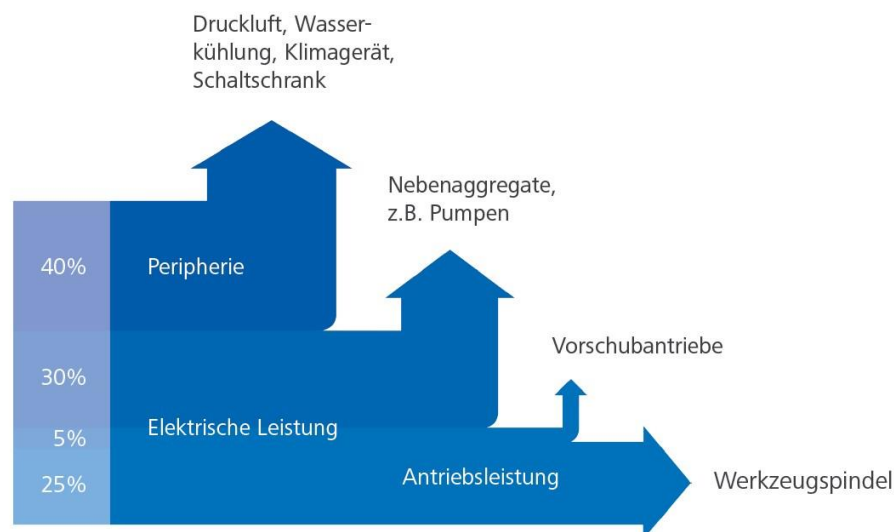
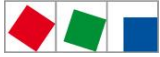


Abb. 1: Leistungsbedarf einer Werkzeugmaschine während eines Bearbeitungsvorgangs.

Die Grundlast einer Werkzeugmaschine macht allein 40 bis 80 % ihres gesamten Energieverbrauchs aus. Das heißt, auch wenn gerade kein Auftrag bearbeitet oder die Maschine eingerichtet wird, hat sie einen erheblichen Grundumsatz. Für die hohe Grundlast verantwortlich sind v. a. die Peripherie und Nebenaggregate (z. B. Kühlung, Hydraulik, Absaugung, Lüfter, Druckluft, Vakuum). Aufgrund der schlechten Wirkungsgrade der Pneumatik gibt es heutzutage einen Trend zur Umstellung auf elektromechanische Aktorik. Die aktuellen Preise für Kompaktantriebe und Stellantriebe stehen hier allerdings den Möglichkeiten meist noch im Wege.



Fachaufsatz, erschienen in: Antriebstechnik 11/2014.

Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford

Im Vergleich zum hohen Energiebedarf der Nebenaggregate und Peripherie wird z. B. beim Fräsen vergleichsweise wenig Energie von Hauptspindel und Vorschubantrieben benötigt (ca. 20 bis 30 %). Da aber nicht alle Nebenaggregate in jedem Betriebszustand und Bearbeitungsmodus immer benötigt werden, lassen sich einzelne temporär ausschalten.

Von Fall zu Fall bewerten

Wenn man für ein Bearbeitungszentrum einen typischen jährlichen Verbrauch von 75.000 kWh annimmt, würde man mit einer 10 % energieeffizienteren Maschine rund 1.100 Euro im Jahr an Energiekosten sparen (bei 15 Cent/kWh). Mit einem intelligenten Energiemanagement, d. h. dem Abschalten nicht benötigter Verbraucher, und dem Einsatz energieeffizienterer Komponenten lassen sich je nach Anwendung und Umfang der Maßnahmen sogar bis zu 30 % Energie sparen.

Die Strategien zum Energiesparen bei Werkzeugmaschinen sind allerdings äußerst vielfältig und es gibt nicht die eine Lösung. Im Folgenden werden deshalb einige Lösungsansätze vorgestellt.

