

Proportionalstromregelventile finden vielfach in Maschinensteuerungen Einsatz, bei denen eine lastunabhängige, feinfühligere Geschwindigkeitssteuerung des Verbrauchers sowie eine zeitlich schnell ansprechende Umschaltung von Eil- auf Schleichgeschwindigkeiten gefordert werden. Neben dem guten Zeit-

verhalten wird besonders auf die Reproduzierbarkeit des Betriebsverhaltens Wert gelegt. Die Vorteile dieser Ventile gegenüber Eilgang- und Schleichgangschaltungen mit diskreten Bauelementen bestehen insbesondere in der Verminderung der notwendigen Bauelemente und in dem flexiblen, elektrischen Ein-

gangssignal zur Vorgabe des Volumenstromsollwerts.

Die im Aufsatz vorgestellten Kriterien zur Beurteilung des statischen und dynamischen Verhaltens können zugleich bei mechanisch-hydraulischen wie elektro-hydraulischen Stromregelventilen verwendet werden.

Kennwerte für die Beurteilung des statischen und dynamischen Verhaltens von 2-Wege-Stromregelventilen

R. M. Trudzinski

1. Einleitung

Stromregelventile haben sich seit Jahren zur stufenlosen, lastkompensierten Einstellung von Geschwindigkeiten und Drehzahlen hydraulischer Antriebe bewährt. Der Vorteil dieses Bauelementes gegenüber anderen Möglichkeiten der Volumenstromsteuerung (z. B. druckgeregelter Pumpe mit integrierter Volumenstromsteuerung oder Servoventil) liegt in dem geringen Anschaffungspreis, der hohen Zuverlässigkeit und der Robustheit. Den prinzipiellen Aufbau eines 2-Wege-Stromregelventils, dessen Meßblende im Verbraucheranschluß angeordnet ist, zeigt Bild 1. Das Ventil besteht aus den Elementen „Fühler“, „Meßglied“ und „Stellglied“, deren Funktionen im folgenden kurz erläutert werden.

Der **Fühler** (die Meßblende) wandelt die Ausgangsgröße des Stromregelventils, den Volumenstrom Q , in die Regelgröße des Druckregelkreises, die Druckdifferenz $p_1 - p_2$. Eingangsgröße des Umformers ist der Volumenstrom Q , Ausgangsgröße ist die Druckdifferenz $p_1 - p_2$. Das an der Meßblende erzeugte Signal „Druckdifferenz $p_1 - p_2$ “ wird einem Druckregelkreis zugeführt, dessen Aufgabe darin besteht, diese an der Meßblende konstant zu halten. Der **Vergleich** zwischen Soll- und Istwert der Regelgröße „Druckdifferenz $p_1 - p_2$ “ wird mit einem federbelasteten Kolben durchgeführt. Eingangsgrößen des Meßgliedes sind die zu vergleichenden Kräfte „Druckkraft $F_D = A(p_1 - p_2)$ “ und „Federkraft $F_F = c \cdot x_v$ “. Die Ausgangsgröße des Meßgliedes ist der Hub x des Kolbens. Zum Ausregeln des Fehlersignals $p_{Soll} - p_{Ist}$ dient das **Stellglied**, das durch einen hydraulischen Widerstand gebildet wird. Gerätetechnisch sind bei direkt wirkenden Stromregelventilen Meß- und Stellglied in der Druckwaage zusammen-

gefaßt. Das vereinfachte, linearisierte Blockschaltbild des Differenzdruckregelkreises (Bild 2) veranschaulicht die hier beschriebenen Zusammenhänge.

Eine Möglichkeit der konstruktiven Gestaltung eines 2-Wege-Stromregelventils zeigt Bild 3. Als Stell- und Meßglied des Druckregelkreises ist ein 2-Wege-Einbauventil in Kolbenausführung eingesetzt; als Fühler dient ein lageregeltes Proportionalwegeventil NG 10. Anhand des gemessenen statischen und dynamischen Verhaltens dieses Ventils werden im folgenden die Anforderungen an 2-Wege-Stromregelventile erläutert.

