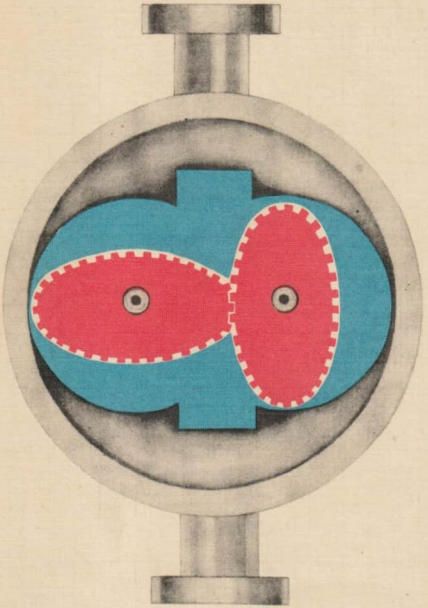
BMSR-Technik

Wilfried Tempel



BMSR-Technik

Wilfried Tempel

Volk und Wissen
Volkseigener Verlag Berlin
1980

Autor:
Dipl.-Ing. Wilfried Tempel

Dieses Buch kann für Arbeitsgemeinschaften der Klassen 9 und 10 verwendet werden.

© Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1980
1. Auflage
Lizenz Nr. 203/100/80 (E 061709-1)
LSV 0681
Redaktion: Dr. Reinhard Behrends
Einband: Hans-Joachim Petzak
Typografische Gestaltung: Atelier vwv
Zeichnungen: Ingrid Schäfer
Printed in the German Democratic Republic
Gesamtherstellung: VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza
Schrift: 9/11 p Gill
Redaktionsschluß: 22. 12. 1978
Bestell-Nr. 707 1690
DDR 2,85 M

Inhalt

Zum Anliegen und zur Benutzung des Buches 5

1. Aufgaben und Bedeutung der BMSR-Technik 6

2. Betriebsmeßtechnik 11

2.1. Grundlagen der Betriebsmeßtechnik 11
2.2. Meßwerterfassung 13
2.2.1. Strom- und Spannungsmessung 14
2.2.2. Leistungsmessung 18
2.2.3. Druckmessung 20
2.2.3.1. Druckmessung mit Manometer 21
2.2.3.2. Messung von Differenzdrücken 24
2.2.4. Temperaturmessung 25
2.2.4.1. Temperaturmessung mit Federthermometer 27
2.2.4.2. Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer 28
2.2.4.3. Temperaturmessung mit Thermoelement 30
2.2.5. Drehzahlmessung 32
2.2.5.1. Drehzahlmessung mit Radialkrafttachometer 33
2.2.5.2. Drehzahlmessung mit Tachogenerator 34
2.2.5.3. Elektronische Drehzahlmessung 35
2.2.6. Durchflußmessung 40
2.2.6.1. Durchflußmessung mit Ovalradzähler 41
2.2.6.2. Durchflußmessung mit Drosselgerät 42
2.2.7. Füllstandsmessung 43
2.2.7.1. Füllstandsmessung mit Schwimmergerät 43
2.2.7.2. Füllstandsmessung durch Druckmessung 45
2.2.7.3. Füllstandsmessung mit elektrischer Meßkette 46
2.2.8. Analysenmessung 48
2.2.8.1. Salzgehaltmessung 49
2.3. Meßwertübertragung 51
2.3.1. Direkte Meßwertübertragung 52

2.3.2. Meßwertübertragung durch „natürliche Signale" 53
2.3.3. Meßwertübertragung durch Einheitssignale 54
2.4. Meßwertverarbeitung 55
2.4.1. Meßwertverarbeitung zur direkten Information 56
2.4.2. Meßwertverarbeitung in Anlagen zur automatischen Steuerung und Regelung 58

3. Steuerungstechnik 59

3.1. Begriffe der Steuerungstechnik 59
3.2. Steuerungsarten 64
3.2.1. Logikschaltungen 65
3.2.2. Steuerungen ohne Hilfsenergie 70
3.2.3. Steuerungen mit Hilfsenergie 72
3.2.4. Führungs- und Programmsteuerung 79

4. Regelungstechnik 86

4.1. Begriffe der Regelungstechnik 87
4.2. Regelkreis — Regelstrecke 90
4.2.1. Verstärker im Regelkreis 93
4.2.2. Stellantriebe 101
4.2.3. Stellglieder 103
4.2.4. Leitgeräte 105

5. Anleitungen zum Bau von Demonstrationsmodellen 106

5.1. Erstwertsignalisierung 106
5.2. Stellantrieb mit Handsteuerung und Stellungsanzeige 109
5.3. Unstetiger Verstärker mit Dreipunktverhalten 113

6. Anhang 117

6.1. Begriffserläuterungen 117
6.2. Lösungen 119
6.3. Literaturverzeichnis 119

Register 120

Zum Anliegen und zur Benutzung des Buches

Mit der weiteren Mechanisierung und Automatisierung der Produktion im Rahmen des Ausbaus der materiell-technischen Basis der Volkswirtschaft der DDR erhält die BMSR-Technik, also die **B**etriebs**m**eß-, **S**teuerungs- und **R**egelungstechnik eine zunehmende Bedeutung. In den unterschiedlichsten Bereichen des gesellschaftlichen Lebens werden verstärkt vielfältige Geräte und komplexe Anlagen der BMSR-Technik eingesetzt, um die Effektivität der Produktion zu erhöhen und um die Arbeits- und Lebensbedingungen der Werktätigen zu verbessern.

Die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in diesen Bereichen erfordert umfangreiche Kenntnisse. Anliegen des Buches ist es, elementare Kenntnisse über Aufbau, Funktion und Anwendung von Geräten und Anlagen der BMSR-Technik zu vermitteln. Besonderer Wert wird auf die mathematischen und naturwissenschaftlichen Grundlagen gelegt. Eine Vielzahl von praktischen Versuchen und Experimenten ist in die Darstellung einbezogen. In einem gesonderten Abschnitt wird eine Anleitung zum Bau von Demonstrationsmodellen für ausgewählte Geräte der BMSR-Technik gegeben.

Um die Benutzung des Buches zu erleichtern, wurden in einem Anhang wesentliche Begriffe der BMSR-Technik erläutert und weiterführende Literatur genannt. Ein Register erleichtert die Arbeit mit dem Buch.

Bei der Darstellung werden folgende Symbole und Kurzzeichen verwendet:

▶	Merkstoff
■	Beispiele
▼	Versuche, Experimente
●	Aufgaben
①	Aufgaben (fortlaufend nummeriert), zu denen im Anhang eine Lösung angegeben ist
↗	siehe
Ch i Üb	Chemie in Übersichten
Ma i Üb	Mathematik in Übersichten
Ph i Üb	Physik in Übersichten
Tech i Üb	Technik und Produktion in Übersichten
[ ]	Verweis auf Literatur im Literaturverzeichnis

1. Aufgaben und Bedeutung der BMSR-Technik

Grundlage für die weitere Erhöhung des materiellen und kulturellen Lebensniveaus des Volkes bilden ein hohes Entwicklungstempo der sozialistischen Produktion. Die Erhöhung der Effektivität der Produktion und die Steigerung der Arbeitsproduktivität sind dabei eng an die Beschleunigung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts gebunden (↗ Hauptaufgabe, Tech i Üb, S. 264). Aus dieser Sicht erhält die **B**etriebs**m**eß-, **S**teuerungs- und **R**egelungstechnik (Abkürzung: BMSR-Technik) als eine wesentliche Voraussetzung für den Übergang von der Mechanisierung zur Automatisierung von Produktionsprozessen eine zunehmende Bedeutung. Die Automatisierung von Produktionsprozessen erfordert dabei neben einem hohen Entwicklungsniveau der BMSR-Technik vor allem

- eine entwickelte Arbeitsteilung;
- einen hohen Grad der Spezialisierung und Konzentration der Produktion;
- weitgehende Normung, Typisierung und Standardisierung (sowohl der Erzeugnisse als auch der Produktionsanlagen selbst).

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren werden die großen ökonomischen Mittel, die zur Automatisierung erforderlich sind, volkswirtschaftlich sinnvoll eingesetzt.

- Worin besteht die Hauptaufgabe bei der weiteren Gestaltung der entwickelten sozialistischen Gesellschaft in der DDR?
- Erklären Sie die Unterschiede zwischen der mechanisierten und der automatisierten Produktion! (↗ Tech i Üb, S. 277ff.)
- Informieren Sie sich in der produktiven Arbeit, welche Stufen der Mechanisierung bzw. Automatisierung in dem entsprechenden Betrieb vorliegen!

Durch Teilautomatisierung, Vollautomatisierung bzw. Komplexautomatisierung wird unter Berücksichtigung ökonomischer Bedingungen der Anteil der manuellen Arbeit schrittweise verringert und der Mensch zunehmend von monotonen geistigen Arbeiten entlastet. Damit steigen aber zugleich die Anforderungen an das Wissen und Können der Werktätigen.

Zur effektiven Führung von Produktionsprozessen, insbesondere bei automatisierter Produktion, sind ständig vielfältige Informationen zu erfassen, zu übertragen und schnell zu verarbeiten, um bestmögliche (optimale) Bedingungen für die Produktion zu sichern. Hierfür sind komplizierte Einrichtungen der BMSR-Technik erforderlich.

Die Aufgaben der BMSR-Technik liegen in der Bereitstellung und dem Einsatz von Einrichtungen, die zur zuverlässigen meßtechnischen Überwachung, Steuerung und Regelung der verschiedensten Produktionsprozesse erforderlich sind.

Die Realisierung dieser umfassenden Aufgabenstellung erfolgt durch das Zusammenwirken der Teilgebiete Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik (Bild 7/1.).

Bild 7/1: Teilgebiete der BMSR-Technik

In zunehmendem Maße bildet sich ein weiteres Gebiet heraus, das immer mehr integraler Bestandteil der BMSR-Technik wird, die *Prozeßrechentechnik*. Bei Anwendung der Prozeßrechentechnik erfolgt die Überwachung und Führung technologischer Prozesse mit Hilfe elektronischer Prozeßrechner. Diese Prozeßrechner erfassen eine Vielzahl von Informationen über technologische Prozesse, verarbeiten sie nach vorgegebenen Programmen und geben so entsprechende Steuerungsinformationen an die einzelnen Geräte und Einrichtungen der gesamten Produktionsanlage.

Die Versorgung der RGW-Länder mit Erdöl und Erdgas aus den Lagerstätten der UdSSR erfolgt zum überwiegenden Teil über umfangreiche Leitungssysteme. Der Stofftransport in diesen Leitungssystemen wird von zentralen Stellen aus durch Prozeßrechner **gesteuert** und **überwacht**.

Der Prozeßrechner ist mit allen wesentlichen Teilen des Leitungssystems verbunden. Dadurch kann das Bedienungspersonal ständig kontrollieren, welche Stoffe (Qualität, Menge) sich an bestimmten Punkten des Systems (z. B. in den Tanklagern) befinden. Die jeweiligen Transportbedingungen (z. B. Temperatur, Druck, Massenstrom) werden zunehmend mit Hilfe von Bildschirmen gleichzeitig angezeigt, um dem Bedienungspersonal einen schnellen Überblick zu ermöglichen.
Der Prozeßrechner steuert selbsttätig die Pumpstationen sowie die Stellung der Schieber unter Berücksichtigung solcher Bedingungen, wie

- Füllung des Hauptrohres;
- Produktangebot der Tanklager;
- Nachfrage des Abnehmers;
- Förderkapazität des Leitungssystems.

Darüber hinaus führt der Prozeßrechner eine ständige Betriebsüberwachung durch,

um Leckstellen im Leitungssystem festzustellen und zu orten. Die verantwortungsvolle Kontrolltätigkeit des Bedienungspersonals wird dadurch wesentlich erleichtert.

- Informieren Sie sich über die Zusammenarbeit der RGW-Länder bei der Nutzung von Erdöl- und Erdgaslagerstätten der UdSSR!

- Verfolgen Sie an Hand einer Karte den Verlauf der Erdgasleitung „Freundschaft" (Orenburger Magistrale) mit den Bauabschnitten der beteiligten RGW-Länder!

Geräte und Einrichtungen der BMSR-Technik werden zur Lösung unterschiedlichster Aufgabenstellungen der Volkswirtschaft, aber auch anderer Bereiche des gesellschaftlichen Lebens verwendet. Sie dienen u. a. der Weiterentwicklung des Maschinenbaus, dem Ausbau der Energie- und Rohstoffbasis, der Sicherung von Zulieferungen für das Wohnungsbauprogramm sowie der Verbesserung der medizinischen Betreuung der Bevölkerung.

In der DDR wurde nach Abstimmung mit den Staaten im Rat für Gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW) ein spezielles System solcher Geräte und Einrichtungen der BMSR-Technik als einheitliches Baukastensystem entwickelt. Dieses System wird mit der Abkürzung „*ursamat*" bezeichnet, d. h., universelles Regelungs-System der Automatisierungstechnik („*mat*" ist eine spezifische Endsilbe). Das „ursamat-System" basiert auf dem „Universellen internationalen System für die automatische Überwachung, Regelung und Steuerung" (URS).
Dieses einheitliche Baukastensystem ermöglicht eine ökonomische Fertigung, Projektierung und Montage sowie eine effektive Wartung von BMSR-Einrichtungen (↗ [12], S. 66f.).
Zu den Gerätezweigen des Systems „ursamat" gehören z. B.:

- *ursakont* Einrichtungen zum Erfassen von Informationen, z. B. von Meßwerten (↗ 2.2.);
- *ursatron* elektrische Einrichtungen zum Übertragen und zur Verarbeitung von Informationen (↗ 2.3.);
- *ursapneu* pneumatische Einrichtungen zum Übertragen und zur Verarbeitung von Informationen (↗ 2.3.);
- *ursawirk* Stelleinrichtungen, die unter Verwendung elektrischer, pneumatischer und/oder hydraulischer Hilfsenergie sowie deren Kombinationen arbeiten (↗ 4.2.2.; 4.2.3.).

Entsprechend dem jeweiligen Anwendungszweck müssen BMSR-Einrichtungen die folgenden wesentlichen Eigenschaften besitzen:
- möglichst hohe Betriebssicherheit;
- Beständigkeit gegenüber den oftmals rauhen Umgebungsbedingungen des Produktionsprozesses (z. B. Korrosionsbeständigkeit, Temperaturunabhängigkeit);
- wirtschaftliche Lebensdauer bei geringen Anschaffungs- und Unterhaltungskosten;
- leichte Bedienbarkeit bei möglichst geringem Arbeitsaufwand.

▶ Die Bedeutung der BMSR-Technik ergibt sich aus dem unmittelbaren Einfluß auf den Produktionsprozeß und auf die Arbeits- und Lebensbedingungen der Werktätigen.

Die Anwendung der BMSR-Technik ist vor allem unter folgenden Gesichtspunkten zu sehen:

— BMSR-Technik als *Voraussetzung* zur Realisierung von Produktionsprozessen

Es gibt in zunehmendem Maße Produktionsprozesse, die ohne den Einsatz einer ausgeprägten BMSR-Technik nicht durchführbar sind. Einmal kann sich der Mensch aus Gründen des Gesundheits- und Arbeitsschutzes in verschiedenen Produktionsanlagen überhaupt nicht aufhalten. Das ist z.B. der Fall beim Betreiben eines Kernkraftwerkes, wo die Kernstrahlung den Aufenthalt des Menschen in bestimmten Zonen des Kraftwerkes ausschließt. Zum anderen ist beispielsweise der Einsatz automatischer Steuerungen und Regelungen bei solchen Produktionsprozessen unbedingt erforderlich, bei denen die Produktionsabläufe einen so schnellen Eingriff erfordern, wie dieser vom Menschen nicht verwirklicht werden kann.

— BMSR-Technik als Mittel zur *Rationalisierung* und zur *Erhöhung der Effektivität* der Produktion

Der Einsatz der BMSR-Technik trägt dazu bei, Arbeitsplätze einzusparen. Dadurch können Arbeitskräfte für die mehrschichtige Auslastung vorhandener oder neu zu errichtender hochproduktiver Anlagen freigesetzt werden. Dieser Anwendungsaspekt ist von zunehmender Bedeutung.

