

Bestell-Nr.: 094377
Benennung: PROP.-H. LEHRB.
Bezeichnung: D.LB-TP701-D
Stand: 10/2002
Autor: Dieter Scholz
Grafik: Doris Schwarzenberger
Layout: 19.12.2002 Katharina Eisen

© Festo Didactic GmbH & Co. KG, 73770 Denkendorf, 2002

Internet: www.festo.com/didactic

e-mail: did@festo.com

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokuments, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadenersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das Recht, Patent-, Gebrauchsmuster- oder Geschmacksmusteranmeldungen durchzuführen.

Inhalt

1	Einführung in die Proportionalhydraulik	5
1.1	Hydraulischer Vorschubantrieb mit manueller Steuerung	6
1.2	Hydraulischer Vorschubantrieb mit elektrischer Steuerung und Schaltventilen	7
1.3	Hydraulischer Vorschubantrieb mit elektrischer Steuerung und Proportionalventilen	8
1.4	Signalfluss und Komponenten der Proportionalhydraulik	10
1.5	Vorteile der Proportionalhydraulik	12
2	Proportionalventile: Aufbau und Funktionsweise	15
2.1	Aufbau und Funktionsweise eines Proportionalmagneten	15
2.2	Aufbau und Funktionsweise von Proportional-Druckventilen	20
2.3	Aufbau und Funktionsweise von Proportional-Drossel- und Wegeventilen	23
2.4	Aufbau und Funktionsweise von Proportional- Stromregelventilen	26
2.5	Proportionalventil-Bauformen: tabellarische Übersicht	28
3	Proportionalventile: Kennlinien und Kenngrößen	29
3.1	Kennliniendarstellung	29
3.2	Hysterese, Umkehrspanne und Ansprechschwelle	31
3.3	Kennlinien von Druckventilen	33
3.4	Kennlinien von Drossel- und Wegeventilen	33
3.5	Kenngrößen der Ventildynamik	39
3.6	Einsatzgrenzen von Proportionalventilen	43
4	Verstärker und Sollwertvorgabe	45
4.1	Aufbau und Funktionsweise eines Verstärkers	47
4.2	Einstellen eines Verstärkers	52
4.3	Sollwertvorgabe	55
5	Schaltungsbeispiele mit Proportionalventilen	59
5.1	Geschwindigkeitssteuerung	59
5.2	Leckagevermeidung	65
5.3	Positionieren	65
5.4	Maßnahmen zur Energieeinsparung	67

6	Berechnung des Bewegungsvorgangs für einen hydraulischen Zylinderantrieb	73
6.1	Durchflussberechnung bei Proportional-Wegeventilen	77
6.2	Geschwindigkeitsberechnung für einen gleichflächigen von Zylinderantrieb ohne Berücksichtigung Lastkraft und Reibung	79
6.3	Geschwindigkeitsberechnung für einen ungleichflächigen Zylinderantrieb ohne Berücksichtigung von Lastkraft und Reibung	83
6.4	Geschwindigkeitsberechnung für einen gleichflächigen Zylinderantrieb unter Berücksichtigung von Lastkraft und Reibung	90
6.5	Geschwindigkeitsberechnung für einen ungleichflächigen Zylinderantrieb unter Berücksichtigung von Lastkraft und Reibung	96
6.6	Einfluss der maximalen Kolbenkraft auf den Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgang	103
6.7	Einfluss der Eigenfrequenz auf den Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgang	107
6.8	Berechnung der Bewegungsdauer	111

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

Hydraulische Antriebe weisen durch die hohe Leistungsdichte einen geringen Einbauraum und ein geringes Gewicht auf. Sie ermöglichen es, sehr große Leistungen und Kräfte schnell und genau zu steuern. Mit dem Hydraulikzylinder steht ein kostengünstiger und einfach aufgebauter Linearantrieb zur Verfügung. Die Kombination dieser Vorteile erschließt der Hydraulik vielfältige Anwendungen im Maschinenbau, im Fahrzeugbau und in der Luftfahrt.

Die zunehmende Automatisierung macht es bei immer mehr hydraulischen Anlagen erforderlich, Druck, Durchfluss und Durchflussrichtung mit einer elektrischen Steuerung zu verstellen. Hier bieten sich hydraulische Proportionalventile als Schnittstelle zwischen Steuerung und Hydraulikanlage an. Um die Vorteile der Proportionalhydraulik zu verdeutlichen, werden am Beispiel eines Vorschubantriebs für eine Drehmaschine (Bild 1.1) drei hydraulische Schaltungen einander gegenübergestellt:

- eine Schaltung mit manuell betätigten Ventilen (Bild 1.2),
- eine Schaltung mit elektrisch betätigten Ventilen (Bild 1.3),
- eine Schaltung mit Proportionalventilen (Bild 1.4).