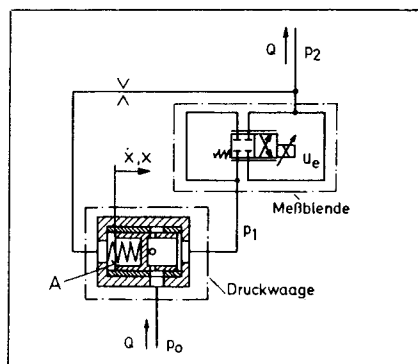
2. Untersuchung des statischen Verhaltens

2.1. Kennwerte für die Beurteilung des statischen Verhaltens

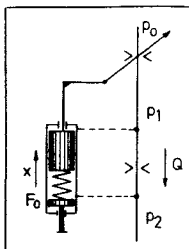
Über das statische Verhalten von Stromregelventilen gibt das Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, E)$ bzw. $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$ Auskunft. Hierbei bedeutet Q der Volumenstrom, der das Ventil durchströmt, und $\Delta p_{02} = p_0 - p_2$ die Druckdifferenz zwischen Ventilein- und -ausgang. Die Variable „ E “ bezeichnet den Einstellwert der Meßblende bei Handverstellung, U_e die Eingangsspannung bei elektrischer Ansteuerung der Meßblende. Für die Messung des Kennfeldes ist die Öltemperatur θ konstant zu halten.

Bild 4 zeigt das gemessene Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$. Die Öltemperatur beträgt etwa 50°C . Das Kennfeld kann in zwei Bereiche aufgeteilt werden. Bereich I umfaßt alle Arbeitspunkte $Q = f(\Delta p_{02}, U_e)$, die aufgrund der zu geringen Druckdifferenz $p_0 - p_2$ nicht zum Ansprechen des Ventils führen. Der Bereich II umfaßt alle geregelten Arbeitspunkte $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$. Die Güte der Volumenstromsteuerung kann mit Hilfe einiger Kriterien, die im folgenden erläutert werden, beurteilt werden.

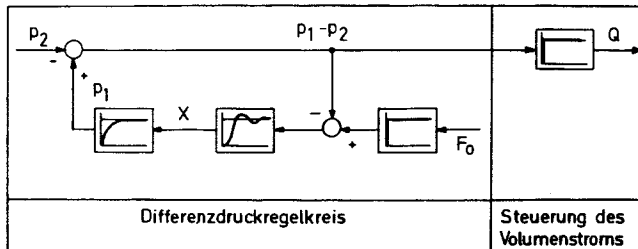
3: Konstruktive Gestaltung eines 2-Wege-Stromregelventils mit 2-Wege-Einbauventil als Druckwaage (Bosch)



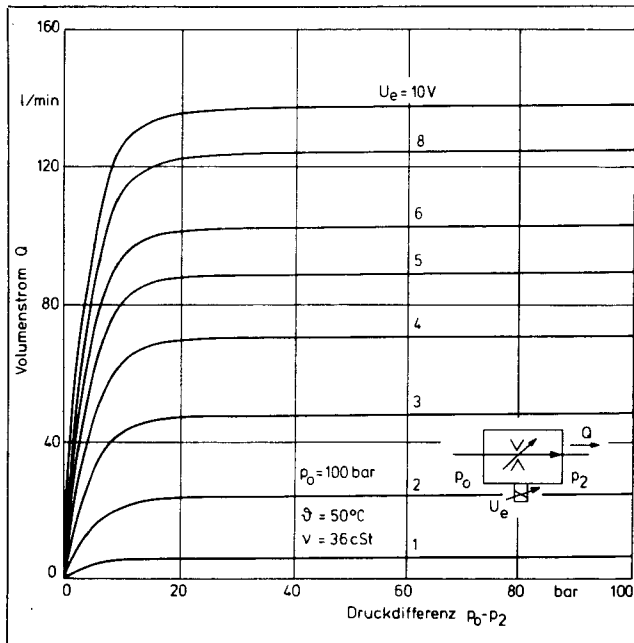
1: Prinzipieller Aufbau eines 2-Wege-Stromregelventils