Zum anderen ermöglicht die Anwendung der BMSR-Technik, die Qualität der Erzeugnisse zu erhöhen bzw. die Produktionsanlagen besser auszunutzen.

Werkzeugmaschinen mit numerischer Steuerung (NC-Steuerung; englisch *numeric control*) sind z.B. hochproduktiv und arbeiten sehr genau. Diese Maschinen erfordern bei ihrem Einsatz geringe Vorbereitungs- und Abschlußzeiten. Dadurch wird für den Arbeiter eine Mehrmaschinenbedienung möglich.

Der Arbeiter gibt das Fertigungsprogramm zahlenmäßig aufbereitet in die Steuerungsanlage ein. Mit Hilfe der NC-Steuerung wird nun das eingegebene Programm durch die Werkzeugmaschine selbsttätig abgearbeitet. Dabei werden Ist- und Sollzustand des zu fertigenden Teils fortlaufend verglichen. Mittels Flüssigkristallanzeigeelementen, wie sie auch in gebräuchlichen Taschenrechnern verwendet werden, wird von der Anlage ebenfalls wieder zahlenmäßig u. a. der jeweils erreichte Bearbeitungszustand angezeigt (Bild 9/1.).

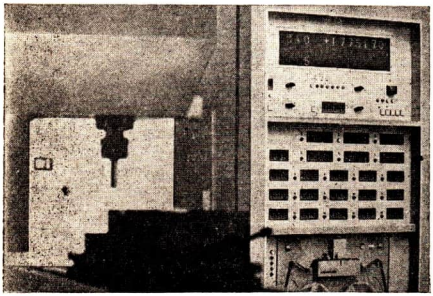


Bild 9/1: Werkzeugmaschine mit numerischer Steuerung NC 470; VEB-Starkstromanlagenbau Karl-Marx-Stadt

— BMSR-Technik als Mittel zur *Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen*
Der Einsatz der BMSR-Technik bietet die Möglichkeit, den Menschen von körperlich schweren, gesundheitsgefährdenden und monotonen Arbeiten zu entlasten. Die Steuerung großer Absperrschieber von zentraler Stelle aus mit Hilfe von Stellantrieben entlastet z.B. von körperlicher Anstrengung und macht zugleich Wege überflüssig, die sonst zur Bedienung dieser Armaturen zurückgelegt werden müßten.
Mit Hilfe von BMSR-Einrichtungen kann der Mensch aber auch von ständiger geistiger Konzentration bei der Überwachung technologischer Abläufe, z.B. durch die Signalisierung erreichter Grenzwerte, entlastet werden.

2. Betriebsmeßtechnik

2.1. Grundlagen der Betriebsmeßtechnik

Der Betriebsmeßtechnik kommt eine zentrale Bedeutung zu. Die meßtechnische Erfassung der verschiedensten physikalischen Größen, wie sie in den unterschiedlichsten Produktionsprozessen auftreten, ist die notwendige Voraussetzung für eine ordnungsgemäße und effektive Fahrweise einer Produktionsanlage (Übersicht 11/1). Die ge-

Physikalische Größe	Formelzeichen	Bezeichnung der Einheit	Kurzzeichen der Einheit
elektrische Spannung	U	Volt	V
elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
elektrische Leistung	P	Watt	W
elektrische Leitfähigkeit	$\varkappa$	Siemens je Zentimeter	$S\ cm^{-1}$
Induktivität	L	Henry	H
Kraft	F	Newton (Kilopond)	N (kp)
Masse	m	Kilogramm	kg
Druck	p	Pascal (Kilopond je Quadratmillimeter)	Pa ($kp\ mm^{-2}$)
Drehzahl	n	Umdrehungen je Minute	min^{-1}
Wärmemenge	W, Q	Joule (Kalorie)	J (cal)
Temperatur	T	Kelvin	K
	ϑ	Grad Celsius	°C
Massenstrom	$\dot{m}$	Kilogramm je Stunde	$kg\ h^{-1}$
Volumenstrom	$\dot{V}$	Kubikmeter je Stunde	$m^3\ h^{-1}$
Länge	l	Meter	m

Übersicht 11/1: Physikalische Größen, Auswahl

wonnenen Meßwerte geben Aufschluß über den Zustand der Anlage und bilden den Ausgangspunkt für erforderliche Eingriffe in den Prozeß (z.B. Ein- und Ausschalten von Aggregaten, Veränderung von Stoffströmen). Solche Meßwerte stellen *Informationen* (neues Wissen über eine Erscheinung, einen Gegenstand, einen Vorgang) dar. Diese Informationen werden mit Hilfe von *Signalen* übertragen. Signale sind somit Träger der Information.

Ein Signal hat folgende Merkmale (↗ [12], S. 52f.):

- es überträgt eine Information über den Werteverlauf einer signalisierten physikalischen Größe (z.B. Temperatur);
- es wird durch eine physikalische Größe, den *Signalträger*, getragen (z.B. durch die elektrische Stromstärke);
- es ist eine Zeitfunktion des Signalträgers (z.B. zeitlicher Verlauf der elektrischen Stromstärke);
- es hat mindestens einen Informationsparameter, der in Abhängigkeit von der signalisierten Größe unterschiedliche Werte annimmt (z. B.Änderung der elektrischen Stromstärke zwischen 0 mA und 5 mA).

▶ Ein Signal ist eine von einer physikalischen Größe getragene Zeitfunktion, wenn diese Zeitfunktion einen Parameter (Informationsparameter) besitzt, der den Werteverlauf einer signalisierten physikalischen Größe abbildet.

● Erläutern Sie den Begriff physikalische Größe! (↗ Ph i Üb, S. 9ff)

● Erklären Sie solche grundlegende Begriffe der Meßtechnik, wie Messen, Meßgröße, Meßwert, Meßgerät und Meßfehler! (↗ Ph i Üb, S. 30ff.; Tech i Üb, S. 95f., 136)

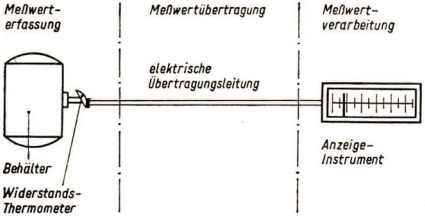


Bild 12/1: Aufgaben der Betriebsmeßtechnik

▶ Die Betriebsmeßtechnik realisiert technisch die Messungen, deren Ergebnisse Ausgangspunkt für das Wirken der Steuerungs- und Regelungstechnik bilden.

Ein wesentliches Merkmal der Betriebsmeßtechnik besteht im Gegensatz zur Labormeßtechnik darin, daß der Meßvorgang selbsttätig abläuft.

■ In der Betriebsmeßtechnik wird die Bestimmung des Salzgehaltes von Wasser durch Messen der elektrischen Leitfähigkeit der Lösung vorgenommen. Gemessen wird dabei direkt an der Anlage (↗ 2.2.8.1.). Der Mensch kann den Wert der Salzkonzentration unmittelbar von der Skale des Anzeigeinstrumentes ablesen. Weitere Handlungen durch ihn sind nicht erforderlich.
Im Gegensatz hierzu würde eine labormäßige Bestimmung des Salzgehaltes stehen. Hierfür müßte eine Wasserprobe aus der Anlage entnommen werden, diese ins Labor gebracht und dort mit labormäßigen Verfahren (z.B. Wägen und Verdampfen) analysiert werden. Der Arbeitsaufwand für den Menschen ist beträchtlich.

Die spezifischen Aufgabengebiete der Betriebsmeßtechnik (Bild 12/1) werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert (↗ 2.2. bis 2.4.).

2.2. Meßwerterfassung

Beim Führen von Produktionsprozessen muß eine Vielzahl physikalischer Größen ständig überwacht und verändert werden.
Ein direktes Erfassen aller dieser Größen ist dem Menschen nicht möglich, da er nur die allerwenigsten mit seinen Sinnen wahrnehmen kann. Aber auch in den Fällen, wo Größen wahrgenommen werden können, ist im allgemeinen eine quantitative Beurteilung mit einer erforderlichen Genauigkeit nicht möglich.

■ Der Mensch kann die Höhe des Wasserstandes in einem offenen Behälter sehen und mit einer gewissen Genauigkeit beurteilen. Die Temperatur eines Stoffes oder Körpers zu beurteilen ist ihm ohne Hilfsmittel, also ohne Meßeinrichtungen, nur möglich, wenn diese Temperatur nicht mehr als etwa ± 10 K von seiner eigenen Körpertemperatur abweicht, und das Meßobjekt von ihm berührt werden kann und darf. Die elektrischen Größen (z.B. Spannung und Stromstärke) können ebenfalls ohne Hilfsmittel nicht erfaßt werden.
Abgesehen hiervon kommt noch hinzu, daß in den Produktionsanlagen die Überwachung der Prozesse von zentralen Stellen aus erfolgt.
Als Schlußfolgerung ergibt sich daraus, daß alle Meßgrößen in solche physikalische Größen umgewandelt werden, deren Beurteilung durch den Menschen exakt erfolgen kann. Die Erfassung der Meßwerte muß außerdem in einer solchen Form vorgenommen werden, daß deren Übertragung an zentrale Stellen und hier die weitere Verarbeitung möglich sind.

Bei der Erfassung von Meßwerten sind zwei grundsätzliche Verfahren zu unterscheiden.

Das direkte Verfahren. Hierbei wird der Meßwert dem Meßobjekt entnommen und über geeignete Geräte direkt angezeigt.

■ Drehzahlmessung mittels eines mechanischen Tachometers, dem die Drehzahl des Meßobjektes über eine biegsame Welle zugeführt und von diesem angezeigt wird.
Das Verfahren hat den Nachteil, daß die für die Übertragung und Anzeige erforderliche Energie vom Meßobjekt aufgebracht werden muß. Dadurch tritt ein Meßfehler auf. Bei leistungsstarken Anlagenteilen ist das meist ohne Bedeutung. Da z.B. die Antriebsleistung von Gebläsen oder Pumpen, die vielfach in der Größenordnung von 100 kW liegt, gegenüber der von der Meßeinrichtung benötigten Leistung von einigen wenigen Watt sehr groß ist, macht sich eine nachteilige Beeinflussung des Meßergebnisses nicht bemerkbar.
Der Vorteil des Verfahrens liegt in einfachem Aufbau und relativ geringem Aufwand.

Das Kompensationsverfahren. Hierbei wird der zu messenden physikalischen Größe eine durch eine Hilfsenergiequelle erzeugte Größe gleicher Art entgegengeschaltet und diese automatisch so verändert, daß beide Größen übereinstimmen. Dem Meßobjekt wird dadurch keine Energie entnommen. Die zur Übertragung und Anzeige benötigte Energie liefert eine Hilfsenergiequelle.

Hinweis: Die dem Meßobjekt entnommene Energie ist bestimmt durch die an die Meßwertentnahme angeschlossenen Einrichtungen. Das sind häufig Meßwertwandler (↗ 2.3.3.), die den Meßwert in Einheitssignale umsetzen. Diese Meßwertwandler nutzen z. B. ebenfalls das Kompensationsverfahren.
Es ist in vielen Fällen nicht möglich, den Meßwert der Anlage zu entnehmen und diesen direkt zu übertragen. Man muß dann nach Verfahren suchen, bei denen die zu messende physikalische Größe durch eine andere wiedergegeben wird, wobei zwischen diesen Größen exakt definierte Beziehungen bestehen. Es macht sich eine Umwandlung des Meßwertes in eine andere physikalische Größe erforderlich.

■ Während es ohne weiteres möglich ist, einen Druck der Anlage zu entnehmen, diesen über eine Meßleitung zu übertragen und mittels eines Manometers anzuzeigen, scheidet ein solches Verfahren für eine Temperaturmessung aus. Hier muß die physikalische Größe „Temperatur" durch eine andere abgebildet werden. Häufig benutzt man dazu Widerstandsthermometer; das sind Meßfühler, die einen von der Temperatur abhängigen Widerstand besitzen (↗ Abschnitt 2.2.4.2.). Die physikalische Größe Temperatur wird damit durch die physikalische Größe „elektrischer Widerstand" abgebildet.

● Erklären Sie die Umwandlung von Meßwerten in andere physikalische Größen an den Beispielen Schleifdrahtmeßbrücke, induktiver Kraftmesser und Kontaktthermometer! (↗ Tech i Üb, S. 137)

Durch die Entwicklung des Gebietes Elektrotechnik/Elektronik werden in weitem Umfang die zu messenden physikalischen Größen durch elektrische Größen abgebildet. Das hat insbesondere den Vorteil, daß sich diese Größen leicht auch über größere Entfernungen übertragen lassen.
In den folgenden Abschnitten wird ein Überblick über Wirkungsweise und Anwendung vielfach eingesetzter Verfahren der Betriebsmeßtechnik gegeben.

2.2.1. Strom- und Spannungsmessung

Das Messen der elektrischen Stromstärke bzw. Spannung ist eine häufig vorkommende Meßaufgabe. Neben den Strom- und Spannungswerten, die als wichtige Größen elektrischer Antriebe gemessen werden, erfolgt heute die Übertragung von Meßgrößen fast ausschließlich durch elektrische Signale (↗ 2.3.). In vielen Warten sind die Anzeigeinstrumente ausschließlich elektrische Strom- bzw. Spannungsmesser (↗ 2.3.3.).

■ Bei einer Druckmessung kann die physikalische Größe „Druck" durch einen Meßwertwandler in die physikalische Größe „Spannung" umgewandelt werden. Die Spannung ist damit Träger der Information des Meßwertes „Druck" (↗ Information, 6.2.). Die Information kann dann durch einen Spannungsmesser angezeigt, d. h., an den Menschen gegeben werden.

▶ Die Wirkungsweise der allgemein eingesetzten Strom- und Spannungsmesser beruht auf dem Verhalten einer stromdurchflossenen Leiterschleife im Magnetfeld (↗ elektromagnetisches Prinzip, Ph i Üb, S. 133f.; Bild 15/1).

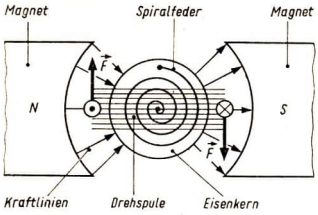


Bild 15/1: Drehspulmeßwerk, Wirkungsweise

In einem homogenen Magnetfeld ist eine Spule drehbar gelagert. Wird die Spule von einem Strom durchflossen, so wird auf sie ein Moment ausgeübt. Mathematisch formuliert lautet der Zusammenhang:

$$M_I = c_1 \cdot I \cdot B$$

M_I das auf die Spule durch den Strom ausgeübte Moment;
c_1 Konstante, die sich aus der Konstruktion ergibt;
I die Spule durchfließender Strom;
B Stärke des Magnetfeldes.

Kleine Spiralfedern halten die Spule in der Ruhelage, solange diese nicht vom Strom durchflossen ist. Ein an der Spule befestigter Zeiger zeigt dabei auf der Skale den Wert „0" an. Eine Auslenkung der Spule infolge Stromfluß bewirkt ein Verdrehen der Spiralfedern, wodurch diese ein Gegenmoment erzeugen. Die hierbei gültige Beziehung lautet:

$$M_F = c_2 \cdot \alpha$$

M_F durch Feder erzeugtes Moment;
c_2 Federkonstante;
α Auslenkwinkel.

Die Spule befindet sich in Ruhe wenn

$$M_F = M_I;$$

daraus folgt:

$$c_2 \cdot \alpha = c_1 \cdot I \cdot B\,.$$

Hieraus erhält man

$$\alpha = \frac{c_1}{c_2} \cdot I \cdot B\,,$$

und für B = konst

$$\alpha \sim I\,.$$

Bei Ausschlag des Zeigers bis zum Skalenendwert fließt bei einem vorgegebenen Drehspulmeßwerk durch dessen Drehspule immer ein bestimmter Strom. Bedingt durch den Widerstand der Drehspule liegt an dieser dabei eine zugehörige Spannung.
Wie ist ein Drehspulmeßgerät zu schalten
— bei Strommessung;
— bei Spannungsmessung? (↗ Tech i Üb, S. 161)

① Ein Drehspulmeßwerk zeigt bei 0,5 mA Vollausschlag. Der Widerstand der Drehspule beträgt 1 kΩ. Wie groß ist die anliegende Spannung?

