

HANSER

Manfred Schulze

Elektrische Servoantriebe

Baugruppen mechatronischer Systeme

ISBN-10: 3-446-41459-2

ISBN-13: 978-3-446-41459-4

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter
<http://www.hanser.de/978-3-446-41459-4>
sowie im Buchhandel.

1 Einführung

1.1 Einsatzgebiete von Servoantrieben

Die elektrische Antriebstechnik hat durch innovative Fortschritte der Leistungs- und Mikroelektronik die Automatisierung unterschiedlichster technologischer Prozesse erheblich beschleunigt. Gegenwärtig werden in hoch entwickelten Industrieländern etwa 60 % der erzeugten elektrischen Energie mit elektrischen Antrieben in mechanische Energieformen umgewandelt. Neben der „klassischen“ Antriebstechnik, bei der die elektromechanische Energiewandlung bei festen oder gestuften Drehzahlen der Antriebsmaschinen erfolgt, hat sich der Anteil geregelter Antriebe, die eine genaue und kontinuierliche Drehzahl- und Drehmomentstellung ermöglichen, bedeutend erhöht. Als Energiewandler dient dabei die stromrichtergespeiste elektrische Maschine. Sie ist die Regelstrecke der geregelten elektrischen Servoantriebe. Durch die enormen Fortschritte in der Leistungs- und Informationselektronik werden heute neben der Gleichstromnebenschlussmaschine vor allem Drehstrommaschinen in geregelten elektrischen Antrieben verwendet.

Besonders vorteilhaft ist, dass durch die Mess- und Regeleinrichtung des Servoantriebes die mechanische Leistung der elektrischen Maschine an der Motorwelle in den Parametern Drehmoment und Winkelgeschwindigkeit als variable, zeitabhängige Größe hochgenau gesteuert werden kann. Die geregelten Servoantriebe bestimmen durch die feinfühlig, sehr genaue und exakt reproduzierbare Vorgabe der mechanischen Größen in hohem Maße die Fertigungsqualität und -quantität der in den technologischen Prozessen hergestellten Erzeugnisse.

Wird der drehzahlgeregelte Antrieb (Servoantrieb) durch eine Lageregelung erweitert, so lassen sich anspruchsvolle mechanische Bewegungsvorgänge entlang einer mechanischen Bewegungsachse (Rotation oder Translation) realisieren. Die Bewegungssteuerung im mehrdimensionalen Raum entsteht durch Superposition der Bewegungen der einzelnen Achsen. Die Koordinierung der Einzelbewegungen der Servoantriebe erfolgt über elektronische Steuerungen. Durch die auf die Einzelantriebe verteilte Intelligenz können aufwendige mechanische Koppellemente vereinfacht werden oder ganz entfallen. Dadurch erhöht sich die Flexibilität des gesteuerten technologischen Prozesses bedeutend gegenüber dem klassischen Ein-Motoren-Antrieb mit kompliziertem mechanischen Verteilungssystem. Änderungen im Fertigungsablauf können ohne Umrüstarbeiten einfach durch die elektrische Steuerung erfolgen, die gleichzeitig auch die Fertigungsqualität ständig überwacht und notwendige Korrekturen automatisch vornimmt.

Als Beispiele technologischer Prozesse, bei denen drehzahlvariable Servoantriebe zunehmend eingesetzt werden, seien genannt:

- Be- und Verarbeitungsmaschinen
- Roboter
- Druck- und Verpackungsmaschinen
- Dosier- und Fördereinrichtungen
- Transport- und Lagertechnik

Besonders deutlich werden die Vorteile von Einzelantriebssystemen bei den technologischen Verfahren:

- **Bearbeitungsprozesse auf Werkzeugmaschinen**
Realisierung von Bearbeitungsvorgängen wie Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen und Sägen. Der Einzelantrieb jeder Bewegungsachse der Werkzeugmaschine wird überwiegend lagegeregt betrieben. Die Koordinierung der Bewegungsachsen erfolgt meist durch eine CNC-Steuerung.
- **Handlingsprozesse mit Robotern**
Periodische Stellbewegungen zur Werkstück- oder Werkzeughandhabung bzw. zur Werkzeugführung durch zeitlich und räumlich koordinierte Bewegung der Einzelachsen.
- **Umformen von Blechteilen**
Die Stückgutförderung an Umformmaschinen (z. B. Transferpressen in der Automobilindustrie) wird nicht mehr über komplizierte mechanische Koppelgetriebe und Gelenkwellen vom Zentralantrieb zwangsgesteuert, sondern Einzelantriebe führen die Stellbewegungen in einer programmierbaren Abhängigkeit von der Hauptbewegung des Umformprozesses aus. Neben einer höheren Flexibilität des Teiledurchsatzes verkürzen sich auch erheblich die Umrüstzeiten beim Wechsel des Teilesortimentes.
- **Verseilen von Stahldrähten**
Das technologische Verfahren des Verseilens der einzelnen Drähte, des geregelten Erwärmens, des von der Zugkraft geregelten Reckvorganges sowie des Aufwickelvorganges des Verseilgutes wird in einem kontinuierlichen Prozess durch geregelte Einzelantriebe, die technologiebezogen gesteuert werden, realisiert. Bei einigen Verseilverfahren (z. B. Herstellung von Stahlcord) sind die Einzelantriebe zur Zugkraftregelung der Drähte (Stellmotor und Stromrichter) im Verseilkorb montiert und rotieren mit der jeweiligen Verseilgeschwindigkeit.
- **Weben von synthetischen Materialien**
Die Aufbereitung der Synthefasern für den jeweiligen Webprozess erfolgt auf automatischen Wicklern zu so genannten Galetten. Die einzelnen technologischen Arbeitsschritte vom Rohfaden zum auf den Galetten aufgewickelten Webfaden, wie Erwärmung, Streckung, Verspinnen, Verwirbeln oder Zwirnen und die Fadenführung beim Wickeln, werden durch rechnergekoppelte Einzelantriebe in einem kontinuierlichen Prozess gesteuert. Entsprechende Anforderungen an den winkelgenauen Gleich-

lauf der Antriebe sind sehr hoch. Die für das Weben notwendigen Fadeneigenschaften werden durch technologiebezogene Software beeinflusst.

1.2 Grundstruktur des Servoantriebes

Zur Grundstruktur eines geregelten Antriebes gehören alle Baugruppen von der Netzein-
speisung bis zur Antriebsmechanik einschließlich der Mess- und Regeleinrichtungen.