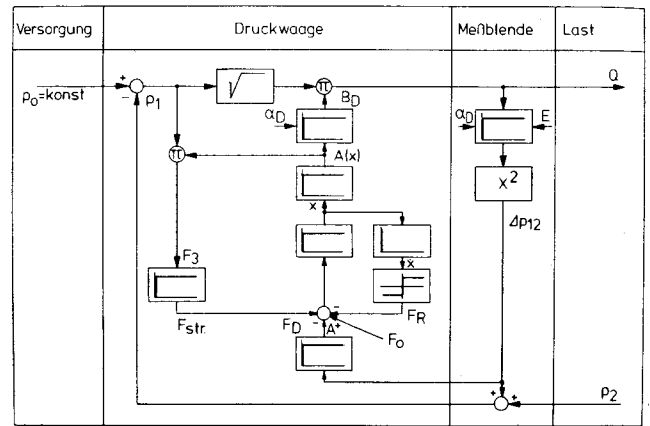
2: Vereinfachtes, linearisiertes Blockschaltbild eines 2-Wege-Stromregelventils



Dipl.-Ing. R. M. Trudzinski ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für hydraulische und pneumatische Antriebe und Steuerungen der RWTH Aachen. Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Backé



4



6

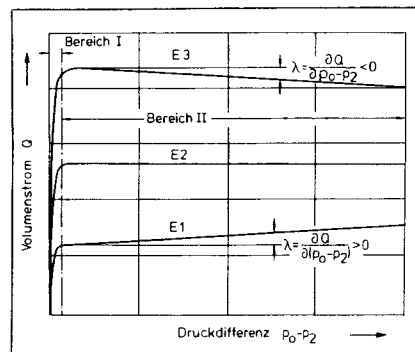
- 4: Statisches Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$
- 5: Abhängigkeit des Volumenstroms von der Druckdifferenz $p_0 - p_2$ und dem Einstellwert E
- 6: Blockschaltbild des statischen Verhaltens

2.1.1. Gleichstromverhalten

Als Gleichstromverhalten bezeichnet man die Eigenschaft, den Volumenstrom Q durch das Ventil möglichst unabhängig von den Störgrößen konstant zu halten. Hauptstörgrößen sind die Druckdifferenz $p_0 - p_2$, die am Ventil anliegt, und die Temperaturänderung $\Delta\theta$ des Hydrauliköls. Generell gilt für die Temperaturabhängigkeit des Volumenstroms, daß sich mit steigender Temperatur θ des Hydrauliköls und der damit sinkenden Viskosität ν eine Zunahme des Volumenstroms gegenüber dem Sollwert ergibt. Für kleine Werte des Volumenstroms stellt sich außerdem – bezogen auf den Sollwert – mit zunehmender Temperatur θ ein Ansteigen des relativen Fehlers ein. Als Ursache dieses Verhaltens ist der bei kleinen Sollwerten des Volumenstroms zunehmende laminare Anteil der Strömung in den Widerständen der Druckwaage und der Meßblende anzuführen.

Im Hinblick auf die Abhängigkeit des Volumenstromes von der Druckdifferenz $p_0 - p_2$ und dem Einstellwert E bzw. der Eingangsspannung U_e ergeben sich die in Bild 5 skizzierten Tendenzen.

Für kleine Einstellwerte des Volumenstroms steigt der Istwert mit zunehmender Druckdifferenz $p_0 - p_2$, da zum Verschieben des Druckwaagekolbens gegen die Feder eine Zunahme des Volumenstromsignals erforderlich ist. Der Einfluß von Strömungskräften auf den Schieber ist hier gering. Im mittleren Bereich der VolumenstromEinstellung ergibt sich meist ein gutes Gleichstromverhalten bezüglich der Störgröße „Druckdifferenz $p_0 - p_2$ “. Hier heben sich die Änderung der Federkraft $c \cdot \Delta x$, die zu einem Ansteigen, und die Änderung der Strömungskraft $\Delta F_{str} = f(\Delta x, \Delta(p_0 - p_1), \Delta \cos \epsilon)$, die zu einem Absinken des Volumenstroms gegenüber dem Sollwert führt, weitgehend auf. Für sehr große Volumenströme überwiegt in der Kräftebilanz des Druckwaagekolbens die Änderung der Strömungskraft die Änderung der Druckkraft. Dies begründet das leicht