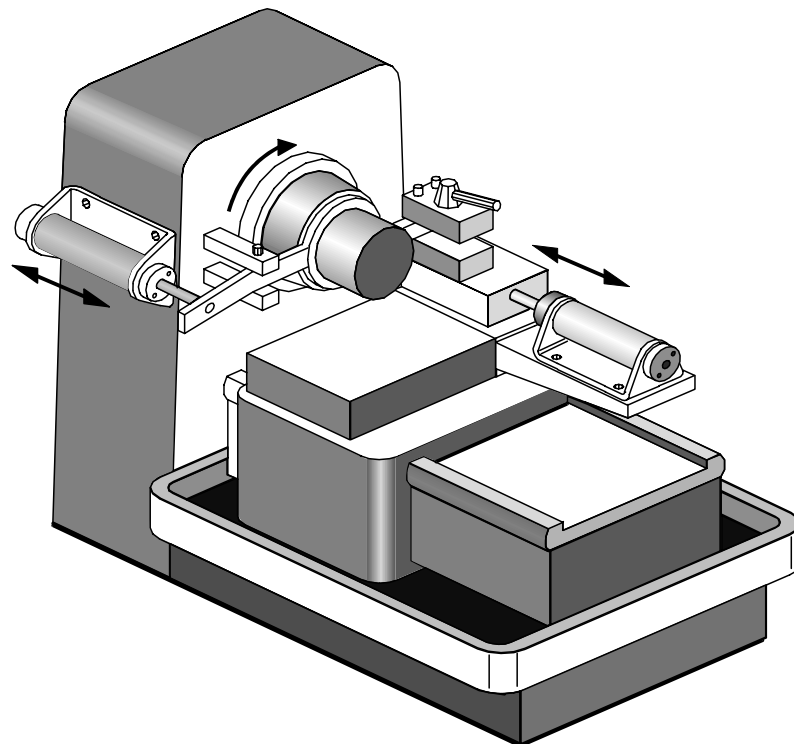


Bild 1.1: Hydraulischer Vorschubantrieb einer Drehmaschine

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

1.1 Hydraulischer Vorschubantrieb mit manueller Steuerung

Bild 1.2 zeigt die Schaltung eines hydraulischen Vorschubantriebs mit handbetätigten Ventilen.

- Druck und Durchfluss werden bei der Inbetriebnahme eingestellt. Zu diesem Zweck weisen Druckbegrenzungsventil und Drossel Einstellschrauben auf.
- Durchflussweg und die Durchflussrichtung können während des Betriebs verändert werden, indem das Wegeventil von Hand betätigt wird.

Kein Ventil in dieser Anlage kann elektrisch verstellt werden. Eine Automatisierung des Vorschubantriebs ist nicht möglich.