▶ Durch Schalten von Vorwiderständen oder Nebenwiderständen lassen sich mit den gleichen Meßwerken unterschiedliche Meßbereiche realisieren.

● Erklären Sie an Hand von Bild 16/1 die Wirkungsweise der Meßbereichserweiterung eines Spannungs- bzw. Strommessers! (↗ Ph i Üb, S. 123)

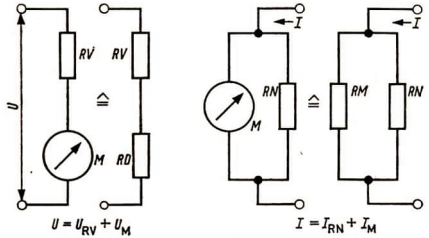


Bild 16/1: Meßbereichserweiterung
a) Spannungsmesser
b) Strommesser

② Durch ein Drehspulmeßwerk fließt bei Vollausschlag ein Strom von 1 mA. Der Widerstand der Drehspule beträgt 500 Ω. Das Meßwerk soll verwendet werden

a) für Spannungsmessung (Meßbereich: 0 ... 50 V);
b) für Strommessung (Meßbereich: 0 ... 10 mA)!

Wie groß müssen die benötigten Widerstände sein, und wie müssen sie geschaltet werden?

▼ Untersuchen Sie das Verhalten von *Ohm*schen Widerständen im Stromkreis! (↗ [5], E2 bis E5)

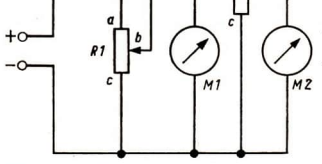


Bild 16/2: Milliamperemeter als Spannungsmesser, Versuchsschaltung

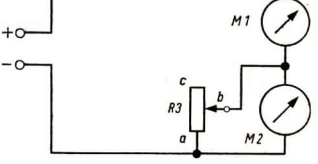


Bild 16/3: Erweiterung des Strommeßbereiches, Versuchsschaltung

Ein in einen Stromkreis geschaltetes Drehspulmeßwerk wirkt in diesem Stromkreis wie ein *Ohm*scher Widerstand. Demzufolge gelten für die Zusammenschaltung von Vor- oder Nebenwiderständen mit einem Drehspulmeßwerk die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie für das Zusammenschalten von *Ohm*schen Widerständen.

▼ Führen Sie den folgenden Versuch zum Einsatz eines Milliamperemeters als Spannungsmesser durch!

Benötigte Bauelemente und Geräte

Anzahl	Bauelement/Gerät	Kurzbezeichnung
1	Vielfachmeßinstrument UNI 4	M 1
1	Strommesser, Endausschlag 1 mA	M 2
1	regelbarer Widerstand 300 Ω; 3 W	R 1
1	regelbarer Widerstand 30 kΩ; 0,03 W	R 2
1	Gleichspannungsquelle ≈ 24 V	E
1	Stellschalter	S

Versuchsdurchführung

- Bauen Sie die Schaltung entsprechend Bild 16/2 auf!
- Stellen Sie folgende Einstellungen her:
  M 1 Meßbereich 0 ... 30 V—;
  R 1 b in Stellung „c";
  R 2 b in Stellung „c"!
- Lösen Sie den Anschluß b an R 2 und schalten Sie die Spannungsversorgung ein (mittels Stellschalter S)! Überzeugen Sie sich durch langsames Verstellen von b_{R1}, daß b_{R1} in der Stellung „c" stand (Ausschlag M 1 mußte in dieser Stellung gleich 0 sein)! Stellen Sie b_{R1} wieder in Stellung „c"! Stellen Sie die an b_{R2} gelöste Verbindung wieder her!
- Verstellen Sie langsam b_{R1} bis M 1 20 V anzeigt! Verstellen Sie nunmehr langsam b_{R2} bis M 2 Vollausschlag aufweist! Überprüfen Sie den Ausschlag von M 1 und korrigieren Sie erforderlichenfalls b_{R1} und b_{R2} wechselseitig so lange, bis M 1 20 V und M 2 Vollausschlag anzeigen!
- Verändern Sie durch Verstellen von b_{R1} die Spannung U_{M1} zwischen 0 V und 10 V! Nehmen Sie für diesen Bereich die Funktion $I_{M2} = f(U_{M1})$ auf! Stellen Sie diese in einem Diagramm dar!

Versuchsauswertung

- Was erkennen Sie aus dem Diagramm?
- Welchen Spannungsmeßbereich hat M 2 in dieser Schaltung?
- Wievielmal größer müßte R 2 ungefähr sein, wenn bei $U_{M1} = 10$ V $I_{M2} = 0{,}5$ mA betragen soll?
  Welchen Spannungsmeßbereich hat dann M 2?
- Formulieren Sie die Gesetzmäßigkeiten der Meßbereichserweiterung für Spannungsmesser!

▼ Führen Sie den folgenden Versuch zur Erweiterung des Strommeßbereiches durch!

Benötigte Bauelemente und Geräte

Anzahl	Bauelement/Gerät	Kurzbezeichnung
1	Vielfachmeßinstrument UNI 4	M 1
1	Strommesser, Endausschlag 1 mA	M 2
1	Widerstand 20 kΩ; 0,25 W	R 1
1	regelbarer Widerstand 50 kΩ; 0,25 W	R 2
1	regelbarer Widerstand 2 kΩ; 0,25 W	R 3
1	Gleichspannungsquelle 24 V	E
1	Stellschalter	S

Versuchsdurchführung

- Bauen Sie die Schaltung entsprechend Bild 16/3 auf!
- Stellen Sie folgende Einstellungen her:

  M 1 Meßbereich 1,5 mA—;
  R 2 b in Stellung c;
  R 3 b in Stellung c!

- Lösen Sie den Anschluß von b_{R3}! Schalten Sie die Spannungsversorgung ein (mittels Stellschalter S)!
- Regulieren Sie R 2 so, daß über M 1 und M 2 ein Strom von 1 mA fließt!
- Stellen Sie die an b_{R3} gelöste Verbindung wieder her!
- Regulieren Sie R 3 so, daß M 2 0,5 mA anzeigt! Korrigieren Sie erforderlichenfalls mit R 2 den Gesamtstrom; dieser muß stets 1 mA betragen (Anzeige durch M 1)!
- Verändern Sie durch Verstellen von R 2 den Strom und stellen Sie $I_{M2} = f(I_{M1})$ grafisch dar!

Versuchsauswertung

- Formulieren Sie die Gesetzmäßigkeit zur Meßbereichserweiterung! Beachten Sie dabei das Verhältnis von R 3 zum Widerstand des Strommessers!

2.2.2. Leistungsmessung

Es ist häufig erforderlich, die von elektrischen Verbrauchern aufgenommene Leistung zu messen, um Schlußfolgerungen für den augenblicklichen Zustand der Anlage ziehen zu können.

● Wiederholen Sie die Begriffe Energie und Leistung! (↗ Ph i Üb, S. 77f., 117ff.)

Zur Leistungsmessung kann ein Drehspulmeßwerk in modifizierter Form verwendet werden. Aus der Beziehung

$$M_D = c_1 \cdot I_D \cdot B$$

M_D auf die Drehspule ausgeübtes Moment;
c_1 Konstante, die sich aus der Konstruktion ergibt;
I_D die Spule durchfließender Strom;
B Stärke des Magnetfeldes

ist zu erkennen, daß eine Produktbildung meßtechnisch erfolgen kann, wenn B nicht konstant gehalten wird, sondern proportional zu einer der beiden elektrischen Größen Spannung oder Strom gebildet wird. Praktisch bedeutet das, den Dauermagneten des Drehspulmeßwerkes durch eine Spule zu ersetzen. Den Aufbau eines solchen modifizierten Meßwerkes zeigt Bild 19/1. Dieses Meßwerk wird auch als dynamometrisches Meßwerk bezeichnet.

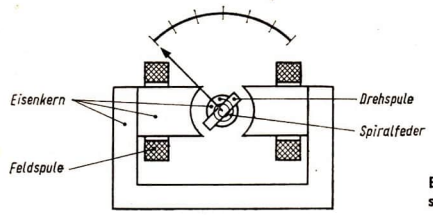


Bild 19/1: Dynamometrisches Meßwerk, Aufbau

Ein dynamometrisches Meßwerk wird so angeschlossen, daß der die Drehspule durchfließende Strom proportional der am Verbraucher R liegenden Spannung ist. Der die Feldspule durchfließende Strom ist proportional dem Verbraucherstrom.
Somit gelten folgende Beziehungen:

$$I_D = c_2 \cdot U$$
$$B = c_3 \cdot I$$

U Verbraucherspannung
I Verbraucherstromstärke.

Hieraus ergibt sich:

$$M_D = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot U \cdot I = c \cdot U \cdot I$$
$$M_D \sim P_{elektr.}$$

Das auf die Spule ausgeübte Moment ist der elektrischen Leistung proportional. Die Schaltung eines solchen Leistungsmessers mit dynamometrischem Meßwerk ist in Bild 19/2 dargestellt.

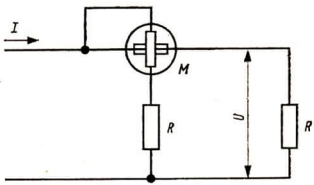


Bild 19/2: Schaltung eines Leistungsmessers

Die vorstehenden Ableitungen wurden für Gleichstrom-Leistungsmessungen dargestellt. Sie gelten auch für Wechselstrom. In der Schaltung nach Bild 19/2 wird dabei die *Wirk*leistung gemessen. Beim Einsatz zu Leistungsmessungen von Wechselstrom-

Verbrauchern (vorwiegend Elektromotoren) ergibt sich der Vorteil, daß durch Verwendung von Spannungs- bzw. Stromwandlern (das sind zu meßtechnischen Zwecken verwendete kleine Transformatoren) die gleichen Meßwerke für die verschiedensten Meßbereiche verwendet werden können. Eine entsprechende Schaltung zeigt Bild 20/1.

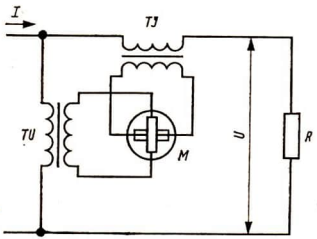


Bild 20/1: Anschluß eines Leistungsmessers über Wandler (TU Spannungswandler; TI Stromwandler)

③ Ein Leistungsmesser zeigt bei $U = 200$ V und $I = 10$ A Vollausschlag. Wie groß ist der Ausschlag im Vergleich zum Vollausschlag bei $U = 50$ V und $I = 5$ A?

2.2.3. Druckmessung

Die physikalische Größe Druck hat sowohl im Bereich des Maschinenbaus (z. B. Druck hydraulischer Pressen, Druck des Schmieröles für die Lager von Maschinen) wie auch im Bereich der Kraft- und Wärmewirtschaft sowie in der Chemie (z. B. Dampfdruck, Druck in Wassernetzen, Druck bei chemischen Prozessen) erhebliche Bedeutung.

● Definieren Sie die physikalische Größe Druck! (↗ Ph i Üb, S. 66)

Bei einer Druckmessung sind die folgenden physikalischen Zusammenhänge unbedingt zu beachten:

- Der Druck eines nicht in Bewegung befindlichen Mediums breitet sich nach allen Seiten gleichmäßig aus.
- Ein strömendes Medium übt auf einen in der Strömung befindlichen Widerstand einen Druck, den sogenannten „Staudruck" aus. Der Staudruck, er wird auch als dynamischer Druck bezeichnet, ist definiert als

$$p_{dyn} = \frac{\varrho}{2} \cdot v^2$$

ϱ Dichte des Mediums;
v Strömungsgeschwindigkeit.

Der statische Druck p_s und der dynamische Druck p_{dyn} bilden den Gesamtdruck:

$$p_{gesamt} = p_s + p_{dyn}.$$

● Wiederholen Sie die Gesetzmäßigkeiten der Mechanik der Flüssigkeiten und Gase! (↗ Ph i Üb, S. 80ff.)

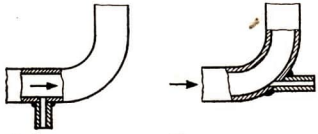
④ Je eine Rohrleitung wird von Dampf bzw. Luft durchströmt. Die strömenden Medien sind dabei durch folgende Größen gekennzeichnet:

Medium	p_s	ϱ	v
Dampf	2,5 MPa	3,48 kg m^{-3}	25 m s^{-1}
Luft	0,003 MPa	1,3 kg m^{-3}	10 m s^{-1}

a) Berechnen Sie für beide Fälle den dynamischen Druck!
b) Geben Sie den dynamischen Druck in Prozenten des statischen Druckes an!
c) Vergleichen Sie die ermittelten Prozentwerte miteinander!

▶ Die richtige Auswahl der Meßwertentnahme ist für die Gestaltung der Druckmessung von großer Bedeutung, da durch die Art der Meßwertentnahme festgelegt ist, welcher Druck gemessen wird, der statische oder der Gesamtdruck.

Vorwiegend wird als Meßaufgabe die Messung des *statischen* Druckes gefordert (Bild 21/1). Besonders bei Messungen eines relativ geringen Druckes treten bei falscher Auswahl der Meßwertentnahme erhebliche Fehler auf.



a) b)

Bild 21/1: Meßwertentnahmen zur Messung des statischen Druckes
a) richtige Anordnung
b) falsche Anordnung

● Begründen Sie, warum die Meßwertentnahme zur Messung des statischen Druckes in Bild 21/1 b falsch ist!

● Wie bezeichnet man den auftretenden Meßfehler? (↗ Tech i Üb, S. 96)

2.2.3.1. Druckmessung mit Manometer

Ein einfaches und zuverlässiges Meßinstrument zum Messen von Drücken und Differenzdrücken ist das U-Rohr-Manometer.
Ein U-förmig gebogenes Rohr ist etwa zur Hälfte mit einer Sperrflüssigkeit (z. B. Wasser, Alkohol, Quecksilber) gefüllt (Bild 22/1). Das U-Rohr hat senkrechte Betriebslage. Über die offenen Schenkel erfolgt der Anschluß an die Meßwertentnahme. Für Druckmessungen bleibt der Anschluß für p_s offen, auf diesen wirkt dann nur der Druck der umgebenden Atmosphäre. Die meisten Messungen werden als Messungen des Überdruckes gegenüber dem atmosphärischen Druck ausgeführt.

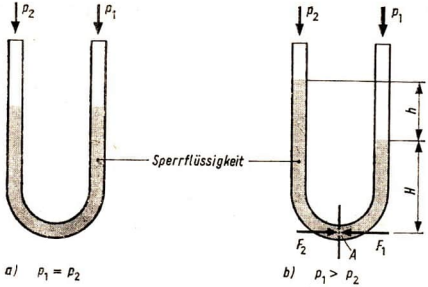


Bild 22/1: U-Rohr-Manometer

Die Wirkungsweise des U-Rohr-Manometers ergibt sich aus den Gleichgewichtsbedingungen. Die Sperrflüssigkeit befindet sich in Ruhe — also im Gleichgewichtszustand — wenn sich die auf sie einwirkenden Kräfte aufheben. Auf die Fläche A wirken die Kräfte F_1 und F_2 entgegengerichtet.

(5) Ein U-Rohr-Manometer hat eine Höhe von 1 m. Es ist zur Hälfte mit Wasser als Sperrflüssigkeit gefüllt. Der Anschluß für p_2 bleibt offen, es wirkt der Luftdruck.

a) Welcher Überdruck kann mit diesem U-Rohr-Manometer höchstens gemessen werden ($\varrho_{Wasser} = 10^3$ kg m^{-3})?

b) Wie ändert sich der Maximalwert, wenn als Sperrflüssigkeit Quecksilber ($\varrho = 13{,}55 \cdot 10^3$ kgm^{-3}) oder Petroleum ($\varrho = 0{,}76 \cdot 10^3$ kg m^{-3}) verwendet werden?

▼ Führen Sie den folgenden Versuch zur praktischen Arbeitsweise des U-Rohr-Manometers durch!