5

te Abfallen der Kennlinie $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$ gegenüber dem Sollwert bei großen Volumenströmen. Das Blockschaltbild des Stromregelventils, das diese Zusammenhänge veranschaulicht, ist in Bild 6 gezeigt. Als Möglichkeit, das Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$ konstruktiv zu beeinflussen, sind besonders die Öffnungsempfindlichkeit A/c der Druckwaage und die Durchflußverengung dQ/dx der Druckwaage zu nennen. Ein Maß für das Gleichstromverhalten bezüglich der Störgröße „Druckdifferenz $p_0 - p_2$ “ ist das partielle Differential

$$\lambda = \frac{\partial Q}{\partial (p_0 - p_2)}$$

$\theta = \text{const.}$

Bezüglich der Störgröße „Temperaturänderung $\Delta\theta$ “ des Hydrauliköls läßt sich das Gleichstromverhalten durch das partielle Differential

$$\mu = \frac{\partial Q}{\partial \theta}$$

$p_0 - p_2 = \text{const.}$

beschreiben. Die Kennwerte λ und μ sind von den Konstruktionsdaten des Stromregelventils,

der Druckdifferenz $p_0 - p_2$, der Temperatur θ und dem Einstellwert der Meßblende bzw. der Eingangsspannung U_e abhängig. Für den Gradienten μ gilt allgemein, daß durch eine blendenförmige Konstruktion der Meßblende die Änderung des Volumenstromes Q in Abhängigkeit von der Temperatur θ des Hydrauliköls gering gehalten werden kann. Für das untersuchte Ventil ergaben sich für die druckabhängigen Volumenstromänderungen Werte von z. B.

$$0 \leq \lambda = 0,016 \frac{l}{\text{min bar}}$$

(bei $U_e = 3V, p_0 - p_2 = 80 \text{ bar}$)

für die temperaturabhängigen Volumenstromänderungen die Werte

$$0 \leq \mu \leq 0,048 \frac{l}{\text{min } ^\circ\text{C}}$$

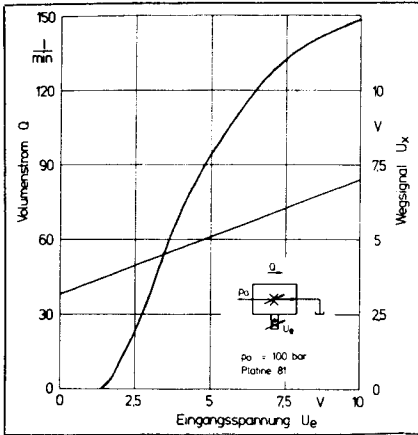
(bei $U_e = 3V, \Delta\theta = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$)

2.1.2. Hysterese-Verhalten

Die Hysterese im statischen Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$ gibt an, welche Volumenstromänderungen bei einer positiven oder negativen Änderung des Lastdruckes p_2 bei konstantem Eingangssignal U_e zu erwarten sind. Durch entsprechende konstruktive Gestaltung und präzise Fertigung ist das Hystereseverhalten, dessen Ursache Reibkräfte und Klemmkräfte sind, vernachlässigbar gering.

2.1.3. Mindestdruckdifferenz

Die Mindestdruckdifferenz, vielfach auch als Ansprechschwelle des Stromregelventils bezeichnet, ist ein Maß für die Druckverluste, die zur Volumenstromsteuerung erforderlich sind. Die Mindestdruckdifferenz umfaßt im statischen Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$ alle Arbeitspunkte, die aufgrund der zu geringen Druckdifferenz $p_0 - p_2$ nicht zu einem Ansprechen des Ventils führen. Bei Stromregelventilen



7: Volumenstromsignalfunktion $Q = f(U_e)$

len mit Handverstellung beträgt die Mindest-druckdifferenz etwa 3–10 bar, bei elektrisch angesteuerten Stromregelventilen 5–15 bar.

