Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 11

Artikel: Einsatz von Mikroprozessoren in der Antriebstechnik

Autor: Rigamonti, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904627

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Einsatz von Mikroprozessoren in der Antriebstechnik

G. Rigamonti

Nach wie vor sind die Bewegungssysteme für Vorschub und Positionierung bei Werkzeugmaschinen, Robotern, Transferstrassen usw. mitbestimmend für deren Präzision, Leistung und Kosten. Heutzutage bieten Mikroprozessoren und digitale Lagemessgeräte neue Möglichkeiten in der Realisierung von numerischen Lage- und Geschwindigkeitsregelungen. Numerische Verfahren erlauben die Implementation von neuen und modernen Regelungsalgorithmen, deren Realisierung mit analoger Technik kaum vorstellbar war.

Les systèmes de mouvement et de déplacement des machines-outils, robots, chaînes de transfert, etc. déterminent en large mesure leur précision, leurs performances et leur coût. Aujourd'hui le microprocesseur offre la possibilité de réaliser la régulation de position et de vitesse de façon numérique. Les méthodes numériques permettent d'utiliser des algorithmes de régulation difficilement réalisables en technique analogique.

1. Einleitung

Bei den neuen Werkzeugmaschinen und Robotern (Fig. 1) wird die Anzahl der zu steuernden Achsen immer grösser und die Anforderung an die Antriebé wegen der geforderten Genauigkeit und der Synchronisierung der verschiedenen Achsen immer strenger. Anderseits erwartet man, dass der Elektronikaufwand weiter reduziert wird. Dies ist nur erreichbar, wenn die Achsen als Module betrachtet werden, welche die CNC-Steuerung mit einfachen Befehlen ansteuern kann. Nur so kann auch eine ausreichende Flexibilität der Maschine garantiert werden.

2. Heutige Ausgangslage

Dem heutigen Stand der Technik bei Vorschubsystemen, insbesondere in der Werkzeugmaschinenbranche, entsprechen geschwindigkeitsgeregelte Antriebe in analoger Technik, deren Prinzip in Figur 2a dargestellt ist. Der Antrieb empfängt einen Geschwindigkeitssollwert von einer CNC-Steuerung. Der Geschwindigkeitsistwert wird mit einem Tachogenerator erfasst. Der PI-Geschwindigkeitsregler generiert den Stromsollwert, der über eine zweite PI-Stufe den Leistungsverstärker für den Motor regelt. Die eigentliche Lageregelung ist Aufgabe der CNC-Steuerung oder wird digital realisiert (Fig. 2b).

Der Lageregler arbeitet normalerweise linear für eine mehrdimensionale Bewegung und nichtlinear für eine zeitoptimale, einachsige Positionierung. Diese Regelung wird am häufigsten mit Kaskadenstruktur realisiert, d.h. der Lageregler steuert die Geschwindigkeit und der Geschwindigkeitsregler den Strom. Alle Regler können separat geeicht werden.

3. Lage- und Geschwindigkeitsregelung mit Mikroprozessor

Ein erstes Problem bildet die Übersetzung der Elemente des analogen Regelkreises in eine numerische Darstellung. Die Figur 3 zeigt die wichtigsten Zusammenhänge zwischen analoger und numerischer Technik. Links findet man die Sprungantwort, in der Mitte die Realisierung mit analoger Technik und rechts die relativen Differenzengleichungen, die man direkt in einem Mikroprozessor implementieren kann. Die Zeitkonstanten für die numerische Darstellung sind Funktionen der Abtastzeit.

Integrationsglied als Beispiel: Ein analoger Integrator bildet eine Summe über unendlich kleine Abtastzeiten, die Integrationskonstante beträgt $T_I = RC$. Ein numerischer Integrator anderseits arbeitet mit einer endlichen

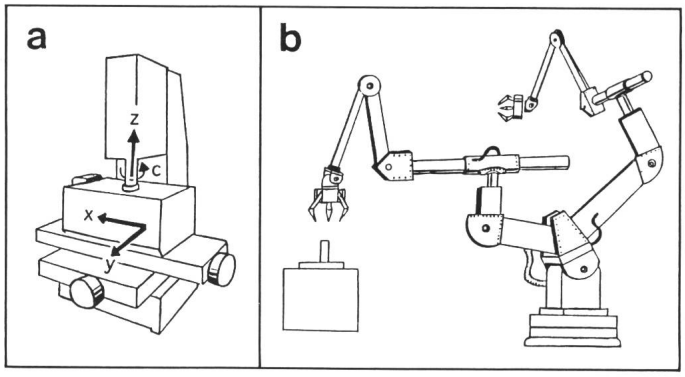


Fig. 1
a Mehrachsige Maschine
b Roboter

Adresse des Autors
Giorgio Rigamonti, AGIE, AG für industrielle Elektronik, 6616 Losone.