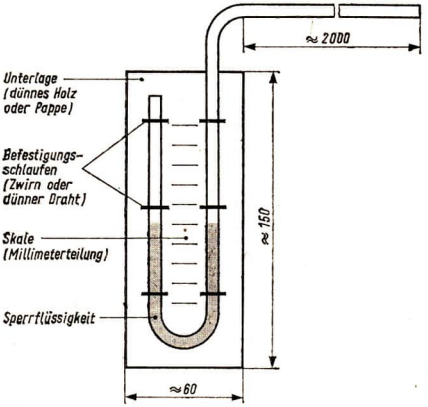


Bild 22/2: U-Rohr-Manometer, Bauanleitung

Benötigte Geräte und Materialien

1 kräftiges Gebläse (Staubsauger oder Ähnliches)
1 U-Rohr-Manometer
3 m Plasteschlauch, etwa 6 mm Durchmesser (passend zum Anschluß an das U-Rohr-Manometer)

Hinweis: Steht kein U-Rohr-Manometer zur Verfügung, so kann für den vorliegenden Bedarf ein solches aus durchsichtigem Plastschlauch hergestellt werden. Eine Anleitung hierzu zeigt Bild 22/2.

Versuchsdurchführung

— U-Rohr-Manometer genau senkrecht aufstellen und geeignet befestigen!
— Plastschlauch an das U-Rohr-Manometer anschließen, entsprechend Bild 23/1 an die Luftaustrittsöffnung des Gebläses halten und Meßwerte am U-Rohr-Manometer ablesen!

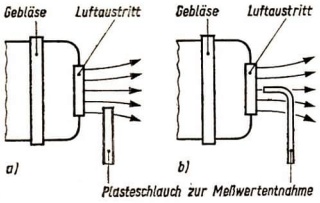


Bild 23/1: Meßwertentnahme
a) Messung des statischen Druckes
b) Messung des Gesamtdruckes

Versuchsauswertung

— Stellen Sie die Ergebnisse verbal zusammen!
Was ist bei der Meßwertentnahme zu beachten?
— Die verwendete Meßleitung ist im Hinblick auf ihre Länge für die Versuchsdurchführung unkritisch. Worin liegt das begründet? (↗ 2.2.3.)

Eine direkte Anwendung des U-Rohr-Manometers ist auf Prüfzwecke (im Rahmen der Wartung und Instandhaltung von BMSR-Anlagen) und einige zahlenmäßig geringe spezielle Einsatzfälle beschränkt. Das U-Rohr-*Prinzip* jedoch findet in einer Reihe von BMSR-Geräten Anwendung (↗ Durchfluß- und Flüssigkeitsstandsmessung, 2.2.6.2.; 2.2.7.2.).
Ein breites Einsatzgebiet in der BMSR-Technik haben Federmanometer.

▶ Federmanometer beruhen auf dem Prinzip der elastischen Verformung von Federn infolge einer durch Druck hervorgerufenen Kraft.

Von den Federmanometern wird das Röhrenfedermanometer häufig eingesetzt. Die Wirkungsweise beruht auf der Verformung einer einseitig eingespannten Rohrfeder (*Bourdon*-Feder) (Bild 24/1).

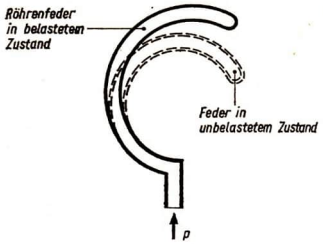


Bild 24/1: Röhrenfedermanometer, Wirkungsweise

Die Verformung kommt dadurch zustande, daß die Fläche der Innenseite der Röhrenfeder (zum Mittelpunkt hin liegende Seite) kleiner ist als die Fläche der Außenseite (vom Mittelpunkt weg liegende Seite). Da sich der Druck nach allen Seiten gleichmäßig ausbreitet, ist die vom Mittelpunkt weg gerichtete Kraft größer als die zum Mittelpunkt hin gerichtete. Die Verformung wird durch geeignete Konstruktion (z. B. Segmenthebel und Zahnrad) auf den Zeiger übertragen (↗ Ph i Üb, S. 84). Der Meßbereich eines Röhrenfedermanometers ist durch Material und Stärke der Feder bestimmt und kann bis zu einigen 100 MPa (1000 kp cm^{-2}) betragen.
Federmanomometer werden zum Messen von Dampf- und Flüssigkeitsdrücken in der chemischen Industrie, in der Kraft- und Wärmewirtschaft sowie auch im Maschinenbau (z. B. zum Messen des Schmierstoffdruckes) verwendet.

2.2.3.2. Messung von Differenzdrücken

Jede Druckmessung ist die Messung einer Druckdifferenz, da zum eindeutigen Bestimmen der Meßgröße angegeben werden muß, auf welchen Bezugsdruck sich der Meßwert bezieht. In Abschnitt 2.2.3.1. wurde bereits darauf hingewiesen, daß ein häufiger Bezugswert der Druck der umgebenden Luft ist. Werden Drücke als absolute Drücke bezeichnet, so ist der Bezugswert der Druck des Vakuums. Die unterschiedliche Wahl des Bezugspunktes äußert sich in der Beschriftung der Skale und in der Lage des Nullpunktes des Meßgerätes (Bild 24/2).
Bei der Messung von Differenzdrücken steht als Aufgabe, die Differenz zwischen zwei Drücken zu messen, von denen *keiner* auch nur annähernd zeitliche Konstanz aufweisen muß. Meist sind die beiden Drücke relativ hoch und der Unterschied zwischen ihnen, also der Differenzdruck, relativ gering. Ein für eine solche Meßaufgabe geeignetes Gerät ist die Ringwaage (Bild 25/1).

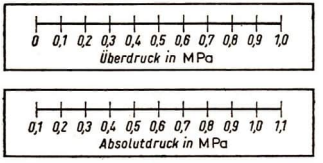


Bild 24/2: Manometerskalen mit unterschiedlichen Bezugswerten

Ein geschlossener, mit einer Trennwand „A" versehener Hohlring ist in seinem Mittelpunkt drehbar gelagert. Er ist zur Hälfte mit einer Sperrflüssigkeit gefüllt, wodurch zwei getrennte Kammern entstehen. Rechts und links der Trennwand sind die Anschlüsse für die Zuführung der Drücke p_1 und p_2 über flexible Leitungen vorgesehen. Am Ring ist ein Massestück angebracht. Es kann davon ausgegangen werden, daß die Ringwaage *ohne* die Gewichtskraft G in jeder Stellung im Gleichgewicht ist. Werden die Drücke p_1 und p_2 in die Kammern geleitet, so üben diese auf die Trennwand und die Flüssigkeit eine Kraft aus. Entsprechend der Druckdifferenz entstehen an der Trennwand unterschiedliche Kräfte F_1 und F_2. Dadurch wird auf den Ring ein Moment ausgeübt. Der Ring wird so weit gedreht, bis durch G ein gleichgroßes Gegenmoment aufgebracht wird. Die Drehung des Ringes ist ein Maß für den Differenzdruck und wird über eine geeignete Konstruktion durch einen Zeiger angezeigt. Entsprechend dem U-Rohr-Prinzip verschiebt sich die Sperrflüssigkeitssäule. Für das Gleichgewicht hat das jedoch keinerlei Bedeutung, da die Sperrflüssigkeit an keiner Stelle eine kraftschlüssige Verbindung zum Hohlring hat, auf diesen also keine Momente ausüben kann.

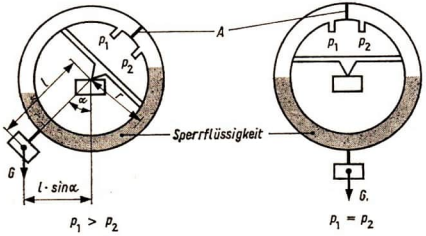


Bild 25/1: Ringwaage, Wirkungsweise

⑥ Welcher maximale Differenzdruck kann mit einer Ringwaage gemessen werden, deren Durchmesser 300 mm beträgt und bei der als Sperrflüssigkeit Quecksilber ($\varrho = 13{,}55 \cdot 10^3$ kg m^{-3}) verwendet wird?
Welche Auswirkungen auf das Meßergebnis treten auf, wenn die Ringwaage nicht genau zur Hälfte mit Sperrflüssigkeit gefüllt ist?

Differenzdrücke treten in der BMSR-Technik häufig als Abbildung anderer Größen auf. Hier sind die Messung von Stoffströmen durch Drosselgeräte (↗ 2.2.6.2.) und die Füllstandsmessung in Behältern, die unter Druck stehen (↗ 2.2.7.2.) zu nennen.
Ringwaagen eignen sich besonders dort, wo relativ geringe Differenzdrücke mit hoher Genauigkeit gemessen werden sollen. Sie werden z. B. bei der Mengenmessung mit Drosselgeräten in Ferngasleitungen eingesetzt.

2.2.4. Temperaturmessung

Bei der Messung der Temperatur eines Meßobjektes kann der Meßwert nicht ohne weiteres dem Meßobjekt entnommen und fortgeleitet werden, wie das z. B. bei der Druckmessung möglich ist. Bei einer solchen Fortleitung der Temperatur müßte die

dazu erforderliche „Übertragungsleitung" vom Meßobjekt erwärmt werden. Neben der auftretenden Zeitverzögerung würde ein erhablicher Meßfehler auftreten (Bild 26/1).

● Erklären Sie Formen der Wärmeausbreitung! (↗ Ph i Üb, S. 94)

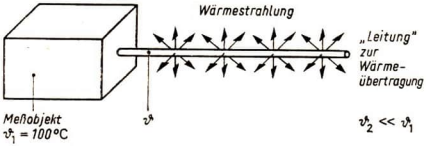


Bild 26/1: Wärmestrahlung

▶ Verfahren der Temperaturmessung gehen davon aus, die physikalische Größe „Temperatur" direkt an der Meßwertentnahmestelle in eine andere physikalische Größe umzuwandeln.

● Nennen Sie Arten von Temperaturmeßverfahren und ihre Meßbereiche! Erklären Sie die Wirkungsweise von Flüssigkeitsthermometern! (↗ Ph i Üb, S. 91; 94f.)

Bei jeder Temperaturmessung muß gewährleistet werden, daß der Meßfühler — gleich um welche Art von Meßfühler es sich handelt — in recht innigen Kontakt zum Meßobjekt kommt.

▼ Untersuchen Sie den Einfluß des Kontaktes zwischen Meßfühler und Meßobjekt bei einer Temperaturmessung!

Benötigte Geräte und Materialien

1 Stoppuhr
2 Reagenzgläser
2 Bechergläser
3 Thermometer (0 °C bis 100 °C)
Scheuersand

Versuchsdurchführung

— Stellen Sie die 3 Thermometer für etwa 10 Minuten in ein mit warmem Wasser (etwa 60 °C) gefülltes Becherglas!
— Füllen Sie ein Becherglas mit Leitungswasser (etwa $^1/_4$ voll) und stellen Sie die beiden Reagenzgläser hinein, nachdem Sie eines von beiden etwa 0,5 cm hoch mit Scheuersand gefüllt haben!
— Stellen Sie die erwärmten Thermometer wie folgt in das Becherglas mit kaltem Wasser:

Thermometer 1 direkt in das kalte Wasser;
Thermometer 2 in das mit Sand gefüllte Reagenzglas;
Thermometer 3 in das ungefüllte Reagenzglas!

— Notieren Sie im Abstand von 30 s die von den Thermometern angezeigte Temperatur und stellen Sie die Abkühlung grafisch dar!

Versuchsauswertung

- Erklären Sie den unterschiedlichen Verlauf der aufgenommenen Kurven!
- Welche Schlußfolgerungen ziehen Sie für die Gestaltung einer Temperatur-Meßwertentnahme?

2.2.4.1. Temperaturmessung mit Federthermometer

▶ Bei Federthermometern wird die Volumenänderung erwärmter Flüssigkeiten genutzt.

Als Meßwerke werden Rohrfedern (*Bourdon*-Federn) verwendet, die mit einer Flüssigkeit gefüllt sind (Bild 24/1). Die Erwärmung der Flüssigkeit führt zur elastischen Verformung der Feder.
Die Meßanordnung eines Federthermometers zeigt Bild 27/1.

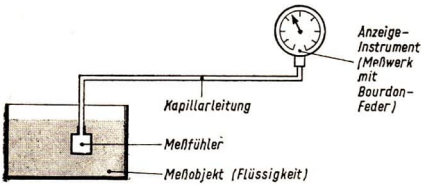


Bild 27/1: Meßanordnung eines Federthermometers

Meßfühler, Kapillarleitung und Meßwerk sind vollständig mit einer Flüssigkeit (z. B. Petroleum) gefüllt. Meßfühler und Kapillarleitung sind weitgehend „starr" ausgebildet, damit die im Meßfühler entstehende Volumenänderung der Meßflüssigkeit möglichst vollständig in die elastische Verformung der *Bourdon*-Feder des Meßwerkes umgesetzt wird.
Die Kapillarleitung hat einen inneren Durchmesser von $< 0{,}3$ mm. Ihre Länge soll 50 m nicht übersteigen. Damit ist die maximale Entfernung des Anzeigeinstrumentes vom Meßort festgelegt. Die Umgebungstemperatur der Kapillarleitung soll möglichst konstant sein, um größere Meßfehler zu vermeiden.

⑦ Der Meßfühler eines Federthermometers hat ein Flüssigkeitsvolumen von 2 cm^3. Der Anzeigebereich des Anzeigeinstrumentes hat als Nullpunkt 0 °C. Die Kapillarleitung hat eine Länge von 30 m bei einem inneren Durchmesser von 0,2 mm. Das Federthermometer ist ausgelegt für eine Umgebungstemperatur von 25 °C. Die Temperatur des Meßobjektes beträgt 70 °C. Die Kapillarleitung hat eine Umgebungstemperatur von 50 °C (statt 25 °C).
Wie groß ist der hierdurch entstehende Meßfehler?

Federthermometer werden eingesetzt, wenn die Anzeige in geringer Entfernung vom Meßort erfolgt, z. B. auf einer kleinen Meßtafel, auf der die Anzeigeinstrumente für verschiedene Meßgrößen eines Behälters angeordnet sind.

2.2.4.2. Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer

▶ Widerstandsthermometer nutzen die Temperaturabhängigkeit des elektrischen Widerstandes von Leitern aus.

Der Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Leiters und seinem elektrischen Widerstand ist näherungsweise gegeben durch die Beziehung

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

R elektrischer Widerstand;
R_0 Widerstand bei Normaltemperatur (in der Meßtechnik meist 0 °C);
α Temperaturkoeffizient;
Δt Abweichung der Temperatur von der Normaltemperatur.

● Erläutern Sie das Widerstandsgesetz!

● Vergleichen Sie den spezifischen elektrischen Widerstand verschiedener Leiterwerkstoffe! (↗ Ph i Üb, S. 121 f.)

● Vergleichen Sie die Temperaturkoeffizienten verschiedener Leiterwerkstoffe! (↗ Tech i Üb, S. 177)

▼ Untersuchen Sie eine Schaltung zur Temperaturmessung, in der die Temperaturabhängigkeit von Halbleiterbauelementen genutzt wird! (↗ [6], E 85)

In Bild 28/1 ist der Widerstand eines Platin-Widerstandsthermometers in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt. Die verbindlichen Widerstandswerte für Widerstandsthermometer sind in TGL 0 — 43760 festgelegt. Das Erfassen der Widerstandsänderung, die durch eine Temperaturveränderung hervorgerufen wird, erfolgt häufig mit Hilfe einer Brückenschaltung.