2.1.4. Volumenstromsignalfunktion

Als weiteres Kriterium zur Gütebeurteilung eines Stromregelventils ist die Volumenstromsignalfunktion zu nennen. Für Stromregelventile mit Handverstellung wird hierbei die Abhängigkeit des Volumenstroms Q vom Einstellwert E , für elektrisch angesteuerte Ventile der Volumenstrom Q als Funktion der Eingangsspannung U_e aufgetragen. Den Anforderungen der Praxis entsprechend kann häufig zwischen einer linearen oder einer progressiven Kennlinie $Q = f(E)$ bzw. $Q = f(U_e)$ gewählt werden. Außerdem gibt die Volumenstromsignalfunktion Auskunft über den kleinsten und den größten einzustellenden Volumenstrom. Der übliche Wert für das Verhältnis des Regelbereiches Q_{max}/Q_{min} beträgt etwa 200 : 1. Bild 7 zeigt für das untersuchte Ventil die Kennlinie $Q = f(U_e)$. Besondere Beachtung verdient die geringe Hysterese der Volumenstromsignalfunktion, die hier innerhalb der Strichbreite liegt. Im Gegensatz zur Hysterese im statischen Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2, U_e)$, die das Verhalten des Ventils bezüglich der Störgröße „Druckdifferenz $p_0 - p_2$ “ beschreibt, wird in der Volumenstromsignalfunktion $Q = f(U_e)$ die Hysterese des Ventils bezüglich einer Sollwertänderung der Eingangsspannung U_e dargestellt.

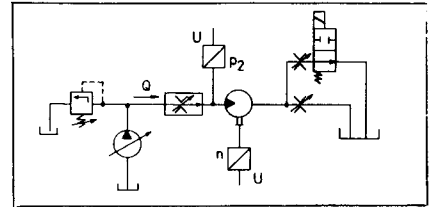
2.1.5. Langzeitstabilität

Neben den statischen und dynamischen Eigenschaften interessiert das Verhalten des Stromregelventils bei Langzeiteinsatz. Die Forderung nach Langzeitstabilität wird besonders bei Anlagen der Werkzeugmaschinenhydraulik gestellt, da hier unabhängig von Ort und Zeit reproduzierbare Abläufe der Fertigungssteuerungen erwartet werden. Für das untersuchte Ventil gibt **Tafel 1** eine Übersicht über die Meßergebnisse einer Langzeituntersuchung. Hierbei wurde der Einfluß der Zeit t auf die Zustandsgrößen Volumenstrom Q und Lastdruck p_2 ermittelt. Während des Versuchs wurde die Temperatur ϑ der Anlage konstant gehalten ($\vartheta = 45^\circ\text{C}$). Eine Abhängigkeit der aufgenommenen Werte von der Zeit t konnte – wie die **Tafel** zeigt – praktisch nicht festgestellt werden.

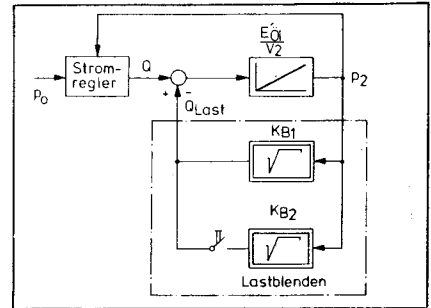
3. Untersuchung des dynamischen Verhaltens

3.1. Versuchsaufbau

Für sehr schnelle Zustandsänderungen müssen zusätzliche Kriterien eingeführt werden, da das Verhalten des Versuchsobjektes „Stromregelventil“ hierbei – neben den Konstruktionsdaten und den Variablen des statischen Kennfeldes $Q = f(p_0 - p_2, E)$ – von der Zeit t und dem angeschlossenen Hydrauliksystem abhängt. Den Versuchsaufbau zur Messung des dynamischen Verhaltens von Stromregelventilen zeigt **Bild 8**. An das Konstantdrucksystem mit Pumpe und Druckbegrenzungsventil ist das Versuchsobjekt angeschlossen. Der Volumenstrom Q , der das Ventil durchfließt, wird über einen reibungsarmen, unbelasteten Rollflügelmotor geleitet. Die Drehzahl dieses Meßmotors wird mit einem Tachogenerator erfaßt und als Maß für den Volumenstrom Q aufgenommen. An den Meßmotor schließt sich die Belastungseinheit an, die aus zwei parallel geschalteten Widerständen und einem schnellschaltenden Wegeventil (Schaltzeit etwa 2 ms) besteht. Das vereinfachte Blockschaltbild des Systems Stromregelventil – Belastungseinheit (**Bild 9**) zeigt die Abhängigkeit des Lastdruckes p_2 von dem aus dem Stromregelventil fließenden und dem über die Belastungsblenden abfließenden Volumenstrom Q bzw. Q_{Last} . Es zeigt, daß die



