

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Motion-Control-Systeme mit ungleichmäßig
übersetzenden Getrieben
Nutzeffekte und Realisierungsaspekte

VDI 2742

Entwurf

Motion control systems with non-uniform translating gears – Benefits and implementation aspects

Einsprüche bis 2019-03-31

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchportal <http://www.vdi.de/einspruchportal>
- in Papierform an
VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung
Fachbereich Getriebe und Maschinenelemente
Postfach 10 11 39
40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Formelzeichen und Indizes	3
3 Aufbau eines Antriebsstrangs mit Motion-Control-System	6
4 Nutzeffekte mit ungleichmäßig übersetzenden Getrieben	9
4.1 Übersicht	9
4.2 Bewegungsübertragung und Wandlung der Bewegungsart	11
4.3 Bewegungsbegrenzung durch Totlagen	12
4.4 Gliedführung	13
4.5 Antriebsentlastung bei statischer Betriebslast	15
4.6 Antriebsentlastung bei dynamischer Betriebslast	15
5 Dimensionierung des elektrischen Antriebssystems	20
5.1 Erstellung eines Anforderungsprofils	21
5.2 Vereinfachte Vorauswahl von Motoren und Reduziergetrieben	23
5.3 Vertiefte Optimierung der Übersetzung des Reduziergetriebes	26
5.4 Kontrollrechnung	30
6 Regelung von elektromechanischen Antriebssystemen	32
6.1 Physikalische Modellbildung	32
6.2 Reglerdimensionierung, Reglerstruktur und Stabilität	34
6.3 Vorsteuerung bei gleichmäßiger Übersetzung	37
6.4 Regelungsentwurf mit dynamischer Momentenvorsteuerung beim Antrieb von U-Getrieben	39
Schrifttum	43

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)
Fachbereich Getriebe und Maschinenelemente

VDI-Handbuch Getriebetechnik I: Ungleichförmig übersetzende Getriebe

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. *Maik Berger*, VDI, Chemnitz

Dr.-Ing. *Rolf Blümel*, VDI, Dresden

Univ.-Prof. i. R. Dr.-Ing. *Reinhard Braune*, VDI, Aachen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. *Burkhard Corves*, VDI, Aachen

Dipl.-Ing. (FH) *Josef Gißler*, VDI, Offenburg

Dr.-Ing. *Uwe Hanke*, VDI, Dresden

Dr.-Ing. *Michael Köster*, VDI, Bremen

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. *Volkmar Müller*, VDI, Dresden

Dipl.-Ing. *Stefan Pollmeier*, VDI, Ober-Ramstadt

Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil. *Thomas Thümmel*, VDI, Garching

Dr.-Ing. *Sven Tietze*, VDI, Dresden

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Einleitung

Ungleichmäßig übersetzende Getriebe, z. B. Koppelgetriebe mit Dreh- und Schubgelenken, Kurvengetriebe, Unrund-Zahnradpaare und vielfältige andere Bauformen sind klassische mechanische Mittel zur Erzeugung komplexer Bewegungsabläufe von Arbeitsorganen und gewünschten Kraftwirkungen in Verarbeitungsmaschinen. Sie sind damit oft das leistungs- und marktstellungsbestimmende „Herz“ einer Maschine zur Erfüllung eines bestimmten technologischen Prozesses.

Andererseits eignen sich mit ihrer heutigen Leistungsfähigkeit in vielen Fällen auch lagegeregelte Servoantriebe mit programmierter Bewegungssteuerung – sogenannte „Motion-Control-Systeme“ (abgekürzt MCS) oder „gesteuerte Antriebe“ – ganz ausgezeichnet zur Lösung von anspruchsvollen Bewegungsaufgaben. Gegenüber den klassischen getriebetechnischen, rein mechanischen Lö-

sungen bieten solche Antriebe einerseits die Möglichkeit der dezentralen Anordnung mehr oder weniger direkt am bewegten Arbeitsorgan und andererseits vor allem den entscheidenden Vorteil der größeren Flexibilität durch schnelle und einfache Änderbarkeit von Bewegungsabläufen. Als sogenannte „elektronische Kurvenscheiben“ werden MCS deshalb zunehmend auch in schnellen Verarbeitungsmaschinen eingesetzt. Manchmal verdrängen sie dabei klassische getriebetechnische Lösungen, meist aber entstehen ganz neue, eben flexible Antriebskonzepte, die rein getriebetechnisch nur sehr aufwendig oder überhaupt nicht möglich gewesen wären.

Es gibt jedoch nach wie vor auch technologische Prozesse und Maschinen, bei denen eine mechanische Lösung und ein Antrieb mit konstanter Winkelgeschwindigkeit und eventuell Schwungrad völlig ausreichen.