Bessere Produktivität

Alle Maßnahmen, die die Produktivität einer Maschine steigern, erhöhen auch direkt die Energieeffizienz. Die Energiekosten je gefertigtes Werkstück sinken. Selbst eine CNC-Bedienoberfläche mit workflow-orientiertem Bedienkomfort kann daher nicht unerheblich zur Energieeffizienz beitragen. Die Zeiten zum Rüsten und Programmieren verkürzen sich mit dem Effekt, dass teure Standby-Zeiten (Produktionsbereitschaft) reduziert werden. Den gleichen Effekt haben Tastsysteme zur schnellen und sicheren Vermessung von Werkzeugen und Werkstücken. Sie beschleunigen das Einrichten und verbessern zudem die Qualität.

Grundlast reduzieren

Die Reduktion der Grundlast ist der mit Abstand wichtigste Hebel, um die Energieeffizienz von Werkzeugmaschinen zu optimieren. Bei Maschinen, die in der Serienfertigung eingesetzt werden, erweisen sich u. a. folgende Strategien als erfolgversprechend:

1. Einsatz energieeffizienterer Motoren,
2. drehzahlgeregelte Antriebe,
3. die Produktivität steigernde Maschinenkonzepte wie Parallelbearbeitung oder Pendelbetrieb,
4. Rückgewinnung von Bremsenergie.

In der Einzelfertigung oder der Fertigung kleinerer Lose ist ein intelligentes Energiemanagement gefragt. Kann man in inaktiven Zeiten die Grundlast der Maschine gezielt reduzieren, indem man nicht benötigte Verbraucher nach bestimmten Vorgaben ausschaltet, so führt dies zu signifikanten Energieeinsparungen.

Ein solches Energiemanagement lässt sich komfortabel mithilfe einer CNC mit integrierter SPS realisieren, wie bspw. der [E°EXC 66](#) von Eckelmann. Hierzu können entsprechende PLC-Bibliotheken genutzt werden. Ein solches Energiemanagement kann zu erheblichen Energieeinsparungen führen, je nach Anwendung um bis zu 15 % und mehr.



Fachaufsatz, erschienen in: Antriebstechnik 11/2014.

Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford

So kann bspw. definiert werden, wann bestimmte Aggregate, Achsen, Beleuchtung, Lüftung, Kühlschmierstoff-Versorgung oder Druckluft automatisch deaktiviert werden sollen. Ebenso wirksam ist die bedarfsgerechte Steuerung von Zuführungen, Förderbändern oder Werkzeugspannern. Da der Energiebedarf einer Maschine auch vom jeweiligen Betriebszustand abhängt, muss das Energiemanagement diese berücksichtigen und dann genau die erforderlichen Nebenaggregate aktivieren bzw. mit Verzögerungszeiten ansteuern (Standby, Betriebsbereit, Warmlauf, Rüsten, Fertigung, Not Aus). Allerdings wirkt sich das Ausschalten von Aggregaten ggf. negativ auf das thermische Maschinenverhalten aus. Verformungen der Maschinen beeinflussen nämlich je nach Anwendung die Genauigkeit am Tool-Center-Point. Ein so erzielter Energiegewinn wäre nur ein scheinbarer, wenn schlechtere Qualität zu mehr Ausschuss und damit zu höheren Fertigungskosten pro Stück führte.

Optimale Auslegung der Motoren

Auch die richtige Auslegung der Elektromotoren ist wichtig für die Energieeffizienz einer Maschine. Denn der Wirkungsgrad und Leistungsfaktor eines Elektromotors sind nahe am Nennbetriebspunkt am besten, bei Teillast jedoch meist alles andere als optimal. Es kommt daher bereits bei der Auslegung der Antriebe darauf an, dass keine über- oder unterdimensionierten Antriebskomponenten verwendet werden.