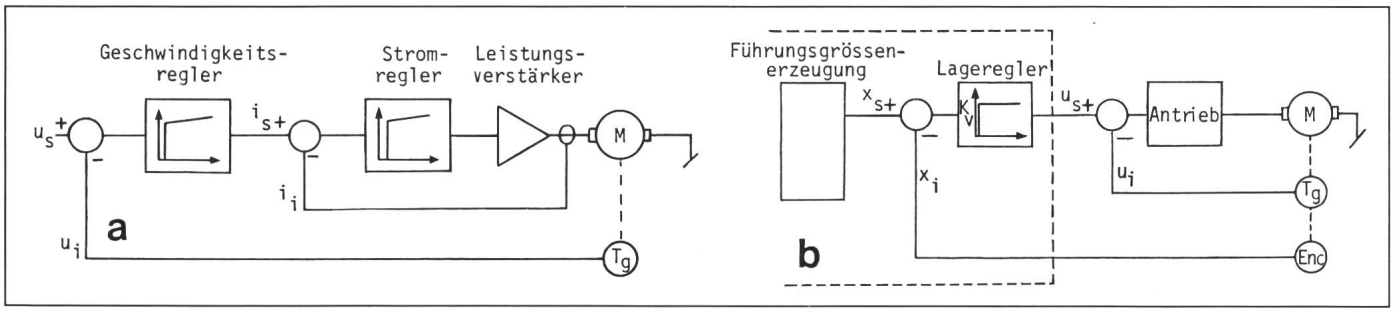


Fig. 2a Geschwindigkeitsgeregelter Antrieb

u_s Geschwindigkeitssollwert
u_i Geschwindigkeitsistwert
i_s Stromsollwert
i_i Stromistwert
M Motor
Tg Tachogenerator

Fig. 2b Lagegeregelter Antrieb mit Schnittstelle zur numerischen Steuerung

x_s Lagesollwert
x_i Lageistwert
Enc Encoder

Sprungantwort	Analoger Regler	Differenzengleichung
	e_{soll}, e_{ist}, R, R, a	$a[k] = e_{soll}[k] - e_{ist}[k]$
e, K_V, a	-e, R, $K_V R$, a	$a[k] = K_V e[k]$
e, e, T_I, a	-e, R, C, a; Zeitkonstante $T_I = RC$	$a[k]=a[k-1]+C_0 e[k-1]$; Zeitkonstante $T_I = \frac{T}{C_0}$
e, $K_V e$, T_I, a	-e, R, C, $K_V R$, a; Zeitkonstante $T_I = RC$	$a[k]=a[k-1]+K_V(e[k]-e[k-1]+C_0 e[k-1])$; Zeitkonstante $T_I = \frac{T}{C_0}$
e, e, T_F, a	-e, R, a; Zeitkonstante $T_F = RC$	$a[k]=a[k-1](1-C_0)+C_0 e[k]$; Zeitkonstante $T_F = \frac{T}{C_0}$
e, $K_V e$, a	-e, C, R, a; Zeitkonstante $T_D = RC$	$a[k]=K_V(e[k]+C_0(e[k]-e[k-1]))$; Zeitkonstante $T_D = \frac{T}{C_0}$

Fig. 3 Vergleich der analogen mit der digitalen Technik

e Eingangssignal
a Ausgangssignal
K_V Kreisverstärkung
T_I Integrationszeit
T_F Filterzeitkonstante
T_D Differentiationszeit
T Abtastzeit
$[k]$ Zeit kT
$[k-1]$ Zeit $[k-1]\,T$