Häufig werden ungleichmäßig übersetzende Getriebe und gesteuerte Antriebe nur als sich gegenseitig ausschließende Konkurrenten gesehen. Gelegentlich kann aber durchaus auch eine Kombination eines MCS mit einem ungleichmäßig übersetzenden Getriebe anstelle einer rein linearen Bewegungsübertragung vom Motor bis zum Arbeitsorgan eine besonders günstige Lösung darstellen. Dabei sind verschiedene Wege zur Entstehung eines solchen kombinierten Gesamtsystems möglich.

Eine typische Ausgangssituation besteht z. B. darin, dass in einer Maschine ein vorhandenes ungleichmäßig übersetzendes Getriebe durch eine gemeinsame Hauptwelle aller Baugruppen der Maschine mit mehr oder weniger konstanter Winkelgeschwindigkeit angetrieben wird, und dieses Getriebe – so wie es ist – beibehalten werden, aber nun einen eigenen, individuell gesteuerten Antrieb erhalten soll. Dabei ist das Motiv in der Regel der Gewinn an Flexibilität, z. B. zur besseren Anpassung des Bewegungsablaufs an die Anforderungen des technologischen Prozesses, zur einfacheren Umstellung auf unterschiedliche Produktionsparameter und/oder, um im laufenden Betrieb gezielt auf Störungen oder Sonderbetriebszustände reagieren zu können.

Bei Neuentwicklungen ist der Ablauf im Allgemeinen umgekehrt. Zunächst wird grundsätzlich über die Antriebsart entschieden und dabei gegebenenfalls festgelegt, dass – z. B. wegen seiner Flexibilität – ein MCS eingesetzt werden soll. In der Regel wird dann im Weiteren vorgesehen, dass der Motor entweder das Arbeitsorgan direkt antreibt oder aber über gleichmäßig übersetzende Getriebe wie Untersetzungsgetriebe, Wandler von

Drehbewegung in Schubbewegung und andere, gegebenenfalls notwendige Elemente zur Bewegungsweiterleitung vom Motor bis zum angetriebenen Arbeitsorgan angetrieben wird. Anstelle einer solchen, rein linearen Bewegungsübertragung kann aber in bestimmten typischen Fällen durchaus auch eine nichtlineare Bewegungsübertragung sinnvoll sein und zu einer besonders günstigen Gesamtlösung führen, wie die Zwischenschaltung eines ungleichmäßig übersetzenden Getriebes, z. B. in Form einer einfachen Schubkurbel.

Das Wissen um diese Möglichkeiten soll den Entwicklungsingenieur anregen, in entsprechenden Fällen derartige Kombinationslösungen zu berücksichtigen, mit denen manches eventuell einfacher oder eleganter gelöst werden kann als bei einem konsequenten Verzicht auf den Einsatz von ungleichmäßig übersetzenden Getrieben in Kombination mit gesteuerten Antrieben. In jedem Fall muss natürlich entsprechender getriebetechnischer und maschinendynamischer Sachverstand verfügbar sein, siehe Schrifttum, und meist ist auch der Einsatz von speziellen Softwarewerkzeugen notwendig.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie soll überall dort Anregungen und Unterstützung geben, wo anspruchsvolle Bewegungsaufgaben gelöst werden müssen und dazu eventuell auch Kombinationen von Motion-Control-Systemen (MCS) mit ungleichmäßig übersetzenden Getrieben infrage kommen. Insbesondere betrifft dies die Entwicklung schnelllaufender Be- und Verarbeitungsmaschinen, daneben aber auch andere Bereiche des Maschinenbaus, wie Robotik, Handhabungstechnik, Fahrzeugtechnik oder Haushaltsgeräte.

Die Anwendung der Richtlinie kann sowohl bei Neuentwicklungen aber auch bei der Weiterentwicklung und Effektivitätssteigerung vorhandener Lösungen Nutzen bringen.

Nach einer vergleichenden Betrachtung des prinzipiellen Aufbaus von elektromechanischen Antriebssträngen mit einem MCS zur Antriebssteuerung und mit oder ohne ein ungleichmäßig übersetzendes Getriebe im Abschnitt 3 werden als Schwerpunkt dieser Richtlinie im Abschnitt 4 prinzipielle Nutzeffekte vorgestellt, die durch die Kombination eines vorgesehenen MCS mit einem ungleichmäßig übersetzenden Getriebe mit nichtlinearer Bewegungsübertragung erreichbar sind. Diese Aussage wird näher begründet, aufgegliedert und mit Beispielen belegt. Dabei werden hier nur Systeme mit dem Getriebelaufgrad $F = 1$ betrachtet, also solche mit nur einem Antrieb.