8: Versuchsaufbau zur Untersuchung des dynamischen Verhaltens



9: Blockschaltbild des Systems Stromregler – Belastungseinheit

Störgröße „Lastdruck p_2 “ keine vom Volumenstrom Q des Stromregelventils unabhängige Größe ist. Außerdem ist ersichtlich, daß sich keine exakt sprunghafte Änderung des Lastdruckes p_2 realisieren läßt. Vielmehr ergibt sich bei sprunghafter Änderung des Öffnungsquerschnitts der Lastblende KB_2 eine verzögerte Zustandsänderung des Lastdruckes p_2 , die aber bei sehr kleinen Werten des Ölvolumens V_2 zwischen Stromregelventil und Belastungseinheit der sprunghaften Änderung recht nahe kommen kann. Als Einflußgrößen, die neben dem eigentlichen Stromregelventil das Meßergebnis der dynamischen Untersuchung wesentlich beeinflussen, sind somit das angeschlossene Volumen V_2 , der Einstellwert des Volumenstromes Q und die gewählten Blendenquerschnitte zu nennen.

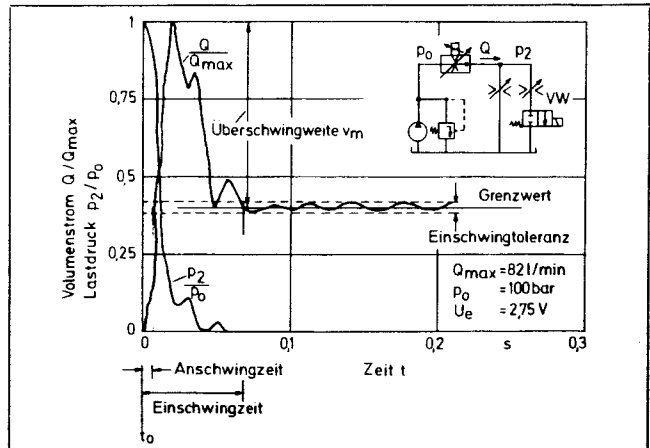
3.2. Kennwerte zur Gütebeurteilung des dynamischen Verhaltens

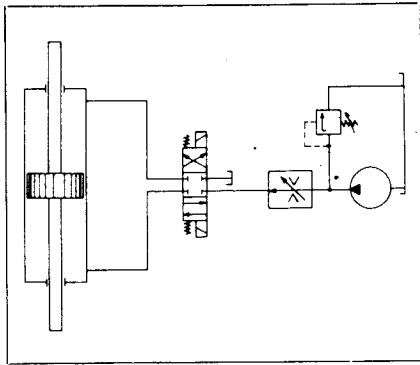
Bei der Untersuchung des dynamischen Verhaltens werden Sollwertänderungen und Störgrößenänderungen unterschieden. Bei den

10: Antwortfunktion des 2-Wege-Stromregelventils auf einen Lastsprung

Tafel 1: Langzeitversuch bei konstanter Ötemperatur ϑ

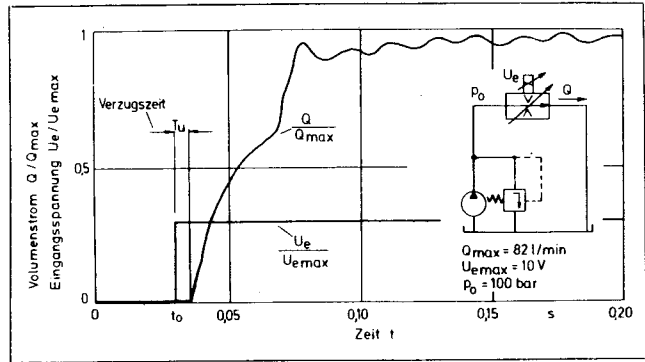
Zeit (min)	Volumenstrom (l/min)	Versorgungsdruck (bar)	Lastdruck (bar)	Eingangsspannung (V)
0	14,6	100	50	1,5
15	14,6	100	50	1,5
30	14,6	100	50	1,5
45	14,7	100	51	1,5
60	14,7	100	51	1,5
75	14,7	100	51	1,5
90	14,7	100	51	1,5
105	14,7	100	51	1,5
120	14,7	100	51	1,5