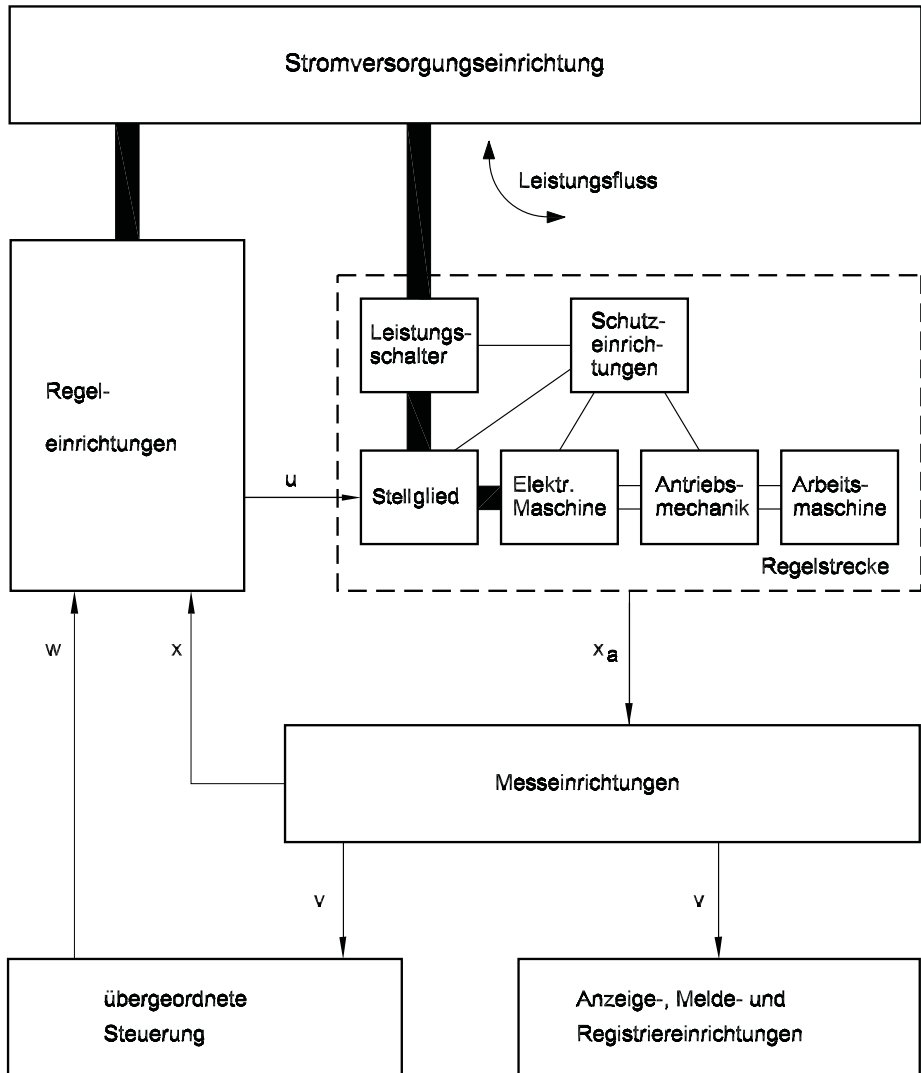


Bild 1.1 Struktur eines geregelten Antriebes

Der Leistungsfluss zur und von der Antriebsmaschine erfolgt über die Baugruppen der Regelstrecke:

- Stromversorgungseinrichtungen (Bereitstellung der elektrischen Energie, deren Parameter umgewandelt werden sollen), verbunden mit dem Niederspannungsnetz 3x 400 V, DS.
- Schalt- und Schutzeinrichtungen für den Antrieb.
- Leistungselektronisches Stellglied zur Parameterwandlung der elektrischen Energie (Gleichrichter, Pulssteller, Pulswechselrichter, Pulsumrichter).
- Elektrische Maschine als elektromechanischer Energiewandler (Gleichstromnebenschlussmaschine, Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer, Synchronmaschine mit Permanenterregung).
- Mechanisches Übertragungssystem zur Anpassung der mechanischen Größen (Drehzahl, Drehmoment, Trägheitsmoment) an die erforderlichen Größen der Arbeitsmaschine oder des technologischen Prozesses. Das beinhaltet auch die Umwandlung von Rotationsbewegungen in Translationsbewegungen und umgekehrt.

Dieser Leistungsfluss wird über den Steuereingang des leistungselektronischen Stellgliedes (Stellgröße u) durch die Mess- und Regeleinrichtung entsprechend den Anforderungen des technologischen Prozesses auf der Arbeitsmaschine beeinflusst. Als Komponenten wären zu nennen:

- Messeinrichtungen zur Erfassung von Zustandsinformationen des zu steuernden technologischen Prozesses (üblicherweise sind das: Einrichtungen zur Messung von Weg (Winkel), Geschwindigkeit (Drehzahl), Beschleunigung, Kraft (Drehmoment oder Strom).
- Steuer- und Regeleinrichtung zur effektiven Beeinflussung der bereitgestellten mechanischen Energie an der Arbeitsmaschine. Üblich sind Regelkreise für Weg (Lage), Geschwindigkeit (Drehzahl) und Kraft/Drehmoment (Strom).
- Anzeige-, Melde-, Registrier- und Bedieneinrichtung zur Einbindung des Einzelantriebes in die Prozesssteuerung.
- Die Vorgabe der Führungsgrößen (Weg, Geschwindigkeit, Drehmoment) erfolgt durch die übergeordnete Rechnersteuerung.