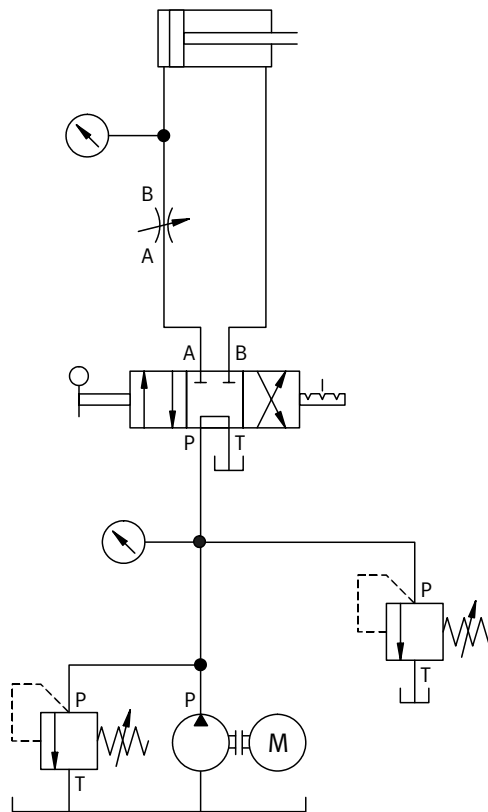


Bild 1.2: Hydraulischer Schaltplan eines manuell gesteuerten Vorschubantriebs

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

1.2 Hydraulischer Vorschubantrieb mit elektrischer Steuerung und Schaltventilen

Bei elektrohydraulischen Anlagen werden die Wegeventile elektrisch verstellt. Bild 1.3 zeigt den Schaltplan eines Vorschubantriebs mit einem elektrisch betätigten Wegeventil. Durch Betätigung des Wegeventils mit einer elektrischen Steuerung lässt sich die Bedienung der Drehmaschine automatisieren. Druck und Durchfluss können während des Betriebes nicht von der elektrischen Steuerung beeinflusst werden. Ist eine Änderung erforderlich, so muss die Produktion auf der Drehmaschine gestoppt werden. Erst dann können Drossel und Druckbegrenzungsventil von Hand neu eingestellt werden.

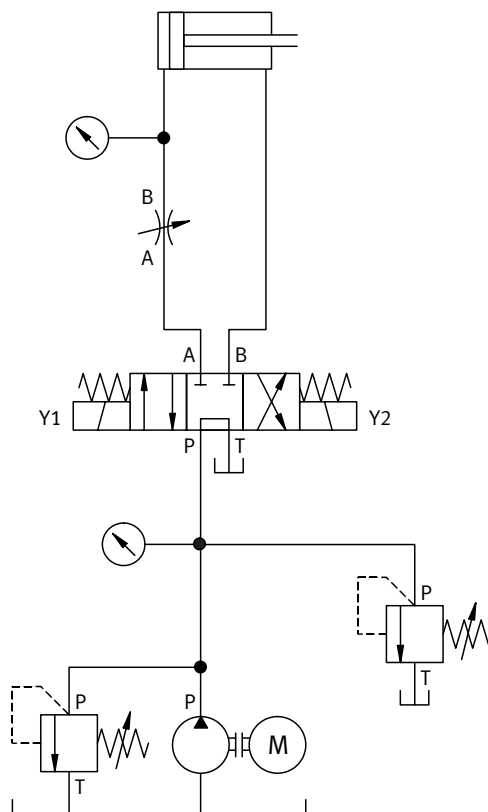


Bild 1.3: Hydraulischer Schaltplan eines elektrisch gesteuerten Vorschubantriebs

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

Die Automatisierung der Druck- und Durchflussverstellung ist bei elektrohydraulischen Steuerungen mit Schaltventilen nur im begrenzten Umfang möglich. Beispiele sind

- das Zuschalten einer zusätzlichen Drossel durch Betätigen eines Wegeventils,
- das Steuern von Drossel- und Druckventilen mit Nocken.

1.3 Hydraulischer Vorschubantrieb mit elektrischer Steuerung und Proportionalventilen

In Bild 1.4 ist der Hydraulikschaltplan eines Vorschubantriebs unter Verwendung von Proportionalventilen dargestellt.

- Das Proportional-Wegeventil wird durch ein elektrisches Stellsignal angesteuert. Mit dem Stellsignal werden der Durchfluss und die Durchflussrichtung beeinflusst. Durch Verändern des Durchflusses lässt sich die Bewegungsgeschwindigkeit des Antriebs stufenlos verstellen.
- Ein zweites Stellsignal wirkt auf das Proportional-Druckbegrenzungsventil. Mit diesem Stellsignal lässt sich der Druck kontinuierlich verstellen.

Das Proportional-Wegeventil in Bild 1.4 übernimmt die Aufgaben des Drossel- und des Wegeventils in Bild 1.3. Durch den Einsatz der Proportionaltechnik wird ein Ventil eingespart.

Die Proportionalventile werden von einer elektrischen Steuerung durch ein elektrisches Signal verstellt. Dadurch ist es während des Betriebs möglich

- mit dem Proportional-Druckbegrenzungsventil den Druck in Phasen geringer Belastung (z.B. Stillstand des Schlittens) abzusenken und Energie einzusparen,
- mit dem Proportional-Wegeventil den Schlitten sanft anzufahren und abzubremesen.

Sämtliche Ventilverstellungen erfolgen automatisch, d.h. ohne menschlichen Eingriff.