Besonders bei der Spindel lässt sich durch effizientere Motortechnologie und einen geregelten Betrieb auch bei höheren Drehzahlen signifikant Energie einsparen. Darüber hinaus kann durch die richtige Parametrierung der Antriebsachsen der Energieaufwand gesenkt werden. Bei Ferrocontrol steht für das E°Darc Antriebsregelungssystem dazu ein energieoptimaler Parameterrechner zur Auslegung von Antriebsachsen zur Verfügung (Abb. 2). Die Antriebsreglerfamilie [E°Darc C](#) erlaubt, den Energiebedarf der elektrischen Antriebe über die Zeit aufzuzeichnen und so weitere Einsparpotentiale zu ermitteln und zu heben.

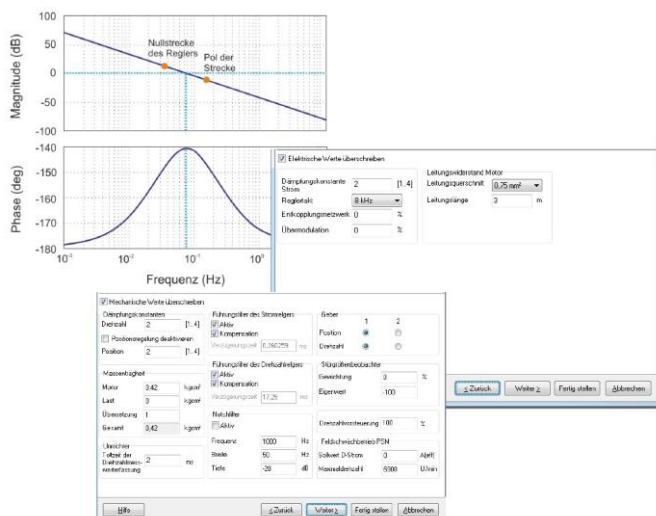
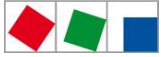


Abb. 2: Parameterrechner für das E°Darc C Antriebsregelungssystem mit Verfahren zur energieoptimalen Reglerparametrierung



Fachaufsatz, erschienen in: Antriebstechnik 11/2014.
Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford

Werkzeugspindel geregelt betreiben

Die meiste antriebstechnische Energie wird, wie Abb. 1 zeigt, in der Werkzeugspindel verbraucht, weshalb dieser Motor und seine Verwendung hier genauer betrachtet werden soll. Klassisch wird dieser Motor auf zwei unterschiedliche Arten betrieben: Im Bereich kleiner Drehzahlen ($< 6.000 \text{ min}^{-1}$), für Anwendungen wie Gewindeschneiden, Sägen oder Bohren wird die Spindel geregelt betrieben, während der Antrieb im Bereich hoher Drehzahlen ($> 12.000 \text{ min}^{-1}$) für Anwendungen wie Fräsen oder Schlichten meistens gesteuert betrieben wird (Abb. 3). Dabei wird im gesteuerten Betrieb nach einer FU-Kennlinie immer so viel Energie in den Motor gespeist, dass das Kippmoment möglichst hoch liegt. Wird diese Energie am Werkzeug nicht benötigt, so wird der Motor unnötig erwärmt und es geht viel Antriebsenergie verloren.

Aus diesem Grund ist es sinnvoll, die Werkzeugspindel über den gesamten Drehzahlbereich geregelt zu betreiben, da bei dieser Betriebsart immer nur so viel Energie in den Motor eingespeist wird, wie tatsächlich benötigt wird. Im Gegensatz zum Wettbewerb kann der [E°Darc C](#) von Ferrocontrol je nach Bauart asynchrone Werkzeugspindeln bis zu 20.000 min^{-1} geregelt betreiben und liefert hier einen erheblichen Beitrag zur Energieersparnis.