1.3 Arbeitsbereiche

Ein uneingeschränkter Energieaustausch zwischen dem elektrischen Eingangsnetz und der Arbeitsmaschine (technologischer Prozess) erfordert den Betrieb des Antriebes, bestehend aus dem leistungselektronischen Stellglied und der elektrischen Maschine, in allen vier Quadranten der Drehzahl-Drehmoment-Ebene /1.1/. Das Stellglied muss deshalb in Bezug auf die Eingangsspannung beide Stromrichtungen (Einspeisen bzw. Rückspeisen) zulassen. Weiterhin werden über die Stellgröße u (vgl. Bild 1.1) die elektrischen Parameter Spannung U , Strom I und Frequenz f vom Stromrichter der elektrischen Ma-

schine so vorgegeben, dass zwischen U , f und der Winkelgeschwindigkeit ω bzw. zwischen Eingangsstrom I und dem Drehmoment m Proportionalität besteht.

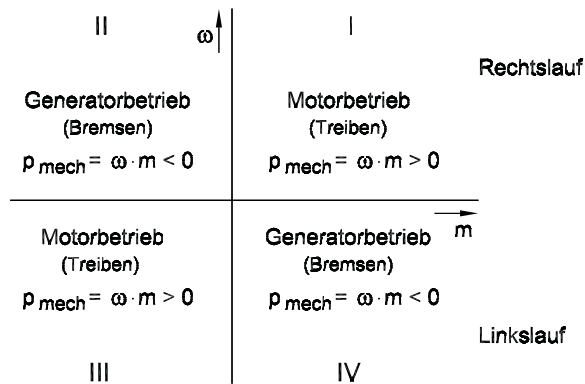


Bild 1.2 Drehzahl- Drehmoment-Ebene

Mit einem 4-Quadranten-Antrieb können die für den jeweiligen technologischen Prozess benötigten mechanischen Parameter wie $m(t)$ und $\omega(t)$ (rotatorische Bewegung) bzw. $F(t)$ und $v(t)$ (translatorische Bewegung) als stetige Zeitfunktionen sehr feinfühlig bereitgestellt werden. Zur Charakterisierung der Bewegungs- und Belastungsvorgänge ist neben ihrer zeitlichen Abhängigkeit eine Kennzeichnung nach dem Energiefluss notwendig (Bild 1.2). Es werden alle positiven Leistungen $p_{\text{mech}} = \omega \cdot m$ als Motorbetrieb (Treiben) definiert. Das betrifft bei Rechtslauf den I. Quadranten und bei Linkslauf den III. Quadranten. Dabei nimmt die Antriebsmaschine über das Stromrichterstellglied Energie aus dem Netz auf und führt die mechanische Leistung p_{mech} an die Arbeitsmaschine ab. Dies gilt sowohl im stationären als auch im dynamischen Betrieb (Beschleunigungsvorgänge) des Antriebes. Die Verluste bei der Energieübertragung und der Parameterwandlung vom Eingangsnetz zur Arbeitsmaschine sind relativ gering und werden über die Wirkungsgrade der einzelnen Komponenten der Regelstrecke (Bild 1.1) berücksichtigt. Für Bremsvorgänge muss sich entweder das Vorzeichen des Drehmomentes m oder die Richtung der Winkelgeschwindigkeit ω ändern. Damit wird die mechanische Leistung p_{mech} negativ und die als Generator arbeitende elektrische Maschine gibt die Leistung abzüglich der Verluste an das elektrische Eingangsnetz ab. Das betrifft bei Rechtslauf den II. Quadranten und bei Linkslauf den IV. Quadranten. Der Wirkungsgrad für den Leistungsfluss zwischen dem elektrischen Eingangsnetz und der Arbeitsmaschine ist dabei in beiden Richtungen sehr gut.