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

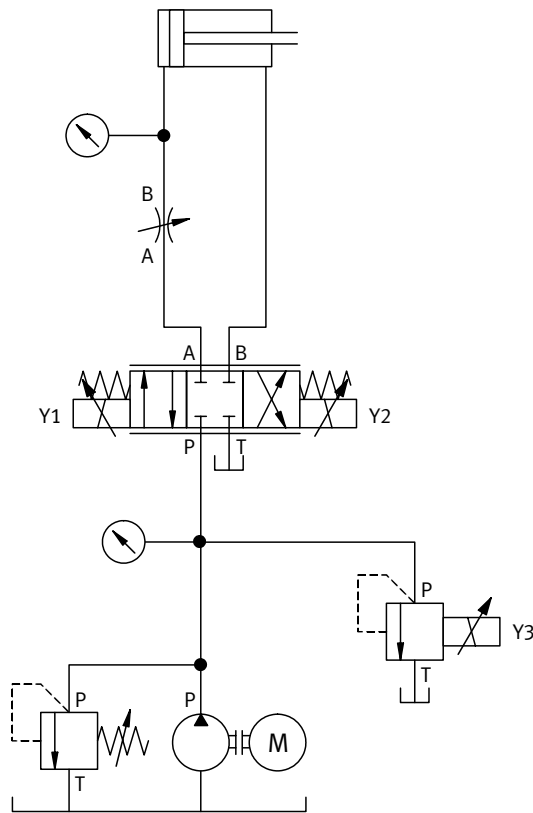


Bild 1.4: Hydraulischer Schaltplan eines Vorschubantriebs unter Verwendung von Proportionalventilen

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

1.4 Signalfluss und Komponenten der Proportionalhydraulik

Bild 1.5 verdeutlicht den Signalfluss in der Proportionalhydraulik.

- Eine elektrische Spannung (typisch zwischen -10 V und +10 V) wirkt auf einen elektrischen Verstärker.
- Der Verstärker wandelt die Spannung (Eingangssignal) in einen Strom (Ausgangssignal) um.
- Der Strom wirkt auf den Proportionalmagneten.
- Der Proportionalmagnet betätigt das Ventil.
- Das Ventil steuert den Energiefluss zum hydraulischen Antrieb.
- Der Antrieb wandelt die Energie in Bewegungsenergie um.

Die elektrische Spannung kann stufenlos eingestellt werden. Dementsprechend sind am Antrieb Geschwindigkeit und Kraft (bzw. Drehzahl und Drehmoment) stufenlos verstellbar.

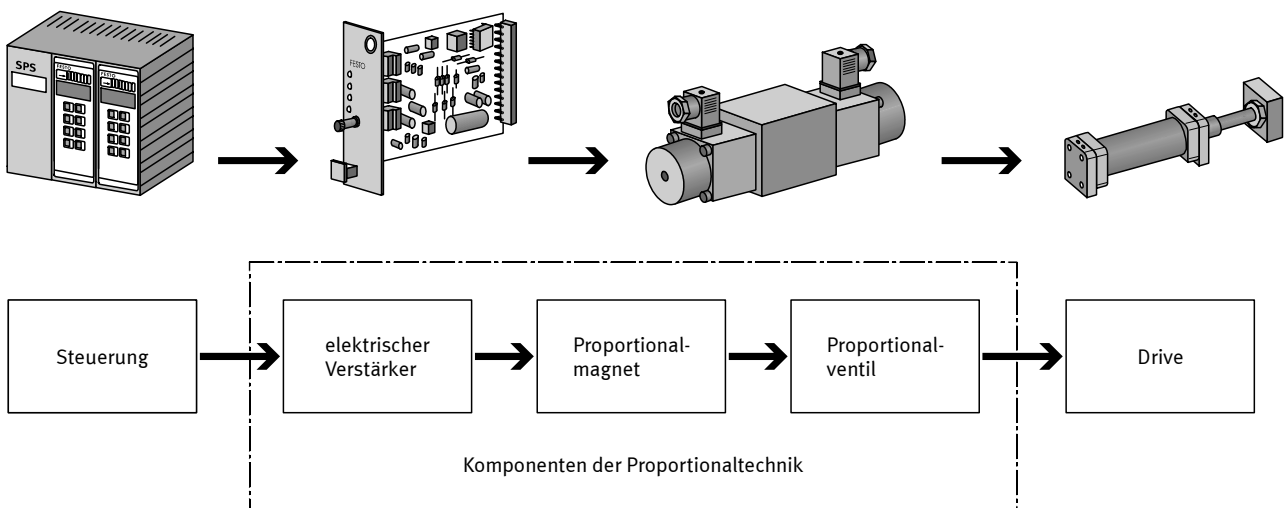


Bild 1.5: Signalfluss in der Proportionalhydraulik

1. Einführung in die Proportionalhydraulik

Bild 1.6 zeigt ein 4/3-Wege-Proportionalventil mit dem zugehörigen elektrischen Verstärker.