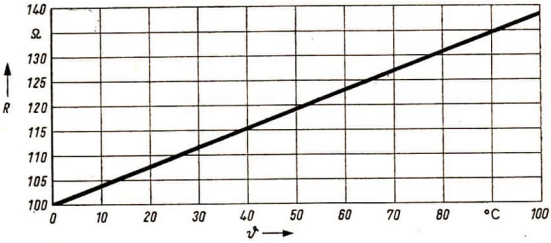


Bild 28/1: Widerstand eines Platin-Widerstandsthermometers in Abhängigkeit von der Temperatur

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise einer Brückenschaltung! (↗ [5], E 7; Tech i Üb, S. 162)

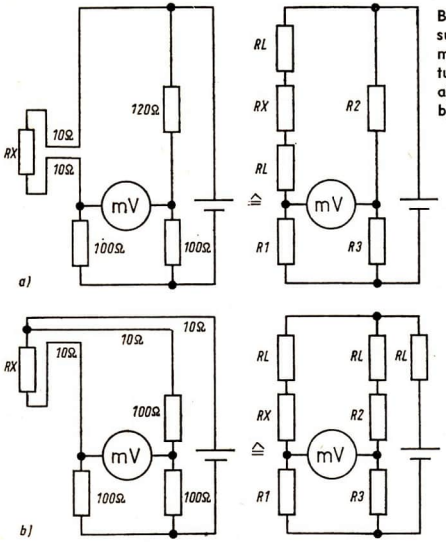


Bild 29/1: Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer und Brückenschaltung
a) Zweileiter-Schaltung
b) Dreileiter-Schaltung

Bild 29/1 zeigt den Anschluß des Meßwiderstandes (RX) an eine Brückenschaltung. Hierbei ist der Einfluß des Leitungswiderstandes RL besonders zu beachten. Die Größe des Leitungswiderstandes ist abhängig von seiner Umgebungstemperatur. Eine Änderung des Leitungwiderstandes wirkt sich als Meßfehler aus. Diese Meßfehler sind bei Anwendung der Brückenschaltung zu beachten.

(8) Die Brücke nach Bild 29/1 ist bei RX = 1000 Ω (bei 0 °C) im Gleichgewicht. Bei einer Temperatur von 75 °C am Meßwiderstand RX hat dieser einen Widerstandswert von 129 Ω. Durch Schwankung der Umgebungstemperatur ändert sich der Leitungswiderstand RL um 1 Ω.
Wie groß ist der entstehende Meßfehler?
Lösen Sie die Aufgabe bei folgender Annahme: Das Anzeigeinstrument hat einen so hohen Innenwiderstand, daß der über das Instrument fließende Strom vernachlässigt werden kann.

● In der Schaltung nach Bild 29/1 b tritt ein geringerer Meßfehler hinsichtlich der Änderung des Leitungswiderstandes RL auf.

— Worin liegt das begründet?
— Bei welchem Widerstandswert von RX (= Meßtemperatur) tritt auch bei Änderung von RL kein Meßfehler auf?

Die in der Praxis eingesetzten Widerstandsthermometer haben vielfältige Ausführungsformen. Den grundsätzlichen Aufbau zeigt Bild 30/1.

Widerstandsthermometer sind hervorragend geeignet zur Realisierung von Temperatur-Fernmessungen. Ihr Einsatz ist sehr vielseitig. Sie werden u. a. zur Temperaturmessung von Gasen und Dämpfen, Flüssigkeiten in strömendem oder ruhendem Zustand, von Metallen (z. B. Lagerwerkstoffe) eingesetzt.

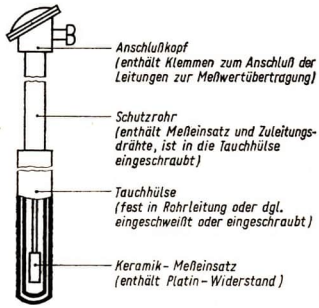


Bild 30/1: Widerstandsthermometer, Aufbau

2.2.4.3. Temperaturmessung mit Thermoelement

Zwei Leiter unterschiedlichen Materials, z. B. Kupfer und Konstantan, werden an ihren Enden metallisch verbunden (z. B. gelötet, geschweißt, geklemmt). Auf Grund der thermischen Bewegung der Elektronen findet an den Berührungsstellen ein Elektronenaustausch statt. Dabei wird — durch die unterschiedlichen Metalle bedingt — eine Richtung des Austausches bevorzugt. Es entsteht durch die mit dem *bevorzugten* Austausch verbundene zwangsläufig *unterschiedliche* Aufladung eine Spannung. Sie ist abhängig von der Temperatur und vom Material der Leiter. Zwei in der beschriebenen Weise verbundene Leiter werden als *Thermopaare* oder als *Thermoelement* bezeichnet und können durch die Abhängigkeit der von ihnen abgegebenen Spannung zur Temperaturmessung verwendet werden (Bild 30/2).

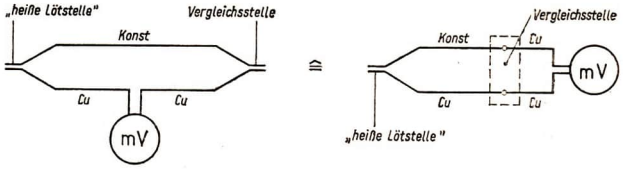


Bild 30/2: Schaltung eines Thermoelementes (Kupfer, Konstantan)

Die der Meßtemperatur ausgesetzte Stelle des Thermoelementes wird als „heiße Lötstelle", die andere als „Vergleichsstelle" bezeichnet. Die auftretenden Thermospannungen sind sehr klein, sie liegen in der Größenordnung von 10^{-3} V bei 1 K Temperaturänderung. Übliche Leiterkombinationen sind Cu/Konst, Fe/Konst, NiCr/Ni, PtRh/Pt. Die von ihnen erzeugten Thermospannungen einschließlich der zulässigen Toleranzen sind in TGL 0-43710 festgelegt.

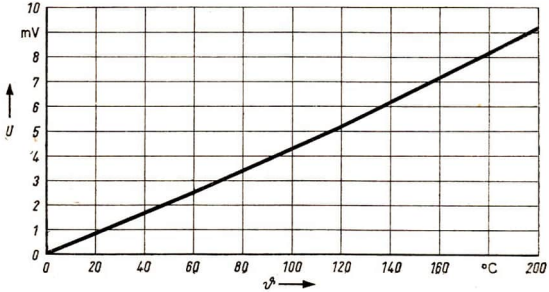


Bild 31/1: Thermospannung eines Cu/Konst-Thermoelementes in Abhängigkeit von der Temperatur

Aus Bild 31/1 ist abzuleiten, daß die Temperatur an der Vergleichsstelle konstant gehalten werden muß. Eine Temperaturänderung an dieser Stelle von z. B. 2 K wirkt sich als absoluter Meßfehler in dieser Größe aus. Die Vergleichsstelle wird deshalb im allgemeinen in einem Thermostaten untergebracht, dessen Temperatur auf +50 °C konstant gehalten wird.

(9) Die zu messende Temperatur beträgt 200 °C, die Temperatur im Thermostaten 50 °C. Wie groß ist die bei Verwendung eines Cu/Konst-Thermoelementes vom Meßinstrument gemessene Spannung?

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise eines Thermoelementes!

Benötigte Geräte und Materialien

1 Becherglas
1 Gasbrenner
1 Millivoltmeter
1 m Kupferdraht (d ≈ 0,6 mm)
1 m Eisendraht (d ≈ 0,6 mm)

Versuchsdurchführung

— Bauen Sie den Versuch nach Bild 32/1 auf (Die Drahtenden an der „heißen Lötstelle" und an der „Vergleichsstelle werden fest miteinander verdrillt)!
— Erwärmen Sie die „heiße Lötstelle" mit dem Gasbrenner und lesen Sie den vom Millivoltmeter angezeigten Wert ab!

— Ändern Sie die Erwärmung der „heißen Lötstelle", indem Sie diese mehr oder weniger von der Flamme entfernen und beobachten Sie dabei den Zeigerausschlag des Millivoltmeters!
— Erwärmen Sie nun die „heiße Lötstelle" und die „Vergleichsstelle" gemeinsam (beide in die Flamme halten ohne Berührung zwischen „heißer Lötstelle" und „Vergleichsstelle")! Beobachten Sie den Zeigerausschlag des Millivoltmeters!

Versuchsauswertung

— Was konnten Sie feststellen im Hinblick auf den Zusammenhang Temperatur — Thermospannung?
— Was wurde gemessen
  a) eine absolute Spannung;
  b) eine Spannungsdifferenz?

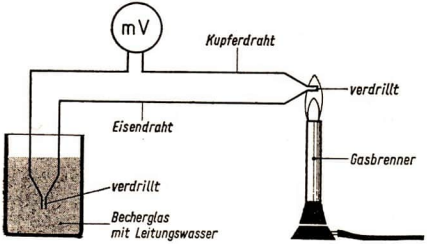


Bild 32/1: Thermoelement, Versuchsaufbau

In seiner handelsüblichen Ausführung ähnelt das Thermoelement dem Widerstandsthermometer. Da die Schenkel des Thermoelementes viel kräftiger ausgebildet sind als der feine Draht eines Widerstandsthermometers, sind Thermoelemente weniger störanfällig als Widerstandsthermometer.
Bei Anpreß-Thermoelementen (einer Sonderform), wird durch eingebaute Federn das eigentliche Thermoelement direkt an das Meßobjekt gepreßt, wodurch Meßfehler sehr klein gehalten werden können.
Zum Einsatz von Thermoelementen gilt grundsätzlich auch das für Widerstandsthermometer Gesagte. Sie werden jedoch vorzugsweise für sehr niedrige bzw. hohe Temperaturen eingesetzt (—260 °C bis 3100 °C) und in solchen Fällen, wo eine größere Zeitverzögerung beim Meßvorgang nicht zugelassen werden darf. Die entsprechenden Kenngrößen (Zeitkonstante) sind bei Thermoelementen erheblich günstiger als bei Widerstandsthermometern.

2.2.5. Drehzahlmessung

Die Drehzahl ist eine der Größen, die zur Beurteilung des Betriebszustandes von Kraft- und Arbeitsmaschinen herangezogen werden. Insbesondere gilt das für solche Maschinen, die mit veränderlichen Drehzahlen betrieben werden.

Die Antriebsdrehzahl eines Kraftfahrzeuges wird entsprechend der Betriebsbedingungen gewählt.
Die Schnittgeschwindigkeit einer Drehmaschine ist von der Drehzahl der Hauptspindel abhängig. Sie wird entsprechend den Bearbeitungsvorgaben gewählt.

Die Drehzahl wird in der BMSR-Technik vorwiegend mittels elektrischer oder elektronischer Verfahren gemessen. Rein mechanisch arbeitende Radialkrafttachometer (↗ 2.2.5.1.) haben aber trotzdem noch Bedeutung. Sie werden als *Handtachometer* zur Kontrolle der fest installierten BMSR-Einrichtungen benutzt.

2.2.5.1. Drehzahlmessung mit Radialkrafttachometer

Mit Radialkrafttachometern werden die Gesetzmäßigkeiten der gleichförmigen Kreisbewegung ausgenutzt.

Wiederholen Sie die Gesetzmäßigkeiten der gleichförmigen Kreisbewegung!
Erklären Sie das Auftreten von Radialkräften bei Kreisbewegungen!
Was versteht man unter der Zentrifugalkraft? (↗ Ph i Üb, S. 59f., 68f.)
Radialkrafttachometer nutzen in einfacher Ausführung ein *Radialkraftpendelmeßwerk* (Bild 33/1).

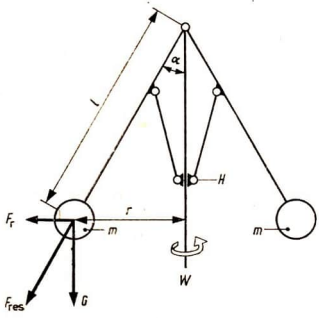


Bild 33/1: Radialkraftpendelmeßwerk, Wirkungsweise

Die Welle W des Meßwerkes wird mit dem Meßobjekt verbunden, z.B. über ein Schneckenradgetriebe (↗ Tech i Üb, S. 132f.).
Die beiden Massen *m* werden durch die bei Drehung der Welle W auftretende Radialkraft ausgelenkt. Der Winkel α und somit die Stellung der Hülse H ist ein Maß für die Drehzahl *n* des Meßobjektes. Die Anzeige erfolgt, indem die Verschiebung der Hülse H über geeignete Konstruktionselemente durch einen Skalenzeiger angezeigt wird.
Der Nachteil eines Radialkraftpendelmeßwerks ist seine Lageabhängigkeit.
Radialkrafttachometer mit *Kreuzpendelmeßwerken* arbeiten dagegen lageunabhängig (Bild 34/1).

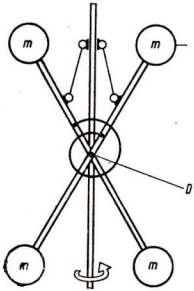


Bild 34/1: Kreuzpendelmeßwerk, Wirkungsweise

- Wie kann der Meßwert bei Verwendung eines Radialkraftpendelmeßwerks angezeigt werden?
- Warum sind Radialkraftpendelmeßwerke lageabhängig?
- Erklären Sie an Hand der Wirkungsweise, warum ein Kreuzpendelmeßwerk lageunabhängig arbeitet! (Bild 34/1)

Radialkrafttachometer werden vor allem als Handtachometer zur Kontrolle fest installierter Steuerungs- und Regelmeßeinrichtungen verwendet.

2.2.5.2. Drehzahlmessung mit Tachogenerator

▶ Die Drehzahlmessung mit Tachogenerator beruht auf dem Generatorprinzip. (↗ Ph i Üb, S. 134f.; Tech i Üb, S. 170)

Wird in einem konstanten Magnetfeld eine Leiterschleife mit der Drehzahl n gedreht, so wird in ihr eine Spannung induziert, deren Amplitude der Drehzahl proportional ist (Bild 34/2).

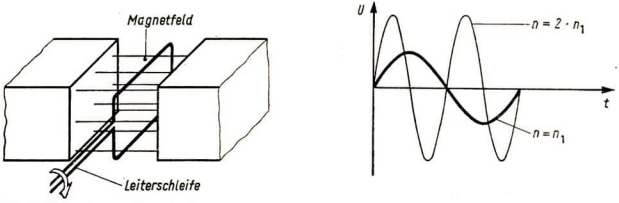


Bild 34/2: Generatorprinzip

▼ Ermitteln Sie die Zusammenhänge zwischen induzierter Spannung und Drehzahl an einem Generator!

Benötigte Geräte und Materialien

1 Fahrrad (mit Dynamo, der vom Hinterrad angetrieben wird)
1 Vielfachmeßinstrument
1 Stoppuhr
2 Verbindungskabel

Versuchsdurchführung

— Stellen Sie das Fahrrad mit den Rädern nach oben kippsicher auf!
— Ermitteln Sie das Übersetzungsverhältnis zwischen den Drehzahlen der Pedale und des Fahrraddynamos! (↗ Tech i Üb, S. 132)
— Schließen Sie das Vielfachmeßgerät (Meßbereich 15 V) bei abgeklemmter Fahrradbeleuchtung an den Fahrraddynamo an! (Typ des Fahrraddynamos beachten; Gleich- bzw. Wechselspannung!)
— Treiben Sie den Fahrraddynamo über die Pedale gleichmäßig an, so daß das angeschlossene Meßgerät eine Spannung von 1 V, 2 V, 3 V, 4 V, 5 V bzw. 6 V anzeigt!
— Ermitteln Sie die den jeweiligen Spannungswerten entsprechenden Drehzahlen der Pedale!
— Wiederholen Sie die Versuchsreihe bei angeklemmter Fahrradbeleuchtung!

Versuchsauswertung

— Stellen Sie den Zusammenhang von Dynamodrehzahl und induzierter Spannung grafisch dar!
— Erklären Sie die Abweichung der Kennlinien (ohne bzw. mit angeschlossener Fahrradbeleuchtung) voneinander!
— Welcher Teil der Kennlinie kann für Meßzwecke genutzt werden?

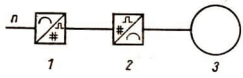
Die in der Praxis eingesetzten Tachogeneratoren sind konstruktiv so ausgelegt, daß ihre Kennlinie eine gute Linearität aufweist.
Tachogeneratoren werden zur Messung der Drehzahl größerer Aggregate eingesetzt, wie z. B. für Dampfturbinen, große Gebläse oder Pumpen, die mit unterschiedlicher Drehzahl betrieben werden. Durch die hohe Leistung dieser Aggregate kann die Belastung des Meßobjektes durch den angebauten Tachogenerator vernachlässigt werden.

2.2.5.3. Elektronische Drehzahlmessung

Das Verfahren der elektronischen Drehzahlmessung beruht darauf, daß in Abhängigkeit von der Drehzahl des Meßobjektes elektrische Impulse gebildet werden, deren Anzahl je Zeiteinheit der Drehzahl proportional ist. Die physikalische Größe „Drehzahl" wird damit durch ein digitales Signal (↗ Signal, 6.1.) abgebildet.