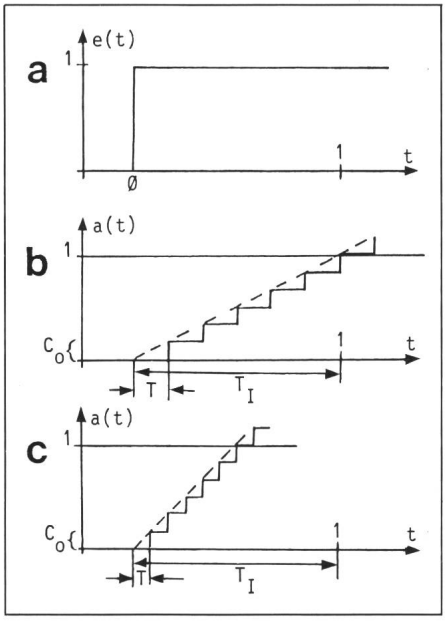


Fig. 4 Beispiel eines abgetasteten Integrationsgliedes

a Eingangssignal
b Ausgangssignal bei Abtastzeit $T = 0{,}2$ und Normierungsfaktor $C_0 = 0{,}2$, Integrationszeit $T_I = 1$
c Ausgangssignal bei Abtastzeit $T = 0{,}1$ und Normierungsfaktor $C_0 = 0{,}2$, Integrationszeit $T_I = 0{,}5$

Die numerische Integrationsgleichung lautet:
$a[k] = a[k-1] + C_0 e[k-1]$ mit
$C_0 = T/T_I$

Abtastzeit T. Will man nun die gleiche resultierende Integrationszeit erreichen, so muss ein Normierungsfaktor $C_0 = T/T_I$ eingesetzt werden (Fig. 4).

Die Figuren 5a bis 5c zeigen, wie man die in Kapitel 2 beschriebene Regelung analog und digital realisieren kann. Die Differenzengleichungen, die der Mikroprozessor zu verarbeiten hat, lauten:

$$i_s[k] = i_s[k-1] + K_U(e[k] - e[k-1] + C_0\, e[k-1]) \quad (1a)$$

$$e[k] = u_s[k] - u_i[k] \quad (1b)$$

$$u_s[4k] = K_V(x_s[4k] - x_i[4k]) \quad (1c)$$

Aus Stabilitätsgründen muss die Geschwindigkeitsregelung mit hoher Abtastfrequenz arbeiten, während für die Lageregelung eine 4mal langsamere Bearbeitung ausreicht. Statt vom Tachogenerator kann die Geschwindigkeit auch vom Lagemessgerät (z. B. Encoder, Messlineal) abgeleitet werden, falls dieses eine genügende Auflösung besitzt.

4. Neue Regelungskonzepte

4.1 Zustandsregelung

Der Zustandsregler ist ein Regler, der mit allen Grössen, die ein System charakterisieren, arbeitet [1]. Er ist besonders interessant für Systeme mit elastischen Übertragungsgliedern, bei denen eine hohe Dynamik verlangt wird. Der Vorteil der Zustandsregelung liegt darin, dass bei ihr eine grössere Informationsmenge erfasst (z. B. Lage, Geschwindigkeit und Beschleunigung für Motor und Werkzeug) und verarbeitet und dadurch eine verbesserte Regelung erreicht wird.

Charakteristisch für die Zustandsregelung ist, dass alle Regelparameter zusammen optimiert werden müssen, was nur mit Hilfe eines Rechners möglich ist. Anstatt alle relevanten Grössen zu messen, kann man die Regelstrecke und die Messgrössen, die technisch schwierig zu erfassen sind (z. B. Beschleunigung oder Lage eines nicht