11: Zylinderantrieb mit Stromregelventil im Zulauf

12: Antwortfunktion des 2-Wege-Stromregelventils auf einen Sollwert-Sprung



Sollwertänderungen wird die Antwortfunktion des Stromregelventils auf eine Änderung der Eingangsspannung U_e des Proportionalventils, das die Meßblende bildet, gemessen. Bei Störgrößenänderungen wird die Antwortfunktion des Ventils auf eine Änderung der Störgröße, hier des Lastdrucks p_2 , ermittelt. Bewährte Untersuchungsmethoden in der Hydraulik sind die Sprungfunktion und das Frequenzgangverfahren. Wegen der größeren Anschaulichkeit und der besseren Praxisnähe wird bei Stromregelventilen meist die Sprungfunktion dem Frequenzgangverfahren vorgezogen.

Anhand von Sollwert- und Störgrößenprüfungen des in Bild 3 skizzierten 2-Wege-Stromregelventils werden die Kennwerte, die in DIN 19 229 zur Charakterisierung des dynamischen Verhaltens definiert sind, vorgestellt. Bild 10 zeigt die Antwortfunktion des Stromregelventils auf eine sprungförmige Änderung des Lastdrucks von $p_2 = 100$ bar auf $p_2 \approx 0$ bar. Diese Zustandsänderung stellt sich z. B. bei dem Zuschalten eines unbelasteten, dem Stromregelventil nachgeschalteten Verbrauchers ein (Bild 11). Solange das Wegeventil die Sperrstellung einnimmt, beträgt die Druckdifferenz zwischen dem Eingang und dem Ausgang des Stromregelventils $p_0 - p_2 = 0$ bar, der Volumenstrom Q ist entsprechend $Q = 0$ l/min. Die Federkraft bewirkt hierbei, da die Druckkräfte auf die Druckwaage sich aufheben, ein Öffnen des Drosselquerschnitts. Wird der unbelastete Verbraucher zum Zeitpunkt $t = 0$ zugeschaltet, fällt der Druck p_2 , der sich hinter der Meßblende des Stromregelventils einstellt, sehr schnell ab. Gleichzeitig stellt sich, durch den zu großen Drosselquerschnitt an der Druckwaage begründet, bis zum Erreichen der Regelposition ein gegenüber dem Sollwert erhöhter Volumenstrom ein. Die hier beschriebene Laständerung von $p_0 - p_2 = 0$ bar zu $p_0 - p_2 = 100$ bar entspricht der größtmöglichen Störgrößenänderung. Sie wird wegen der sich kurzfristig einstellenden, zu großen Beschleunigung des Verbrauchers „Anfahrtsprung“ genannt.

In der Sprungantwort in Bild 10 sind die Kennwerte nach DIN 19 229, deren Definition nun folgt, eingetragen:

• Anschlagzeit

Die Anschlagzeit ist die Zeit, die vom Zeitpunkt t_0 vergeht, bis die Sprungantwort erstmalig eine der Grenzen der Einschwingtoleranz erreicht.

• Einschwingzeit

Die Einschwingzeit ist die Zeit, die vom Zeitpunkt t_0 an vergeht, bis letztmalig eine der Grenzen der Einschwingtoleranz erreicht ist und innerhalb der Einschwingtoleranz verbleibt.

• Einschwingtoleranz

Die Einschwingtoleranz ist die Differenz der zu vereinbarenden größten und kleinsten zulässigen Abweichung der Sprungantwort vom Grenzwert.