Die Impulse werden durch geeignete elektrische Schaltungen verformt und verstärkt und durch Mittelwertbildung in einen Gleichstrom umgewandelt. Die Stromstärke ist der Anzahl der Impulse und damit der Drehzahl proportional. Das digitale Signal

wird somit wieder in ein analoges Signal umgewandelt, das durch ein Meßinstrument (Strommesser) angezeigt wird (↗ Signal, 6.1.).
Die gesamte Meßeinrichtung kann in drei Teileinrichtungen untergliedert werden (Bild 36/1).



1 analog-digital-Wandler
2 digital-analog-Wandler
3 Anzeigeinstrument
n Drehzahl

Bild 36/1: Elektronische Drehzahlmeßeinrichtung, Prinzipdarstellung

Die Wirkungsweise der analog-digital-Wandlung ist in Bild 36/2 dargestellt. Auf der Welle des Meßobjektes, z. B. eines Motors, dessen Drehzahl gemessen werden soll, ist eine mit Löchern versehene Scheibe angebracht. Der von einer Lichtquelle ausgehende und auf einen Fotowiderstand gerichtete Lichtstrom wird durch die Scheibe bei deren Drehung periodisch unterbrochen. Dadurch trifft der Lichtstrom in Impulsen auf den Fotowiderstand, nämlich immer dann, wenn die Scheibe eine solche Stellung hat, daß der Lichtstrom durch eines der Löcher freigegeben wird.
Die Anzahl der Impulse je Zeiteinheit, diese Größe wird als Pulsfrequenz bezeichnet, ist der Drehzahl proportional.

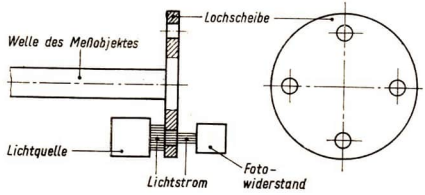


Bild 36/2: Analog-digital-Wandlung des Meßwertes „Drehzahl"

- Formulieren Sie mathematisch den Zusammenhang zwischen Pulsfrequenz f_p und Drehzahl n, indem Sie die Beziehung $f_p = f(n)$ aufstellen!

Die Breite der Impulse ist durch die Dauer bestimmt, in der die Löcher der Scheibe den Lichtstrom zum Fotowiderstand freigeben. Sie nimmt mit zunehmender Drehzahl ab. Die Anzahl der Impulse nimmt jedoch mit zunehmender Drehzahl zu, so daß der Mittelwert des Lichtstromes konstant bleibt, also von der Drehzahl unabhängig ist (Bild 37/1).

Daraus ergibt sich, daß ein direkter Anschluß eines Meßinstrumentes an den Fotowiderstand, wie das z. B. bei einem Belichtungsmesser der Fall ist, zu keinem brauchbaren Ergebnis führt. Dieses Problem wird gelöst, indem in der nachfolgenden digital-analog-Umwandlung die Impulse zunächst so verformt werden, daß die Breite der Eingangsimpulse ohne Bedeutung ist. Hierzu wird das Verhalten eines Kondensators im Stromkreis ausgenutzt.

- Wiederholen Sie die Zusammenhänge zwischen elektrischer Ladung und elektrischer Kapazität! (↗ Ph i Üb, S. 109f., 126ff.)

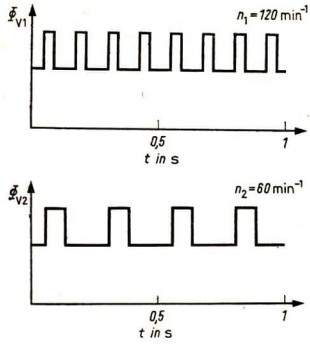


Bild 37/1: Lichtimpulse bei verschiedenen Drehzahlen

Wird an einen Kondensator eine Spannung gelegt, so fließt ein mit der Zeit abklingender Strom, der Ladestrom. Dessen zeitlicher Verlauf ist dabei von der Kapazität des Kondensators und der Größe des im Stromkreis liegenden Widerstands abhängig.

▼ Untersuchen Sie mit Hilfe des Baukastensystems Elektrotechnik/Elektronik, Stufe 5 den zeitlichen Verlauf des Lade- bzw. Entladestroms eines Kondensators!
(↗ [5])

Benötigte Bauelemente und Geräte

1 Gleichspannungsquelle 6 V
1 Umschalter
1 Katodenstrahl-Oszillograph
1 Kondensator 10 μF
1 Kondensator 20 μF
1 Kondensator 50 μF
1 Widerstand 10 kΩ
1 Widerstand 25 kΩ
1 Widerstand 50 kΩ

Versuchsdurchführung

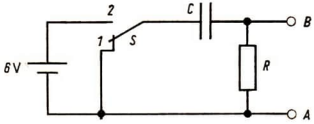


Bild 37/2: Wirkungsweise eines Kondensators, Versuchsschaltung

— Bauen Sie die Schaltung nach Bild 37/2 auf!
— Schließen Sie an den Ausgang A—B der Versuchsschaltung den Vertikal-Eingang des Oszillographen an!

— Stellen Sie die Zeitablenkung so ein, daß der Katodenstrahl den Bildschirm in etwa 1 Sekunde durchläuft!
— Betätigen Sie den Schalter S! Die Verstärkung des Oszillographen stellen Sie so ein, daß der Katodenstrahl etwa 30 mm ausgelenkt wird; die einmal getroffene Einstellung wird dann nicht mehr verändert! (Hinweis: Beim Umlegen des Schalters in Stellung 2 wird der Ladestrom, beim Umlegen in Stellung 1 der Entladestrom gemessen.)
— Führen Sie die Versuche mit den verschiedensten Kombinationen der genannten Widerstände und Kondensatoren durch! Skizieren Sie die einzelnen Oszillogramme möglichst maßstäblich!

Versuchsauswertung

— Welche *R*-*C*-Kombinationen zeigen gleiches Zeitverhalten?
— Welche Gesetzmäßigkeit kann hieraus abgeleitet werden?

Für die elektronische Drehzahlmessung muß die *R*-*C*-Kombination so gewählt werden-daß der Ladevorgang vor dem Ende auch der kürzesten Impulse (diese treten bei der höchsten Drehzahl auf) praktisch abgeschlossen ist. *R*-*C*-Kombinationen werden durch das Produkt aus *R* und *C*, die sogenannte Zeitkonstante (↗ 6.1.), charakterisiert (Bild 38/1).

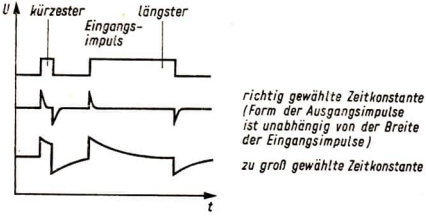


Bild 38/1: Impulsverformung durch *R*-*C*-Kombination

Für die digital-analog-Umwandlung wird eine elektronische Schaltung nach Bild 39/1 verwendet. Die Lichtimpulse werden mittels eines Fotowiderstandes in elektrische Impulse umgewandelt, diese durch den Transistor T 1 verstärkt und nach Verformung in der o. g. Art — die Bemessung des Kondensators C 1 ist hierfür ausschlaggebend — zur Ansteuerung des Transistors T 2 benutzt. Der Transistor T 2 ist durch entsprechende Wahl seines Arbeitspunktes so geschaltet, daß er im Ruhezustand — wenn also kein Eingangssignal wirkt — gesperrt ist. Der Arbeitspunkt wird mit R 2 eingestellt. Gelangt aber über C 1 ein negativer Impuls an die Basis des Transistors, so fließt jedesmal ein Emitterstrom (↗ Phi Üb, S. 149). Der Mittelwert des Emitterstromes ist der Pulsfrequenz und damit der Drehzahl des Meßobjektes proportional. Dieser Mittelwert wird durch einen in den Emitterkreis eingefügten Strommesser A erfaßt. Das Meßwerk nimmt bereits eine Mittelwertbildung vor, weil es — bedingt durch seine Masse — in seinem Ausschlag den Impulsen nicht schnell genug folgen kann. Trotzdem wird zur Glättung ein Kondensator parallel zum Meßwerk geschaltet. Dadurch wird die sonst entstehende Vibration vom Meßwerk ferngehalten (Vibration

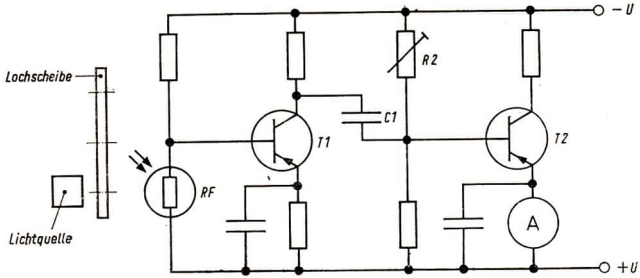


Bild 39/1: Gesamtschaltung

setzt die Lebensdauer des Meßwerkes durch Verschleiß der Lager herab). Bild 39/2 gibt eine zusammenfassende Darstellung der verschiedenen Umformungen.

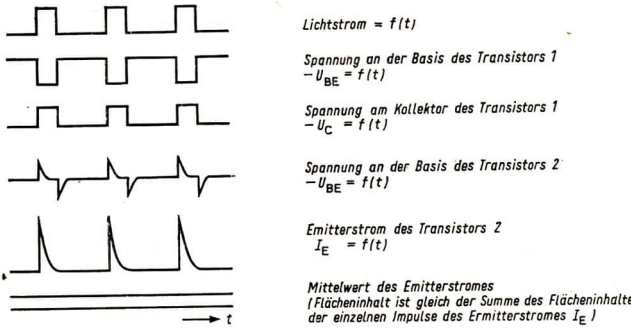


Bild 39/2: Darstellung der einzelnen Umformungen

▼ Führen Sie die Versuche E 101 und E 100 (↗ [6]) zur elektronischen Drehzahlmessung und zur Impulsfrequenzmessung durch!

Für die Anzeige, also den Ausschlag des Zeigers, ist nur die Zahl der Impulse je Zeiteinheit, also die Pulsfrequenz, maßgebend. Dem Vollausschlag des Meßinstrumentes ist demzufolge eine bestimmte Pulsfrequenz zuzuordnen. Ein großer Vorteil der elektronischen Drehzahlmessung besteht darin, daß auf einfache Weise der Meßbereich verändert werden kann. Die Scheibe muß nur mit entsprechend vielen Löchern versehen werden, so daß bei der höchsten Drehzahl Vollausschlag des Strommessers erzielt wird.

⑩ Berechnen Sie, mit wieviel Löchern die Scheibe für eine elektronische Drehzahlmessung versehen werden muß, wenn bei 100 Impulsen je Sekunde Vollausschlag vor-

handen ist, und die höchste Drehzahl eines Meßobjektes 600 min^{-1} beträgt! Welchen Winkelabstand α haben die Löcher voneinander?

Elektronische Drehzahlmessungen werden dort eingesetzt, wo eine zusätzliche Belastung des Aggregates vermieden werden muß, oder der Anbau eines Tachadynomos aus konstruktiven Gründen nicht erfolgen kann.

2.2.6. Durchflußmessung

▶ Verfahren der Durchflußmessung dienen zum Erfassen von Masseströmen ($\dot{m}$ in kg h^{-1}) bzw. von Volumenströmen ($\dot{V}$ in m^3 h^{-1}) gasförmiger oder flüssiger Stoffe.

● Wiederholen Sie die physikalischen Eigenschaften der Körper! (↗ Ph i Üb, S. 47ff.)

⑪ Durch eine Rohrleitung strömt Wasser mit einer Temperatur von $\vartheta = 200$ °C bei einem Überdruck von $p = 10$ MPa (1 kp mm^{-2}). Die Durchflußmenge beträgt 1000 kg h^{-1}, die Dichte ist $\varrho = 870$ kg m^{-3}.

a) Rechnen Sie diesen Massestrom in einen Volumenstrom um!
b) Stellen Sie eine allgemeingültige Beziehung zur Umrechnung von Massestrom in Volumenstrom auf!

Das Messen der Durchflußmenge ist in vielen Bereichen der Produktion, z. B. in Anlagen der Chemie, Energieversorgung oder Lebensmittelindustrie erforderlich.
Mit Hilfe der Durchflußmessung wird überwacht, ob die zum ordnungsgemäßen und sicheren Ablauf eines Produktionsprozesses erforderlichen Stoffströme in der richtigen Größe vorhanden sind.

■ Messung der Kühlwassermenge eines Aggregats;
Messung der Dampfmenge eines Turbo-Generators;
Messung einer Chemikalienmenge (z. B. Kalkwasserdurchflußmenge) in einer Wasserbehandlungsanlage.

Durch Aufstellen von Stoffbilanzen kann ein Urteil über die Effektivität eines Produktionsprozesses gewonnen werden. Zum anderen bildet das Messen einer Stoffmenge die Voraussetzung zur Abrechnung (Bezahlung) gegenüber den verschiedensten Verbrauchern.

■ Messung des Gasverbrauches eines Schmelzofens, der zur Produktion einer bestimmten Menge des Schmelzgutes erforderlich ist;
Messung des Gasverbrauchs im Haushalt;
Messung der Benzinmenge an der Zapfsäule einer Tankstelle.

⑫ Das Diagramm in Bild 41/1 zeigt den Verlauf der Kühlwasserdurchflußmenge eines Aggregates über einen Zeitraum von 10 Stunden.

a) Ermitteln Sie den in dem genannten Zeitraum erfolgten gesamten Wasserverbrauch!
b) Ermitteln Sie die durchschnittliche Durchflußmenge!

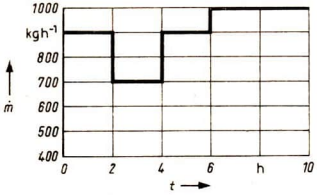


Bild 41/1: Kühlwasserdurchflußmenge eines Aggregates

2.2.6.1. Durchflußmessung mit Ovalradzähler

Das Grundprinzip dieses Verfahrens besteht darin, daß das strömende Stoffvolumen in Teilvolumina zerlegt wird. Diese werden entweder mechanisch gezählt, wodurch man das Gesamtvolumen erhält, oder die Anzahl der Teilvolumina je Zeiteinheit wird als Durchflußmenge angezeigt.

Bild 41/2 läßt die Wirkungsweise des Ovalradzählers erkennen. Zwei Ovalräder sind in einer Kammer angeordnet und durch Verzahnung in jeder Stellung formschlüssig verbunden (↗ Einteilung der Verbindungen, Tech i Üb, S. 73). Das Meßmedium durchströmt die Kammer K, wobei sich die Ovalräder durch den Druckunterschied zwischen Eintritts- und Austrittsseite drehen.
Jedes Ovalrad transportiert dabei nach jeweils einer Drehung von 180° ein abgetrenntes Teilvolumen V_T von der Eintrittsseite zur Austrittsseite.

● Erklären Sie die Bewegungsverhältnisse eines Ovalradzählers! Zeigen Sie die wirkenden Drehmomente! (↗ Drehmoment, Tech i Üb, S. 126)

Die Drehung eines der Ovalräder wird vom Meßort auf ein mechanisches Zählwerk (zum Erfassen des Gesamtvolumens) oder auf einen Drehzahlmesser (zum Erfassen des Volumenstroms) übertragen (↗ 2.2.5.).

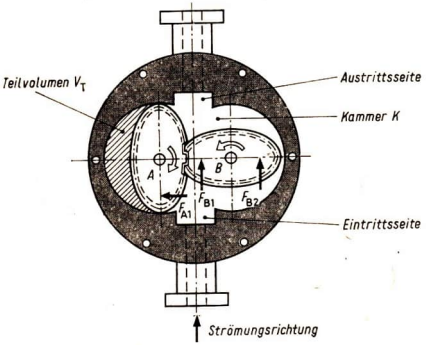


Bild 41/2: Ovalradzähler, Wirkungsweise

⑬ Das Teilvolumen V_T eines Ovalradzählers beträgt 1000 mm³.

a) Welchem Volumen entsprechen die gezählten 100000 Umdrehungen eines Ovalrades?

b) Wie groß ist das Volumen, das den Ovalradzähler in einer Stunde durchströmt, wenn die gemessene Drehzahl 1500 min^{-1} beträgt?