Sonderlösungen mit eingeschränktem Energieaustausch stellen der

- Einrichtungsantrieb (I. oder III. Quadrant) und der
- Betrieb in zwei Quadranten (durchziehende Last beim Kranhubwerk bzw. Lasten- und Personenaufzug (I. und IV. Quadrant))

dar. Zur Umkehr von Winkelgeschwindigkeit ω und Drehmoment m wird hier das Stellglied kontaktbehafet umgepolt, was eine große Totzeit beim Übergang zwischen den

Quadranten zur Folge hat. Deshalb sind diese Antriebe als Servoantriebe nur bedingt einsetzbar und werden im Folgenden nicht betrachtet.

1.4 Regelungstechnische Struktur

Die Umsetzung der Grundstruktur des Antriebes in eine regelungstechnische Blockstruktur ergibt folgendes Blockschaltbild:

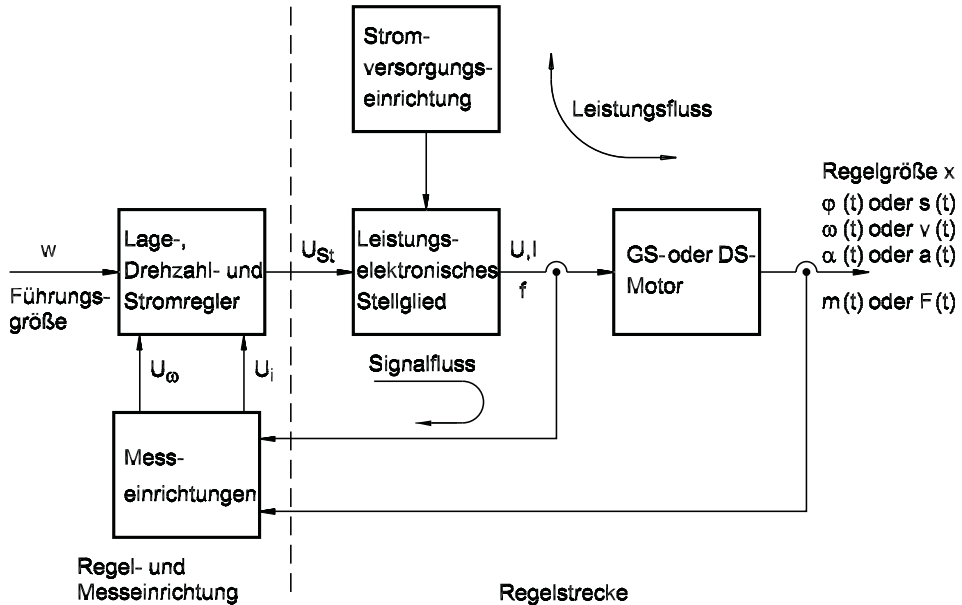


Bild 1.3 Blockschaltbild des geregelten Servoantriebes

Die Regelstrecke umfasst das leistungselektronische Stellglied und als Energiewandler die Gleichstrom- oder Drehstrommaschine mit dem Ausgang Regelgröße x (Weg/Winkel oder Geschwindigkeit/Winkelgeschwindigkeit oder Drehmoment/Strom).

Zur Regeleinrichtung gehören die entsprechenden Regler (Weg, Geschwindigkeit, Drehmoment) und die notwendigen Messeinrichtungen zur Erfassung der Istgrößen aus der Regelstrecke. Die Führungsgröße w wird von der übergeordneten Steuerung vorgegeben.