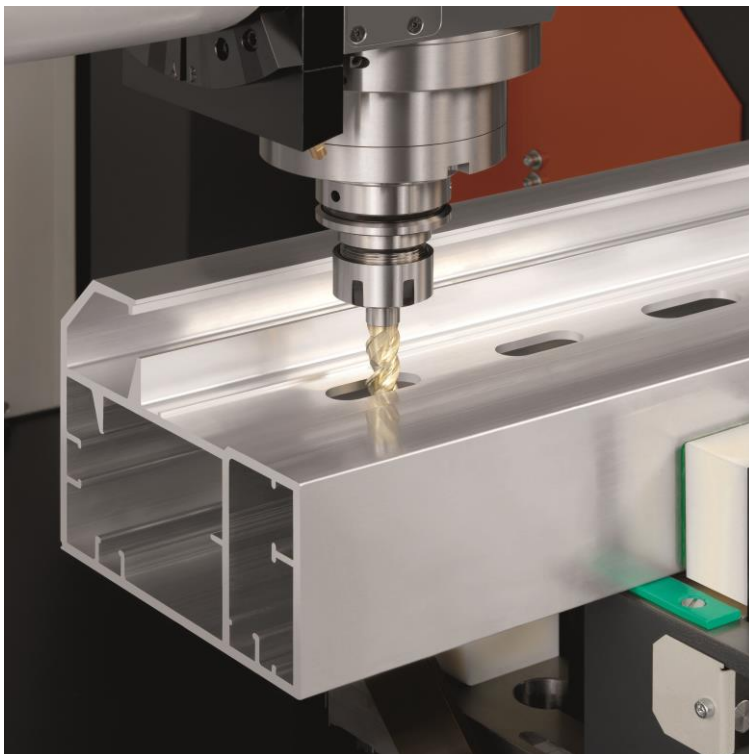


Abb. 3: In hohen Drehzahlbereichen energieeffizient bei geregeltm Betrieb von Werkzeugspindeln
(Foto: [Elumatec](#))



Fachaufsatz, erschienen in: Antriebstechnik 11/2014.

Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford

Bremsenergie nutzen

Das Auffangen der Bremsenergie in dem E°Darc Zwischenkreisbuffer, welcher aufgenommene Bremsenergie später wieder für einen Beschleunigungsvorgang des Antriebs zur Verfügung stellen kann, leistet einen weiteren Beitrag zur Energieeffizienz.

Bei jedem Bremsvorgang lädt sich das Modul mit Bremsenergie auf und gibt sie dann bedarfsgerecht an den Gleichstromzwischenkreis zurück. Dadurch verpufft weniger wertvolle Bremsenergie ungenutzt als Verlustwärme über Bremswiderstände. Somit reduziert das Puffermodul mittels electric-buffering den Wärmeeintrag in den Schaltschrank und es kann ggf. auf den Einsatz großer und schwerer Klimageräte verzichtet werden.

Bei Anwendungen mit kurzen Zykluszeiten oder schnellen Start-Stopp-Anwendungen zahlt sich die Nutzung des Puffermoduls besonders aus. Typische Beispiele sind Fertigungsautomaten oder Hubwerke. Generell ist ein Puffermodul oder auch eine Rückspeisung ins Versorgungsnetz eher für Bearbeitungen mit vielen Werkzeugwechseln pro Minute interessant.

Das Potential für Energieeinsparungen durch das E°Darc Puffermodul lässt sich mit dem praktischen Bremsenergierechner von Ferrocontrol vorab kalkulieren.

Abb. 4 zeigt eine Beispielrechnung für ein 5-Achs-Bearbeitungszentrum für Aluminium-Profile. Über die meist leicht verfügbaren Nennangaben der Motoren lässt sich eine recht gute Prognose über die zu erwartenden Energieeinsparungen treffen und basierend auf den täglichen Arbeitsstunden auf ein Jahr hochrechnen.