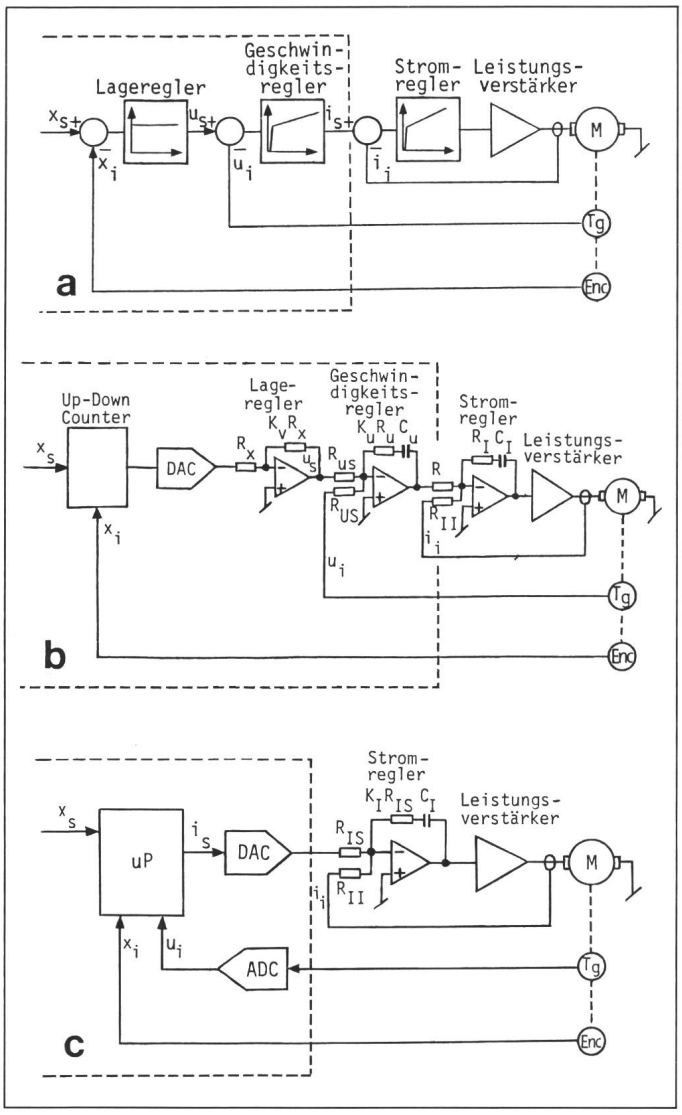


Fig. 5
Realisierung des geschwindigkeitsgeregelten Antriebes

a Signalflussbild
b Realisierung in Analogtechnik
c Realisierung in numerischer Technik
K_V Kreisverstärkung, Lageregler-verstärkung
K_M Stromregler-verstärkung
K_U Geschwindigkeitsregler-verstärkung
DAC Digital Analog Converter
ADC Analog Digital Converter

zugänglichen Elementes) simulieren. Eine solche Simulation nennt man *Beobachter* [2]. Die Figur 6 zeigt als Beispiel einer Zustandsregelung die Regelung eines Systems mit elastischem Übertragungsglied. Die zugehörige Differenzengleichung lautet:

$$i_s[k] = x_s[k] - (K_{MU} u_{Mi}[k] + K_{MX}\, x_{Mi}[k] + K_{WU}\, u_{Wi}[k] + K_{WX}\, x_{Wi}[k]) \qquad (2)$$

4.2 Geschwindigkeitsvorsteuerung

Bei diesem Regelungskonzept steuert man den Antrieb gleichzeitig über die Geschwindigkeit und die Lage. Dieses Verfahren ermöglicht Bewegungen mit minimalem Schleppfehler (Abweichung zwischen Lagesollwert und Lageistwert), weil für die Erzeugung des Geschwindigkeitssollwerts kein Lagefehler benötigt wird. Das Konzept ist interessant für synchrone Bewegungen und für Bahnbewegungen. Die Figur 7 zeigt das Blockschema einer solchen Regelung. Die zugehörigen Differenzgleichungen lauten:

$$i_s[k] = i_s[k-1] + K_V(e[k] - e[k-1] + C_0 e[k-1]) \qquad (3a)$$

$$e[k] = u_s[k] - u_i[k] - K_X(x_s[k] - x_i[k]) \qquad (3b)$$

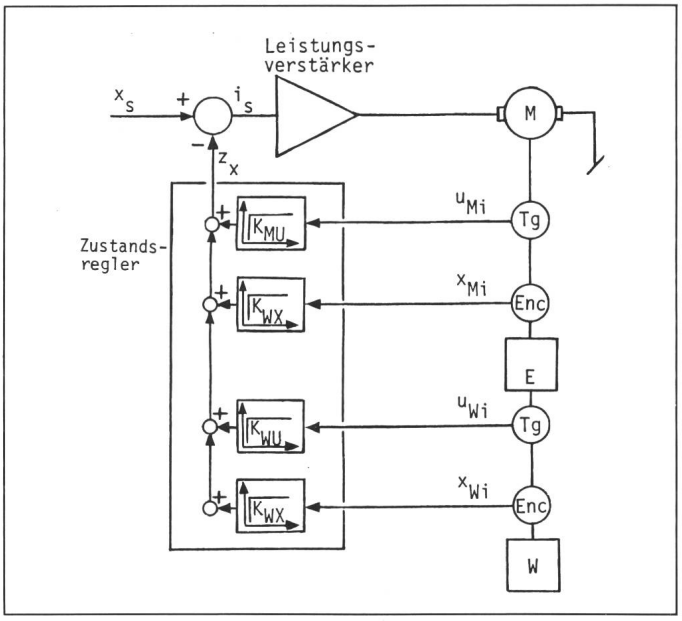
$$x_s[k] = x_s[k-1] + T_0 u_s[k-1] \qquad (3c)$$