Ziel der Regelung ist, die Regelgröße x der Führungsgröße w anzugleichen. Dies gilt sowohl für die möglichst unverzögerte Nachführung der Regelgröße bei Änderung der Führungsgröße (Führungsverhalten des Regelkreises) als auch bei Einwirkung von Störgrößen auf die Regelstrecke in einem stationären Arbeitspunkt, d. h. konstante Führungsgröße (Störverhalten). Die Störgröße in Antriebsregelkreisen ist im Wesentlichen das Lastmoment an der Welle des Antriebsmotors.

Die Bemessung der Regler für diese zwei Grenzfälle (Führungs- und Störverhalten) setzt eine vollständige Kenntnis des statischen und dynamischen Verhaltens der Regelstrecke voraus.

Die in der Antriebstechnik übliche Methode zur Beschreibung der Strecke ist die Analyse der Übertragungsfunktion der Strecke oder von deren Komponenten. Dies erfolgt durch Transformation der Zusammenhänge vom Zeitbereich in den Bildbereich mit Hilfe der Laplace-Transformation. Durch Analyse der Streckenparameter leistungselektronisches Stellglied und elektrische Maschine mittels der Übertragungsfunktion $G(s)$ kann das Systemverhalten gut abgeschätzt und eine geeignete Reglerstruktur gefunden werden /1.2/; /1.3/; /1.4/.

Die Antriebsregelstrecke besitzt zwei große und viele kleine Zeitkonstanten (Stromrichtertotzeit, Filterzeitkonstanten der Messglieder, Rechnertaktzeit der digitalen Regler), die zu einer Summenzeitkonstante zusammengefasst werden.

Als optimale Regelstruktur hat sich bei elektrischen Antrieben die Kaskadenregelung bewährt. Bild 1.4 zeigt einen zweischleifigen Regelkreis als Kaskaden- und Parallelregelung.

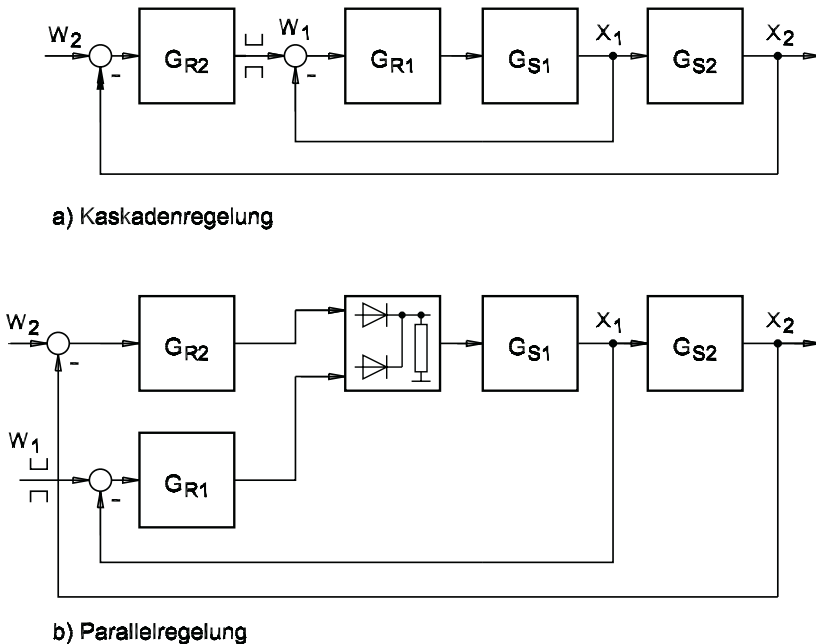


Bild 1.4 Regelstrukturen zweischleifiger Regelkreise

Die Regelstrecke mit der Übertragungsfunktion G_s wird in zwei Teilregelstrecken G_{s1} und G_{s2} mit je einer großen Zeitkonstante τ_s aufgeteilt. Diese Aufteilung der Regelstrecke entspricht bei elektrischen Antrieben den Regelkreisen für den Anker- bzw. Ständerstrom sowie der Drehzahl. Damit die Regelkreise entkoppelt sind, muss das Verhältnis der Zeit-