	Bremsleistung	Nennmoment	Nenn Drehzahl	Wirkungsgrad	Kapazität Regler	Bremszeit	Bremsungen pro Min.
Spindel	35796 Ws	15 Nm	24000 1/min	0,76	1,7 mF	2,5 s	2
X	276,32 Ws	5 Nm	4000 1/min	0,88	1,02 mF	0,3 s	3
Y	6631,68 Ws	12 Nm	4000 1/min	0,88	0,47 mF	3 s	3
Z	2763,2 Ws	5 Nm	4000 1/min	0,88	0,47 mF	3 s	3
WW	92,11 Ws	5 Nm	4000 1/min	0,88	0,47 mF	0,1 s	0,1
A	911,86 Ws	1,1 Nm	6000 1/min	0,88	0,24 mF	3 s	3
C	1305,61 Ws	2,1 Nm	4500 1/min	0,88	0,24 mF	3 s	3
---	0 Ws	0 Nm	0 1/min	0	0 mF	0 s	0

Pufferkapazität C	max ZK-Spannung	Nenn ZK-Spannung	Gleichzeitigkeitsfaktor	Preis pro kWh	Arbeitsstunden / Tag
24 mF	780 V	540 V	0	17 Cent	16 h
					Arbeitstage / Jahr
					251 d/Y

Ersparnis pro Jahr	Ersparnis pro Tag	Arbeitsstunden im Jahr	Bremsenergie pro Y
366,91 €	1,46 €	4016 h	2572,87 kWh

Abb. 4: Mit dem Bremsenergierechner abschätzen, wie hoch die Kostenersparnis sein wird.

Optimierung durch Energiemonitoring

Energie sparen lässt sich nur, wenn man weiß, wann und wo wie viel Energie benötigt wird. Bei einer Werkzeugmaschine ist dies keine einfache Aufgabe. Ein differenziertes Energiemonitoring kann hier wertvolle Hinweise auf Optimierungspotentiale geben und einen schrittweisen Verbesserungsprozess begleiten.

Es gibt allerdings Bereiche, die man bereits bei der Konstruktion und beim Steuerungengineering berücksichtigen kann, die eine Maschine in aller Regel energieeffizienter machen. Dies gilt insbesondere für Strategien zur Reduktion der Grundlast, die mit immerhin 40 bis 80 % den Großteil des Leistungsbedarfs ausmacht. Hierzu gehört an erster Stelle das intelligente Abschalten nicht



Fachaufsatz, erschienen in: Antriebstechnik 11/2014.
Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG, Herford

benötigter Nebenaggregate in Abhängigkeit vom Betriebsmodus. Mithilfe der SPS lässt sich ein solches Energiemanagement realisieren.

Natürlich kann auch der Einsatz energieeffizienterer Komponenten insbesondere bei den Motoren die Effizienz steigern, aber weit wichtiger ist eine anwendungsoptimierte Auslegung und bedarfsgerechte Regelung der Antriebe. Dies wurde hier am Beispiel von geregelten Hochfrequenzspindeln erläutert. Ein Patentrezept für die „grüne Maschine“ gibt es nicht und zu einseitiges Effizienzdenken kann sogar kontraproduktiv sein – dann nämlich, wenn Energiesparen zu Qualitätseinbußen im Fertigungsprozess und damit zu mehr Ausschuss führt. Auf der anderen Seite lässt sich auch durch weniger offenkundige Maßnahmen wie eine komfortablere und damit schnellere Bedienbarkeit die Effizienz steigern, denn damit lassen sich Rüstzeiten verkürzen und die Produktivität erhöhen.

Man muss eine Maschine als Ganzes betrachten, um zu verstehen, wie sie noch effizienter arbeiten könnte. Eine passende Automatisierung kann hierzu wertvolle Beiträge leisten.

Autor:

Dr.-Ing. Andreas Pottharst, Geschäftsführer und Leiter der Entwicklung bei Ferrocontrol in Herford

Kontakt:

Ferrocontrol Steuerungssysteme GmbH & Co. KG

Bodenschwinghstraße 20

32049 Herford

Deutschland

Telefon: +49 5221 966-0

E-Mail: info@ferrocontrol.de

Web: www.ferrocontrol.de