

5. Zusammenfassung

Das Zeitverhalten linearer Übertragungssysteme kann nach den Regeln der klassischen Regelungstechnik in oszillierende und monotone Partialbewegungen zerlegt werden, deren Frequenzen, Dämpfungsgrade und Zeitkonstanten durch die Polstellenverteilung der Übertragungsfunktion festgelegt sind. Analysen geregelter hydraulischer Antriebssysteme basieren sehr häufig auf der Ermittlung dieser Kennwerte und diskutieren deren Abhängigkeiten von der Antriebsstruktur und den Systemparametern. Die Dominanz der Teilbewegungen findet als weitere wichtige Maßzahl nur wenig Beachtung, was nicht selten zu völligen Fehlinterpretationen bezüglich der Systemdynamik führen kann.

Für die Dominanz der Teilbewegungen ist -neben der relativen Lage der Pole zueinander -die Verteilung der Übertragungsfunktions-Nullstellen von zentraler Bedeutung. Ihre Position bestimmt ganz wesentlich das Übergangsverhalten von Steuerungen und Regelkreisen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war die detaillierte Untersuchung der Poldominanzverteilung von hydraulischen Antrieben unter dem besonderen Aspekt des Nullstelleneinflusses. Da das Störverhalten von Regelkreisen fast immer durch das zusätzliche Auftreten von Nullstellen gekennzeichnet ist, sollte hier ein besonderer Schwerpunkt der Analysen gesetzt werden.

Nach einer eingehenden Erörterung der theoretischen Zusammenhänge wurde nach Verfahren und Darstellungsformen gesucht, die sich besonders für den praxisorientierten Einsatz in der Systemanalyse eignen. Als besonders effektiv erwies sich die zusätzliche Einführung der Polmächtigkeiten in das Pol-/Nullstellendiagramm. Damit läßt sich ein direkter Bezug zur Dominanz der verschiedenen Teilbewegungen herstellen.

Der Kennwert der Polmächtigkeit beinhaltet nicht allein die Schwingungsamplitude einer gedämpften Schwingung, sondern bezieht zusätzlich die Phasenverschiebung einer Teiloszillation mit ein. Besonders bei gut gedämpften Schwingungen kann dieser Einfluß nicht vernachlässigt werden, da er ganz wesentlich über die anfängliche Richtungstendenz (steigend oder fallend) von Partialbewegungen entscheidet.

Eine detailliertere Aufschlüsselung von Teilamplituden und Teilphasenverschiebungen kann dem Poldominanzdiagramm entnommen werden. Hier wird auf übersichtliche Weise eine klare Information über das Systemverhalten vermittelt.

In Äquiampplituden- und Äquiphasen-Diagrammen wurde eine anschauliche Darstellung des Zusammenhanges zwischen Poldominanzen und Nullstellenverteilung gezeigt.

In einem weiteren Teil der Arbeit wurden die gefundenen Verfahren auf die Analyse von elektrohydraulischen Positionsregelungen angewendet. Dabei wurden typische Standard-Regelungskonzepte unter dem speziellen Aspekt der Poldominanzen untersucht. Besonderer Untersuchungsgegenstand war das Störverhalten der Antriebe,

da die hierbei zusätzlich auftretenden Nullstellen einen deutlichen Einfluß auf die Polmächtigkeiten haben.

Die Ergebnisse zeigten, daß eine Poldominanzanalyse sehr schnell präzise Aussagen über die Systemdynamik ermöglicht. Auf besonders anschauliche Weise führt sie zu Einsichten, die durch die rein polstellenorientierte Analyse von Eigenbewegungen kaum zu erzielen sind.

Im Zusammenhang mit den Untersuchungen entstand das Berechnungsprogramm LIDO, das neben allen gebräuchlichen Standardanalysen der linearen Regelungstechnik die Poldominanzanalyse von ventilgesteuerten Zylinderantrieben ermöglicht. Die verschiedensten Regelungsarten, Reglertypen, Rückführungen und Aufschaltungen können in die Untersuchungen mit einbezogen werden. Dabei kann sowohl das Führungs- als auch das Störverhalten in den verschiedensten Arbeitspunkten analysiert werden.

Obwohl die Systemanalysen von LIDO auf einem linearen Modell beruhen, werden bei der Linearisierung im Arbeitspunkt alle wichtigen (differenzierbaren) Nichtlinearitäten berücksichtigt. Wichtige Eigenschaften hydraulischer Zylinderantriebe, wie zB. die Abhängigkeit der Eigenfrequenz vom Zylinderhub, der Zusammenhang zwischen Ventilöffnung und Dämpfungsgrad sowie die starke Lastabhängigkeit der Kreisverstärkung, finden somit Beachtung.

Besonderer Wert wurde bei der Entwicklung von LIDO auf die einfache und unkomplizierte Bedienbarkeit gelegt. Damit eignet es sich besonders für den Einsatz in der industriellen Praxis und gibt dem Entwicklungs-Ingenieur ein zusätzliches Werkzeug an die Hand, das ihm die Analyse und Synthese elektrohydraulischer Regelungssysteme erleichtert.