Ovalradzähler werden verwendet zur Durchflußmessung von Flüssigkeiten. Sie sind einsetzbar bei Temperaturen bis etwa 150 °C und Drücken bis etwa 5 MPa (0,5 kp mm^{-2}). Sie werden insbesondere dort eingesetzt, wo infolge des Zustandes des Meßmediums (z. B. durch große Zähigkeit) eine Messung unter Verwendung von Drosselgeräten (↗ 2.2.6.2.) nicht möglich ist. Ein typisches Einsatzgebiet ist z. B. die Mengenmessung von Heizöl.

2.2.6.2. Durchflußmessung mit Drosselgerät

Die Durchflußmessung erfolgt in Produktionsanlagen vorwiegend mittels Drosselgeräten. Das sind verengende Einbauten in Rohrleitungen in Form von Blenden, Düsen oder Venturidüsen (Bilder 42/1; 42/2; 42/3). Drosselgeräte werden besonders in der chemischen Industrie und in der Wärmewirtschaft zum Messen gasförmiger oder flüssiger Stoffströme (z. B. Wasser, Dampf) angewendet.

▶ Bei der Durchflußmessung mit Drosselgerät wird der Wirkdruck, d. h. der Differenzdruck vor und hinter der Querschnittsverengung als Maß für die fließende Stoffmenge ausgenutzt.

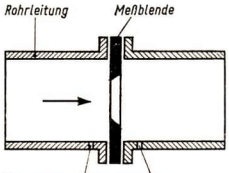


Bild 42/1: Meßblende

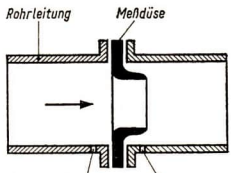


Bild 42/2: Meßdüse

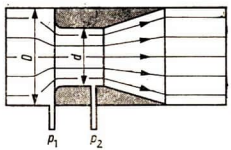


Bild 42/3: Venturidüse

- Wiederholen Sie die Zusammenhänge zwischen Strömungsgeschwindigkeit, Strömungsquerschnitt und Druck! (↗ Ph i Üb, S. 86f.)
- Beschreiben Sie Verfahren zur Messung des Differenzdrucks! (↗ 2.2.3.2.)

2.2.7. Füllstandsmessung

Die Aufgabe bei der Füllstandsmessung besteht darin, den Füllstand flüssiger oder fester Stoffe in offenen oder geschlossenen Behältern zu messen. Die Behälter können dabei unter hohem Druck, zum Teil über 10 MPa (100 kp cm^{-2}), stehen.Füllstandsmessungen erfolgen vor allem,

— um einen vorhandenen *Vorrat* zu erfassen;

Kohlevorrat im Kohlebunker,
Heizölvorrat im Heizöltank,
Wasservorrat im Tiefbrunnen,

— um im Produktionsprozeß *anfallende Stoffmengen* (Abfall-, Zwischen-, Endprodukte) zu erfassen;

Abwasser in offenem Sammelbecken,
angefallenes Kondensat (z. B. entstanden aus dem Abdampf einer Dampfturbine),

— um *technologisch vorgeschriebene* Füllstände zu überwachen.

Vorgeschriebener Wasserstand eines Dampfkessels.

Oft genügt für die Führung des Produktionsprozesses bereits die Kenntnis, daß ein Füllstand innerhalb vorgegebener Grenzen liegt, d. h. daß ein maximaler Füllstand nicht über- und ein minimaler Füllstand nicht unterschritten ist. In diesen Fällen kann oft auf eine analoge Messung verzichtet werden. Es genügt die Erfassung der Grenzwerte.

2.2.7.1. Füllstandsmessung mit Schwimmergerät

Das Verfahren ist ausschließlich für die Messung des Füllstandes von Flüssigkeiten geeignet. Physikalische Grundlage ist der statische Auftrieb, den ein Körper in einer Flüssigkeit erfährt. (↗ Statischer Auftrieb, Ph i Üb, S. 84f.)

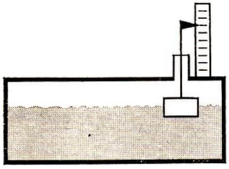


Bild 43/1: Schwimmer zur direkten Anzeige des Füllstandes

(14) Ein würfelförmiger Schwimmer für eine Füllstandsmessung hat ein Volumen von 1000 cm^3 bei einer Masse von 800 g. Zur Anzeige des Füllstandes ist ein dünner Metallstab am Schwimmer befestigt (Bild 43/1). Dieser Stab hat eine Masse von 75 g.

a) Wie weit taucht der Schwimmer in Wasser ein ($\varrho = 1000$ kg m^{-3})?
b) Ist dieser Schwimmer geeignet für Füllstandsmessungen von Vergaserkraftstoff ($\varrho = 780$ kg m^{-3})? Begründen Sie Ihre Antwort!

Bild 44/1 zeigt die Anordnung eines Schwimmergerätes an einem offenen Becken. Die Höhenlage des Schwimmers und damit der Flüssigkeitsstand wird über Seil und Rollen übertragen. Das Seil wird mit Hilfe eines Massestückes gespannt.

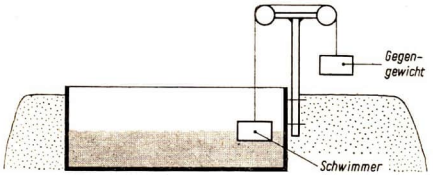


Bild 44/1: Füllstandsmessung in einem offenen Becken

- Wie groß darf die Gegenkraft durch das Massestück höchstens sein, wenn das Becken mit Wasser gefüllt ist und der Schwimmer ein Volumen von 10000 cm^3 bei einer Masse von 8 kg aufweist (die Masse des Seiles und die Reibung der Rollen sind zu vernachlässigen)?

- Muß die Masse des Schwimmers unbedingt kleiner sein als die seinem Volumen entsprechende Masse der Flüssigkeit? Begründen Sie Ihre Antwort! (Hinweis: Stellen Sie die Gleichgewichtsbedingungen für das System Schwimmer — Massestück auf!)

Die Stellung der Rollen (Bild 44/1) ist ein Maß für die Höhenlage des Schwimmers. Durch geeignete Übersetzung wird die Stellung einer Rolle z. B. auf ein Potentiometer übertragen. Damit gilt:
Stellung des Potentiometers = f(Höhenlage des Schwimmers). Der Meßwert „Füllstand" wurde somit in die physikalische Größe „elektrischer Widerstand" umgewandelt. Diese physikalische Größe ist zur Fernübertragung geeignet (↗ 2.3.).
Bei der Füllstandsmessung mit Schwimmergeräten in unter Druck stehenden Behältern muß die Höhenlage des Schwimmers druckdicht nach außen übertragen werden. Eine Möglichkeit hierzu bildet die Verwendung eines Torsionsrohres (↗ Torsion, Tech i Üb, S. 126).

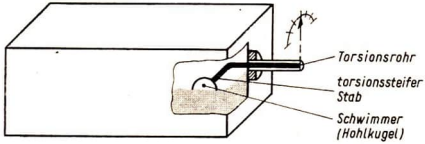


Bild 44/2: Druckdichte Füllstandsmessung mittels Torsionsrohr

Bild 44/2 zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Füllstandsmessung mit Torsionsrohr. Der torsionssteife Stab besitzt einen hohen Widerstand gegenüber Torsion. Das Torsionsrohr ist dagegen so bemessen und vom Werkstoff her ausgewählt, daß es sich relativ leicht verdrehen läßt. Die Lage des Schwimmers wird so nach außen übertragen. In Bild 44/2 kommt das durch die Zeigerstellung zum Ausdruck. Eine Übertragung auf ein Potentiometer oder auf Schaltkontakte ist konstruktiv möglich.

- Überlegen Sie, wie eine solche Lösung konstruktiv gestaltet werden kann!

2.2.7.2. Füllstandsmessung durch Druckmessung

▶ Der Füllstand eines Behälters kann durch die Messung des Schweredruckes der in ihm enthaltenen Flüssigkeit bestimmt werden.

● Stellen Sie alle Größen zusammen, von denen der Schweredruck abhängig ist!

● Welchen Einfluß übt die Temperatur der Flüssigkeit aus? (↗ Ph i Üb, S. 81 f.)

Für die Füllstandsmessung an Behältern ohne Überdruck kann jedes Druckmeßgerät mit entsprechendem Meßbereich verwendet werden (↗ 2.2.3.). Die Skale wird dabei in Längeneinheiten — zumeist in m — geeicht. Beachtet werden muß, daß das Druckmeßgerät genau in Höhe der Behälterunterkante angebracht wird, da sonst Meßfehler entstehen.

⑮ Wie groß ist der Meßfehler, wenn das Druckmeßgerät versehentlich 20 cm zu tief angeordnet wurde? (Wasser als Medium)

● Sind derartige Meßfehler durch Berücksichtigung bei der Eichung der Skale zu korrigieren? Überlegen Sie, ob der auftretende absolute Fehler von der Höhe des Füllstandes abhängt!

Vielfach stehen Behälter, deren Füllstand gemessen werden soll, zusätzlich unter einem statischen Druck (↗ statischer Druck, Ph i Üb, S. 86f.).

■ Behälter, in denen Wasser zur Speisung von Dampfkesseln gespeichert wird, stehen unter Dampfdruck. Durch das „Dampfpolster" wird verhindert, daß das Wasser mit Luft in Berührung kommt. Dadurch können Sauerstoff sowie andere Gasbestandteile

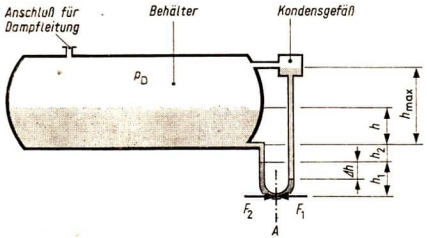


Bild 45/1: Druckdichte Füllstandsmessung mittels Differenzdruckmanometer

der Luft nicht in das Wasser eindringen. Die Korrosion des Behälters wird verhindert. Bei unter Druck stehenden Behältern kann die Füllstandsmessung durch eine Differenzdruckmessung vorgenommen werden (↗ 2.2.3.2.). Bild 45/1 zeigt eine mögliche Meßanordnung. Der rechte Schenkel des U-Rohr-Manometers ist über eine Leitung mit dem Dampfraum des Behälters verbunden. An der obersten Stelle ist ein sogenanntes „Kondensgefäß" angeordnet. Durch den im Kondensgefäß kondensierenden Dampf ist über dem rechten Schenkel des U-Rohres stets eine in ihrer Länge konstante Flüssigkeitssäule.

● Erklären Sie die Notwendigkeit, die Verbindungsleitung Differenzdruckmeßgerät — Dampfraum mit Kondensat zu füllen? (Bild 45/1)

2.2.7.3. Füllstandsmessung mit elektrischer Meßkette

▶ Grundlage der Füllstandsmessung mit elektrischer Meßkette bildet die elektrische Leitfähigkeit von Flüssigkeiten.

● Erklären Sie die Leitungsvorgänge in Flüssigkeiten! (↗ Ph i Üb, S. 142; Ch i Üb, S. 58)

Chemisch reines Wasser leitet den elektrischen Strom praktisch nicht. Es ist aber zu berücksichtigen, daß Wasser in dieser reinen Form nur in Ausnahmefällen vorliegt. Im allgemeinen sind im Wasser Salze in gelöster Form, also dissoziiert, enthalten. Dadurch ist die elektrische Leitfähigkeit des Wassers gegeben.

▼ Untersuchen Sie die Schaltung einer Füllstandsmessung! (↗ [6], E 106)
Werten Sie den Versuch aus, indem Sie in einem Diagramm den Lampenstrom über der Füllstandshöhe darstellen!
Dieses Diagramm zeigt, daß nach der angewendeten Versuchsschaltung nur unterschieden werden kann zwischen „Füllstand" < „Grenzwert" — und „Füllstand" > „Grenzwert".

Durch Verwendung einer Meßkette kann der Füllstand eines Behälters exakt beurteilt werden (Bild 46/1).

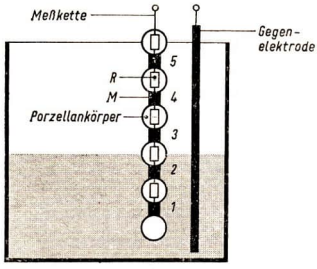


Bild 46/1: Füllstandsmessung mit Meßkette, Aufbau

Die Einzelwiderstände R sind in einem Porzellankörper eingegossen. Die Anschlüsse werden durch relativ breite Metallstreifen M aus gut leitfähigem und korrosionsunempfindlichem Material gebildet. Parallel zur Meßkette ist in geringem Abstand eine Gegenelektrode angeordnet. Je nach Flüssigkeitsstand wird eine leitende Verbindung zwischen den entsprechenden Metallstreifen und der Gegenelektrode infolge der Leitfähigkeit des Wassers hergestellt (Bild 47/1).
Der durch das Wasser bewirkte „Schaltvorgang" ist symbolisch durch die Kombination SW dargestellt. Die durch die entsprechend dem Füllstand hergestellte leitende

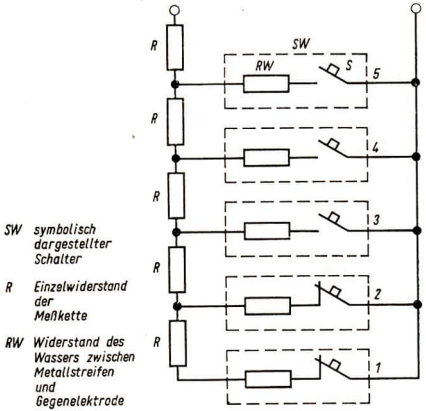


Bild 47/1: Füllstandsmeßkette, Ersatzschaltbild

Verbindung zwischen den Metallstreifen M und der Gegenelektrode wird durch den Schalter S charakterisiert. RW ist dabei der elektrische Widerstand des Wassers zwischen Metallstreifen und Gegenelektrode.

▼ Untersuchen Sie das quantitative Verhalten einer Füllstandsmeßkette!

Benötigte Bauelemente und Geräte

1 Spannungsquelle 24 V —
1 Vielfachmeßinstrument (z. B. UNI 4)
5 1-polige Schalter
5 Widerstände 10 kΩ; 0,25 W
5 Widerstände 2 kΩ; 0,25 W

Versuchsdurchführung

— Bauen Sie die Schaltung nach Bild 48/1 auf!
— Stellen Sie am Meßinstrument einen Strommeßbereich von 6 mA ein!
— Betätigen Sie Schalter S1 und lesen Sie die Stromstärke ab!
— Verfahren Sie in gleicher Weise nacheinander mit den Schaltern S2 bis S5 (Hinweis: Die Schalter mit niedrigerem Index sind stets zu schließen; z. B. müssen vor Betätigung von S4 S1 bis S3 geschlossen sein)

Versuchsauswertung

— Zeichnen Sie ein Diagramm $I = f$ (Füllstand)! Treffen Sie hierzu folgende Annahmen:

S1 geschlossen $\triangleq$ 20 cm $>$ Füllstand $\geq$ 10 cm
S2 geschlossen $\triangleq$ 30 cm $>$ Füllstand $\geq$ 20 cm

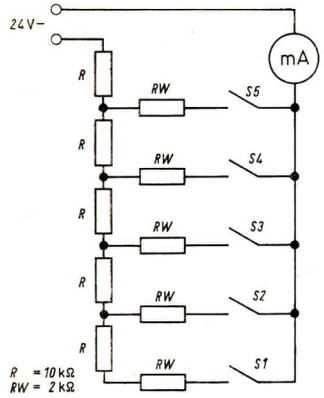


Bild 48/1: Füllstandsmeßkette, Versuchsschaltung

S3 geschlossen $\triangleq$ 40 cm $>$ Füllstand $\geq$ 30 cm
S4 geschlossen $\triangleq$ 50 cm $>$ Füllstand $\geq$ 40 cm
S5 geschlossen $\triangleq$ 60 cm $>$ Füllstand $\geq$ 50 cm

S1 geöffnet $\triangleq$ 0 $\leq$ Füllstand $<$ 10 cm
S2 geöffnet $\triangleq$ 10 cm $\leq$ Füllstand $<$ 20 cm
S3 geöffnet $\triangleq$ 20 cm $\leq$ Füllstand $<$ 30 cm
S4 geöffnet $\triangleq$ 30 cm $\leq$ Füllstand $<$ 40 cm
S5 geöffnet $\triangleq$ 40 cm $\leq$ Füllstand $<$ 50 cm!