• Überschwingweite v_m

Die Überschwingweite v_m ist die größte Abweichung der Sprungantwort vom Grenzwert nach dem erstmaligen Überschreiten einer der Grenzen der Einschwingtoleranz. Die genannten Kennwerte beschreiben die Zeitdauer und die Stromüberhöhung einer Sprungantwort. Die Güte eines Stromregelventils steigt mit kleiner werdender Anschlag- und Einschwingzeit. Zu beachten ist hierbei, daß diese beiden Kenngrößen sich konträr verhalten; mit zunehmender Verstärkung des Reglers ergibt sich zwar eine kürzere Anschlagzeit, aber wegen der schlechteren Dämpfung eine größere Einschwingzeit.

Die spezifische Überschwingweite

$$v_{ms} = \frac{Q_{max} - Q(t \rightarrow \infty)}{Q(t \rightarrow \infty)}$$

die hier etwa 1,5 beträgt, entspricht dem für 2-Wege-Stromregelventile üblichen Wert (gleiches $Q(t \rightarrow \infty)$ vorausgesetzt). Ebenso wie für die Einschwing- und Ausschwingzeit gilt für die Überschwingweite, daß die Güte mit kleineren Werten von v_m steigt.

Die bisher vorgestellten Kennwerte Anschlag- und Einschwingzeit geben nur über die Zeitdauer bis zum Erreichen eines definierten Arbeitspunktes Auskunft. Hinweise über den Verlauf der Zustandsänderungen sind damit nur bedingt zu erreichen. Um diesem Mangel abzuhelfen, wurden als weitere Kenngrößen in DIN 19 229 die Verzugszeit T_u und die Ausgleichzeit T_g definiert.

• Verzugszeit T_u

Die Verzugszeit T_u ist die durch den Punkt t_0 und den Schnittpunkt der ersten Wendetangente mit der Abszisse bestimmte Zeit.

• Ausgleichzeit T_g

Die Ausgleichzeit T_g ist die durch die Schnittpunkte der ersten Wendetangente mit der Abszisse und der Abszissenparallelen durch den Grenzwert bestimmte Zeit.

Diese Kennwerte sind in die Antwortfunktion des unbelasteten Stromregelventils auf einen Sollwertsprung eingetragen (Bild 12). Die Eingangsspannung U_e am Verstärker der Proportionalwegeventils wurde hierbei von $U_e = 0$ V auf $U_e = 3$ V geschaltet. Für die Sprungantwort ergibt sich die Verzugszeit zu $T_u = 5$ ms. Die Einschwingzeit beträgt demgegenüber etwa $T = 45$ ms – 65 ms, je nach Einschwingtoleranz. Mit diesen Kenngrößen und der Information, daß bei Sollwertsprüngen kein Überschwingen des Volumensstromsignals auftritt, ist eine einfache Charakterisierung des dynamischen Verhaltens bei Sollwertsprüngen möglich. Für Störgrößenänderungen muß zudem die Anschlagzeit und die Überschwingweite zu den genannten Kennwerten hinzugefügt werden, um eine einfache Beschreibung des dynamischen Verhaltens zu erreichen.

4. Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt am Beispiel eines elektrisch angesteuerten Stromregelventils mit 2-Wege-Einbauventil als Druckwaage eine Übersicht über Kennwerte zur Beurteilung von Stromregelventilen. Das statische Verhalten dieser Ventile läßt sich durch die aus dem Kennfeld $Q = f(p_0 - p_2)$ und der Volumenstromsignalfunktion $Q = f(U_e)$ zu ermittelnden Kennwerte Gleichstromverhalten, Hystereseverhalten, Mindestdruckdifferenz und Regelbereich charakterisieren. Zur Beurteilung des dynamischen Verhaltens von Stromregelventilen werden die Kenngrößen Anschlagzeit, Einschwingzeit und Überschwingweite entsprechend DIN 19 229 vorgestellt. Über den zeitlichen Verlauf der Zustandsänderung geben die Kennwerte Verzugszeit und Ausgleichzeit Auskunft. Die Sprungantworten auf Sollwert- und Störgrößenänderungen veranschaulichen diese Kennwerte. Zu wünschen ist, daß viele Herstellerprospekte die Kennwerte – insbesondere auch die Kennwerte für das dynamische Verhalten – oder gemessene Antwortfunktionen auf Soll- und Störgrößenänderungen in Zukunft enthalten, um dem Anwender einen optimalen Einsatz der Bauelemente zu ermöglichen.

Bildnachweis: Verfasser