5. Mehrdimensionale Lageregelung

Für Bahnbewegungen ist die Erzeugung der Führungsgrösse das Kernproblem. Bekannt sind verschiedene Möglichkeiten, wie man die dazu nötigen sogenannten Interpolatoren realisieren kann [3]. Mehrdimensionale Lageregelungen, d.h. Regelungen für die gleichzeitige Bewegung mehrerer Achsen, werden normalerweise mit einer CNC-Steuerung ausgeführt. Diese berechnet zu jeder Abtastzeit aus dem Geschwindigkeitssollwert die neue Achsensollage. Der Lagesollwert wird mit dem Istwert verglichen, und der resultierende Fehler mit dem Koeffizienten K_V (Kreisverstärkung) multi-

Fig. 6
Zustandsregelung eines Systems mit elastischem Übertragungsglied

x_{Mi} Motoristlage
x_{Wi} Werkzeugistlage
u_{Mi} Motor-Istgeschwindigkeit
u_{Wi} Werkzeug-Istgeschwindigkeit
E Elastische Übertragungsstrecke
W Werkzeug



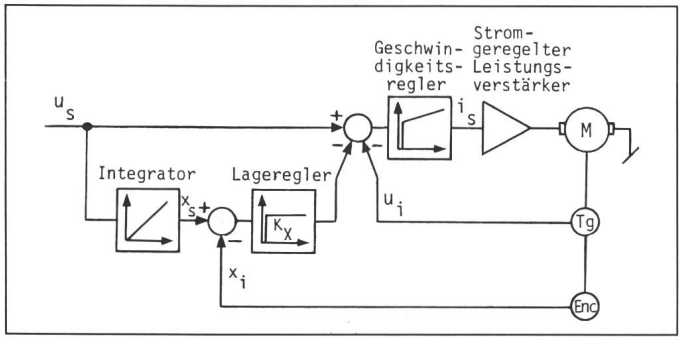


Fig. 7
Blockschema einer Regelung mit Geschwindigkeitsvorsteuerung

K_x Gewicht des Lagefehlers
x_s Sollage
x_i Istlage
u_s Sollgeschwindigkeit
u_i Istgeschwindigkeit

pliziert. Die berechnete Grösse wird als Geschwindigkeitssollwert an die Antriebe gesandt, wo dann die entsprechende Bewegung möglichst verzögerungsfrei ausgelöst wird. Dieses System benötigt zur Erzeugung des Geschwindigkeitssollwertes immer einen Lagefehler (Schleppfehler).

Die Figur 8 zeigt eine andere mögliche Lösung, die Bahnbewegungen mit sehr niedrigem Schleppfehler und geringer Bahnabweichung erlaubt. Bei diesem System verhält sich der Antrieb wie ein Schrittmotor; die CNC-Steuerung muss sich nur um die Sollwerte der Geschwindigkeit kümmern. Das System kann in die Komponenten Bahn- oder Trajektoriencontroller, Interpolator und lagegeregelte Antriebe mit Geschwindigkeitsvorsteuerung unterteilt werden.

5.1. Bahncontroller

Der Bahncontroller berechnet und überwacht die Bahngeschwindigkeit und beschränkt die Beschleunigung sowie die Geschwindigkeit der beteiligten Achsen. Zudem steuert er die Dynamik der Bahnbewegung in Funktion eines überlagerten Prozesses, wie z. B. der Elektroerosion oder Schnittleistungskontrolle.

5.2 Interpolator

Der Interpolator berechnet, aus einer vorgegebenen linearen oder zirkularen Bahnstrecke, welche durch zwei Lagepunkte bzw. durch einen Radius und einen Winkel definiert ist, die exakte Sollage. Aus dieser und der Bahnsollgeschwindigkeit wird die Sollgeschwindigkeit für die einzelne Achse gerechnet.

