

Diss. ETH 5963

**Die Nachlaufgenauigkeit
des hydraulischen Zylinderantriebes
im Werkzeugmaschinenbau**

ABHANDLUNG

zur Erlangung
des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

HANS BAUMGARTNER
Dipl. Masch.-Ing. ETH
geboren am 27. Oktober 1946
von Winterthur (Kt. Zürich)

Angenommen auf Antrag von
Prof. E. Matthias, Referent
Prof. Dr. P. Profos, Korreferent

1977

Abstract

In the present study a hydraulic cylinder-drive with servovalve and proportional position feedback is considered. The follow-up accuracy of this position controlled feed drive system depends heavily on the adjustable loop gain and therefore on the properties of the construction elements employed. In this study the consequences of Coulomb-friction, bypass-leakage and of the actual nonlinear valve characteristic on the follow-up accuracy are especially investigated.

In order not only to obtain results, but also to give an understanding of the co-relationships, three different approaches are applied:

- Reflections in the field of control theory based on a linear model provide the necessary understanding of the process
- The digital simulation of the nonlinear process shows the possibilities and the limits of such simplified considerations
- Extended measurements on a test rig verify the results which have been derived theoretically.

Zusammenfassung

Die statische und dynamische Nachlaufgenauigkeit der Vorschubantriebe einer bahngesteuerten Werkzeugmaschine schlägt sich unmittelbar auf das Werkstück nieder. Dies gilt auch für den hydraulischen Zylinderantrieb mit proportionaler Positionsrückführung. Wegen seiner bestechenden Einfachheit, mit dem Verzicht auf Getriebe und Spindel, hat dieser seine Bedeutung als Antriebselement beibehalten. Man muss jedoch seine Eigenschaften, seine Möglichkeiten und seine Grenzen kennen, um ihn erfolgreich einsetzen zu können.

Die Arbeit versucht deshalb, die Zusammenhänge des recht komplexen Geschehens möglichst anschaulich darzustellen und insbesondere die Wirkung der Coulomb'schen Reibkraft, der tatsächlichen Schieberunterlappung und der Bypass-Drosselung auf Stabilität und Nachlaufgenauigkeit des Regelkreises aufzuzeigen. Dieses Ziel wird auf drei verschiedenen Wegen verfolgt: einmal durch allgemeingültige regeltheoretische Ueberlegungen zur Stabilitätsfrage und zur Erscheinung von Grenzzyklen, dann durch die digitale Simulation von ausgewählten zeitlichen Vorgängen und schliesslich durch spezifische Messungen an der Versuchsanlage, welche die Zusammenhänge auch zahlenmässig erhärten. Das auf deduktivem Weg erhaltene Modell wird gleichzeitig im Zeitbereich und, linearisiert, im Frequenzbereich betrachtet. Die Fragestellung nach der Nachlaufgenauigkeit des Antriebssystems steht bereits bei der Behandlung der Einzel-elemente im Vordergrund.

Der erste Teil behandelt die Elemente der Regelstrecke einzeln. Die Beschreibung des tatsächlichen Schieberkennlinienfeldes fusst auf gemessenen statischen Kennlinien. Die Leckage über dem Kolben oder durch einen künstlichen Bypass wird anhand ihrer Wirkung beschrieben und in einem äquivalenten Kennlinienfeld dem unterlappten Steuerschieber gegenübergestellt.

Schliesslich umreissen Reibkraftmessungen an den Gleitführungen eines Bohrwerkes und an den Wälzkörperführungen der Versuchsanlage den Umfang der möglichen Reibkraftformen. Zur theoretischen Weiterbehandlung wird die Coulomb'sche Reibkraft "harmonisch linearisiert".

Der zweite Teil der Arbeit befasst sich mit der Gesamtdämpfung der Strecke, der kritischen Kreisverstärkung und den möglichen Grenzyklen des Lageregelkreises. Der Einfluss der Coulomb'schen Reibkraft wird besonders hervorgehoben.

Der dritte Teil schlägt die Brücke von den Elementen des Antriebs zur Nachlaufgenauigkeit des ganzen Systems. Anhand des Schlepp- und Positionierfehlers wie auch des dynamischen Fehlers werden Möglichkeiten und Grenzen zur Verringerung solcher Fehler behandelt, sofern sie auf den Antrieb zurückzuführen sind.

Im Anhang schliesslich werden einige spezielle Gesichtspunkte der digitalen Simulation, die Versuchsanlage und die verwendeten Messverfahren beschrieben, letztere so ausführlich, dass auch Uebertragungen auf ähnlich gelagerte Messaufgaben möglich sind.