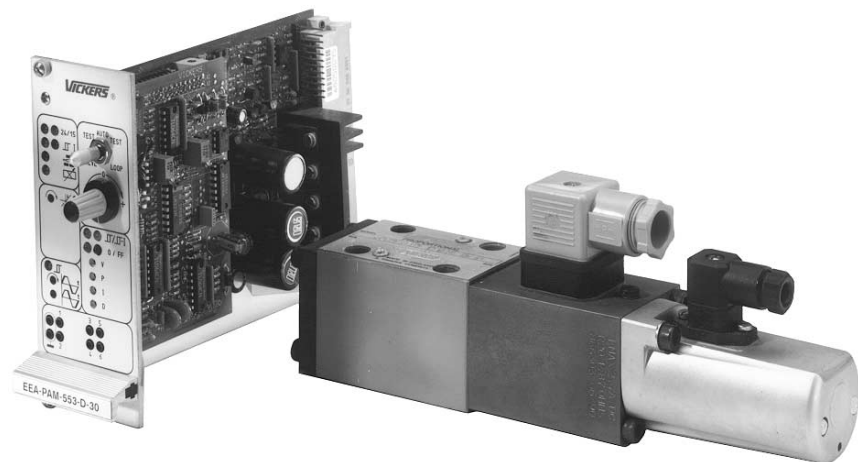


Bild 1.6: 4/3-Wege-Proportionalventil mit elektrischem Verstärker (Vickers)

**1.5
Vorteile der
Proportionalhydraulik**

Vergleich von Schaltventilen und Proportionalventilen

Die Vorteile von Proportionalventilen im Vergleich zu Schaltventilen wurden bereits in den Abschnitten 1.2 bis 1.4 erläutert. Sie sind in der Tabelle 1.1 zusammengefasst.

Vorteile von elektrisch betätigten Proportionalventilen im Vergleich zu Schaltventilen	
Verstellbarkeit der Ventile	<ul style="list-style-type: none"> – stufenlose Verstellung von Durchfluss und Druck durch elektrisches Eingangssignal – automatische Verstellung von Durchfluss und Druck während des Betriebs der Anlage
Auswirkung auf die Antriebe	automatisierbare, stufenlose und genaue Verstellung von <ul style="list-style-type: none"> – Kraft bzw. Drehmoment – Beschleunigung – Geschwindigkeit bzw. Drehzahl – Lage bzw. Drehwinkel
Auswirkung auf den Energieverbrauch	– Energieverbrauch kann gesenkt werden durch bedarfsorientierte Steuerung von Druck und Durchfluss.
Schaltungsvereinfachung	– Ein Proportionalventil kann mehrere Ventile ersetzen, z.B. ein Wegeventil und ein Stromventil

Tabelle 1.1: Vorteile von elektrisch betätigten Proportionalventilen im Vergleich zu Schaltventilen

Vergleich von Proportional- und Servohydraulik

Mit Servoventilen lassen sich die gleichen Funktionen wie mit Proportionalventilen erzielen. Durch höhere Genauigkeit und Schnelligkeit ergeben sich sogar Vorteile für die Servotechnik. Dem stehen als Vorteile der Proportionaltechnik der geringere Aufwand und die niedrigeren Kosten für Anlage und Wartung gegenüber:

- Der Ventilaufbau ist einfacher und kostengünstiger.
- Durch positive Überdeckung der Steuerschieber und kräftige Proportionalmagnete zur Ventilbetätigung steigt die Betriebssicherheit. Der Aufwand für die Filterung der Druckflüssigkeit ist geringer, die Wartungsintervalle sind länger.
- Servohydraulische Antriebe arbeiten häufig im Regelkreis. Mit Proportionalventilen ausgerüstete Antriebe werden üblicherweise als Steuerkette betrieben. Dadurch entfallen bei der Proportionalhydraulik Meßsystem und Regler. Der Systemaufbau vereinfacht sich entsprechend.

Die Proportionaltechnik vereinigt die kontinuierliche elektrische Verstellbarkeit und den robusten, kostengünstigen Aufbau der Ventile. Proportionalventile schließen die Lücke zwischen Schaltventilen und Servoventilen.

1. Einführung in die Proportionalhydraulik