5.3 Lagegeregelte Antriebe

Der Antrieb ist lagegeregelt und arbeitet nach dem Prinzip der Geschwindigkeitsvorsteuerung. Die Integration der Sollgeschwindigkeit ergibt die Sollage. Zuerst versucht der Antrieb sich mit der Sollgeschwindigkeit zu bewegen. Der unvermeidliche Geschwindigkeitsfehler verursacht einen Lagefehler, der mit einer niedrigen Dynamik kompensiert wird. Je genauer der Geschwindigkeitsregler arbeitet, desto kleiner ist der Schleppfehler.

6. Neue Steuerungsmöglichkeiten

Eine exakte Integration der Geschwindigkeit ist nur mit numerischen Methoden zu erreichen. Die Kombination numerische Verarbeitung in der CNC und serielle Übermittlung der Geschwindigkeitssollwerte zu den einzelnen Antrieben dürfte deshalb eine optimale Lösung darstellen, nicht zuletzt auch wegen der guten Trennung zwischen Antriebsmodulen und CNC. Mit einer Vollduplexleitung können neben dem Geschwindigkeitssollwert auch Steuerbefehle, Statuswörter, Daten, Parameter wie z. B. Verstärkungsfaktor sowie Endschalterabfragen übermittelt werden.

7. Ausblick

Neue Generationen von Mikroprozessoren bieten immer höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten und einfachere Steuerungsmöglichkeiten an. So besitzen z. B. die neuen Single-Chip-Mikroprozessoren AD-Wandler, Timer, 16-bit-Rechenleistung mit der Möglichkeit von Multiplikation und Division, programmierbare Input-Output-Leitungen usw. Dies erlaubt, den äusseren Elektronikaufwand noch weiter zu reduzieren.

Auch die Messsysteme, wie z. B. die optischen Drehgeber, können und müssen intelligenter und direkt kompatibel zum Mikroprozessor werden. Von ihnen verlangt man in Zukunft nicht nur die Erfassung einer inkrementellen Lage, sondern auch die digitale Ausgabe der Geschwindigkeit sowie der absoluten Rotorlage.

Literatur

[1] *G. Stute:* Regelung an Werkzeugmaschinen. München/Wien, Carl-Hanser-Verlag, 1981.
[2] *F. Huguenin:* Zustandsregelung eines elektromechanischen Systems mittels Mikrorechner. Elektronik 18(1979)10, S. EL 9...EL 16.
[3] *D. Binder:* Interpolation in numerischen Bahnsteuerungen. Berlin u.a., Springer-Verlag, 1979.

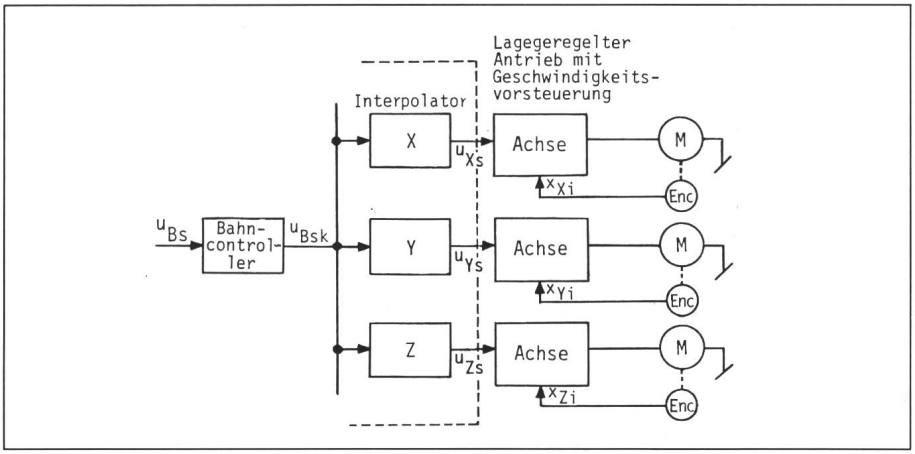


Fig. 8 Blockschema eines Bahnbewegungssystems

u_{Bs} Bahnsollgeschwindigkeit
u_{Bsk} kontrollierte Bahngeschwindigkeit
u_{Xs}, u_{Ys}, u_{Zs} Sollgeschwindigkeiten der Achsen X, Y, Z
x_{Xi}, x_{Yi}, x_{Zi} Istlagen der Achsen X, Y, Z