— Wie groß ist der maximal auftretende Meßfehler unter den genannten Bedingungen?

2.2.8. Analysenmessung

▶ Durch Analysenmessungen wird der physikalisch-chemische Zustand eines Stoffes oder Stoffgemisches bestimmt.

Die Notwendigkeit solcher Messungen ergibt sich aus verschiedenen Gesichtspunkten:

— Vermeiden der Überschreitung zulässiger Grenzwerte, die zu einer totalen Zerstörung der Anlage führen können;

■ In sogenannten Feuergasanlagen (das sind Anlagen, in denen Rohbraunkohle durch heiße Rauchgase getrocknet wird) darf der Sauerstoffgehalt der Rauchgase einen vorgegebenen Wert nicht überschreiten, da sonst die getrocknete Braunkohle explodieren kann.

— Vermeiden von Überschreitungen zulässiger Grenzwerte, die zu einer Schädigung von Anlagen oder Anlageteilen führen.

■ Das Speisewasser, das den Kesseln eines Kraftwerkes zugeführt wird, darf nur eine bestimmte Konzentration an gelösten Salzen enthalten. Es besteht sonst die Gefahr, daß sich das Salz über den Dampf an den Schaufeln der angeschlossenen Turbinen absetzt. Dieser Vorgang wird als „Versalzen" bezeichnet und führt zu Schäden der betroffenen Anlagen.

— Notwendigkeit, vorgegebene Analysenwerte einzuhalten, um ein ökonomisches Optimum in der Führung der Produktionsanlage zu erzielen.

■ Bei Verbrennungsvorgängen in Dampfkesseln ist die zur Verbrennung zuzuführende Luft so zu bemessen, daß die Verbrennung wirtschaftlich erfolgt. Einerseits muß dabei genügend Luft zugeführt werden, um den Brennstoff möglichst vollständig zu oxydieren. Andererseits soll die zugeführte Luftmenge aber auch nicht größer als erforderlich sein. Unnötig zugeführte Luft wird zwangsweise mit erhitzt, und es tritt ein zusätzlicher Energieverlust auf.

In zunehmendem Maße werden die Analysenmessungen mit Geräten der BMSR-Technik durchgeführt. Das hat gegenüber der labormäßigen Analysenbestimmung den Vorteil, daß die Meßergebnisse kontinuierlich und praktisch ohne zeitliche Verzögerung zur Verfügung stehen.
Wichtige Analysenmessungen erfassen die Konzentration von Gasanteilen in Gasgemischen, von Säuren oder Basen (pH-Wert) sowie Konzentration von Salzen in Flüssigkeiten (Salzgehalt).

2.2.8.1. Salzgehaltmessung

▶ Bei der Salzgehaltmessung wird der funktionelle Zusammenhang zwischen der Konzentration von in Wasser gelösten Salzen und der Leitfähigkeit einer solchen Lösung ausgenutzt. (↗ Ch i Üb, S. 56; Ph i Üb, S. 142)

Die spezifische elektrische Leitfähigkeit χ eines Stoffes ist als der reziproke Wert des spezifischen elektrischen Widerstandes ϱ definiert:

$$\chi = \frac{1}{\varrho}.$$

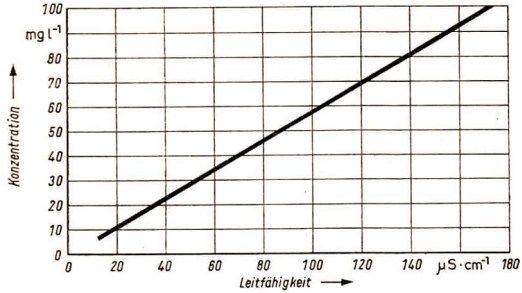


Bild 49/1: Leitfähigkeit einer Kochsalzlösung als Funktion der Konzentration

● Wiederholen Sie die Zusammenhänge zum spezifischen elektrischen Widerstand! (↗ Ph i Üb, S. 121 f.)

● Vergleichen Sie die spezifische elektrische Leitfähigkeit von Leiterwerkstoffen! (↗ Tech i Üb, S. 176)

Für geringe Konzentrationen besteht zwischen der Konzentration und der Leitfähigkeit eines Elektrolyten ein linearer Zusammenhang (Bild 49/1).

▼ Ermitteln Sie die quantitativen Zusammenhänge zwischen der Leitfähigkeit und der Konzentration eines Elektrolyten!

Benötigte Geräte und Materialien

1 Spannungsquelle 24 V ~
1 Glasgefäß (Abmessungen etwa 200 × 100 × 50) mit reinem (destilliertem) Wasser
1 Meßbecher (0,5 l)
1 Reagenzglas mit cm³-Teilung
1 Waage (zu wägende Masse: 5 g)
1 Gefäß mit 1 l Fassungsvermögen
1 Vielfach-Meßinstrument
1 Alu-Folie (etwa 100 × 100)
1 Widerstand 240 Ω; 3 W
10 g Kochsalz

Versuchsdurchführung

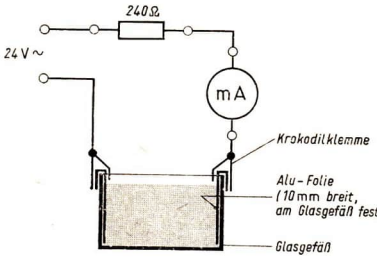


Bild 50/1: Leitfähigkeitsmessung, Versuchsaufbau

– Bauen Sie die Versuchsschaltung nach Bild 50/1 auf!
– Schalten Sie das Meßgerät auf den Meßbereich 150 mA ~!
– Messen Sie den fließenden Strom!
  Schalten Sie dazu das Meßinstrument auf einen für die Ablesung brauchbaren Meßbereich! (Hinweis: Nach Ablesen wieder auf den Meßbereich 150 mA ~ schalten!)
– Lösen Sie 5 g Kochsalz in 1 l Wasser auf!
– Geben Sie jeweils 2 cm³ der aufbereiteten Kochsalzlösung bis zu einem Gesamtvolumen von 10 cm³ in den Meßbecher! Messen Sie bei der jeweiligen Konzentrationsstufe den fließenden Strom!

Versuchsauswertung

- Stellen Sie den Zusammenhang zwischen dem Volumen der zugesetzten Kochsalzlösung und dem fließenden elektrischen Strom grafisch dar!
- Berechnen Sie die Konzentration der Lösung für die jeweiligen Meßpunkte!

Die Leitfähigkeit einer Flüssigkeit wird durch die Gesamtheit der in ihr enthaltenen Ionen bestimmt. Aus diesem Grunde kann die Skale des Anzeigeinstrumentes nur dann direkt in Konzentration (z. B. mg l^{-1} NaCl) geeicht werden, wenn sichergestellt ist, daß keine anderen Komponenten enthalten sind.

2.3. Meßwertübertragung

Zur Führung einer Vielzahl von Produktionsprozessen ist es erforderlich, die erfaßten Meßwerte vom Meßort zu entfernter liegenden zentralen Stellen zu übertragen. Erst dort erfolgt die Meßwertverarbeitung (↗ 2.4.). Solche Stellen sind Leitstände und Warten, von denen aus die technologischen Anlagen meßtechnisch überwacht werden, aber auch zentral angeordnete Einrichtungen für automatische Steuerungen und Regelungen, in denen die Meßwerte weiter verarbeitet werden. Die Meßwertübertragung kann hierbei grundsätzlich auf drei verschiedene Arten erfolgen (Übersicht 51/1):

Direkte Übertragung der Meßwerte· Diese Übertragungsart ist dadurch gekennzeichnet, daß der Meßwert ohne jede Umwandlung übertragen wird.

■ Direkte Übertragung eines Druckes

Übertragung der Meßwerte durch „natürliche Signale"· Es werden die aus einer Meßwertumwandlung direkt entstandenen Signale übertragen.

■ Thermospannung eines Thermoelementes bei der Temperaturmessung.

Merkmal	Meßwertübertragung		
	direkt	durch natürliches Signal	durch Einheitssignal
relative Kosten	gering	mittel	hoch
Geräteeinsatz	unterschiedlich	unterschiedlich	einheitlich
relative Übertragungsentfernung	gering	mittel	groß
ohne Einschränkung anwendbar	nein	ja	ja
Möglichkeit der Meßwertverarbeitung in Steuer- und Regelungsanlagen	nein	teilweise	ja

Übersicht 51/1: Auswahlkriterien zur Meßwertübertragung

Übertragung der Meßwerte durch „Einheitssignale"· Die Meßwertumwandlung erfolgt so, daß die Übertragung der Meßwerte stets durch Signale in einem festgeleg-

ten Bereich erfolgt. Die Meßwertübertragung durch Einheitssignale wird zunehmend angewendet.

■ Übertragung mit Einheitssignal 0 V bis 10 V. Gemessen werde die Temperatur eines Mediums. Der Meßbereich sei 0 °C bis 60 °C. Die Meßwertumwandlung erfolgt nach folgender Beziehung:

$$U = \frac{10\ \text{V}}{60\ °\text{C}} \cdot \vartheta\ .$$

⑯ Welche Spannung hat das Einheitssignal dieses Beispiels bei $\vartheta = 15\ °\text{C}$?

● Begründen Sie die zunehmende Anwendung der Meßwertübertragung durch Einheitssignale!
(↗ Übersicht 51/1)

2.3.1. Direkte Meßwertübertragung

▶ **Merkmal der direkten Übertragung von Meßwerten ist, daß die erfaßten Meßwerte ohne jede Umwandlung — also direkt — übertragen werden.**

Das setzt notwendigerweise voraus, daß der Meßwert zur direkten Übertragung geeignet ist. Außerdem ist zu beachten, daß die zur Meßwertübertragung benötigte Energie vom Meßobjekt aufgebracht werden muß (Bilder 12/1 ; 52/1 ; 52/2).

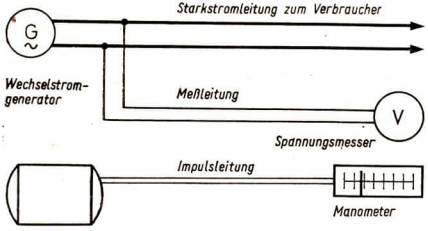


Bild 52/1: Direkte Übertragung des Meßwertes „Spannung"

Bild 52/2: Direkte Übertragung des Meßwertes „Druck"

Die direkte Übertragung von Meßwerten hat praktisch nur noch zwei Anwendungsbereiche :

- für kleine Anlagen mit geringem Umfang an Meßeinrichtungen, in denen die Meßwerte nur über sehr geringe Entfernungen übertragen werden (Richtwert: einige Meter);
- für große Anlagen, in denen die Meßwertwandler in der Nähe der technologischen Anlagen zentral angeordnet werden und von dieser Stelle aus eine Fernübertragung (meist elektrisch) zur Warte erfolgt.

2.3.2. Meßwertübertragung durch „natürliche Signale"

▶ Bei dieser Übertragungsart werden Signale übertragen, die direkt aus einer Meßwertumwandlung hervorgehen.

Diese Übertragungsart wird vorwiegend dort angewendet, wo durch eine notwendige Meßwertumwandlung eine zur Übertragung geeignete physikalische Größe gebildet werden muß.

■ Die Temperatur eines Mediums kann selbst über geringe Entfernungen nicht direkt übertragen werden (↗ 2.2.4.). Das ist nur nach erfolgter Meßwertumwandlung möglich. Ein Beispiel hierfür ist die Umwandlung der Meßgröße „Temperatur" in die physikalische Größe „Spannung" mittels Thermoelement (↗ 2.2.4.3.) und die Umwandlung der Meßgröße „Temperatur" in die physikalische Größe „elektrischer Widerstand" mittels Widerstandsthermometer (↗ 2.2.4.2.). Solche physikalischen Größen werden als Signalträger bezeichnet (↗ Signal, 6.1.; [10], S. 37).
Diese Übertragungsart wird weiterhin dort angewendet, wo eine direkte Übertragung der Meßwerte aus arbeitsschutztechnischer Sicht ausscheidet.

■ Messung einer hohen Wechselspannung (z.B. > 1 kV) (Bild 53/1: Durch Einsatz eines Spannungswandlers (↗ Spannungswandler, 2.2.2.; [10] S. 85) wird die zu messende Spannung auf Werte transformiert, die zur Übertragung geeignet sind. Im allgemeinen werden die Wandler dabei so bemessen, daß bei maximaler Primärspannung 100 V Sekundärspannung anliegen.

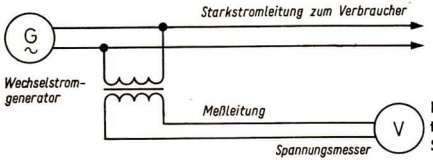


Bild 53/1: Meßwertübertragung unter Einsatz eines Spannungswandlers

Die Gefährdung des Menschen an der Anlage wird wesentlich verringert, da die Größe der übertragenen Spannung nun nur noch 100 V beträgt. Außerdem ist der erforderliche Aufwand an Isolation geringer. Das macht sich besonders bei Übertragungsleitungen bemerkbar.

● Erklären Sie die Wirkungsweise der Spannungsübersetzung am Transformator! (↗ Ph i Üb, S. 187)

Die Meßwertübertragung mittels „natürlicher Signale" wird schließlich auch dort angewendet, wo aus ökonomischen Gründen eine bestimmte Signalart für die Übertragung der Meßwerte zweckmäßig ist.

■ Eine Übertragung über Entfernungen von 100 m und mehr ist elektrisch einfacher und billiger zu gestalten als z.B. durch Verlegung von Impulsleitungen (mechanische Leitungen) für Druckmessungen. In diesen Fällen können an Manometer sogenannte Widerstandsferngeber angebaut werden. Das sind kleine Potentiometer, mit denen

der Zeigerausschlag des Manometers in eine Widerstandsänderung (genauer: Änderung des Verhältnisses der Teilwiderstände) umgesetzt wird (Bilder 54/1; 54/2).

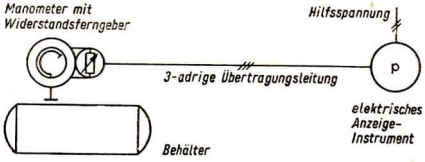


Bild 54/1: Fernübertragung einer Druckmessung, schematische Darstellung nach TGL 14091/02

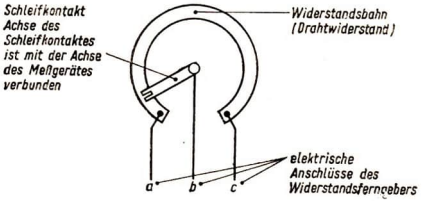


Bild 54/2: Widerstandsferngeber

● Wiederholen Sie die Zusammenhänge einer Temperaturmessung mit Widerstandsthermometer (Bild 29/1) und versuchen Sie, eine zweckmäßige Brückenschaltung zu entwerfen!

2.3.3. Meßwertübertragung durch Einheitssignale

Einheitssignale haben einen normierten Signalbereich (↗Signalbereich, [10], S. 84). Es ist dadurch möglich, die verschiedensten Bausteine eines Baukastensystems zusammenzuschalten. Ein solches Baukastensystem ist auch das System „*ursamat*", das in der DDR auf der Grundlage des international abgestimmten „Universellen internationalen Systems für die automatische Überwachung, Regelung und Steuerung" (URS) entwickelt wurde (↗S. 8).

Signalbereiche für den elektrischen Zweig dieses Systems (*ursamat*) sind 0 mA bis 5 mA und 0 mA bis 20 mA für Stromsignale sowie −10 V bis +10 V für Spannungssignale. Zur Herstellung von Einheitssignalen muß die Meßwertumwandlung entsprechend erfolgen. Die dazu entwickelten Meßwertwandler werden Transmitter genannt. Bild 55/1 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Transmitters für die Eingangsgröße „Druck" und die Ausgangsgröße „Einheitssignal Strom".

Auf den Hebel L wirken die Kräfte F_1 und F_2. Die Spule Sp ist mit dem Hebel L fest verbunden. Sie ist so angeschlossen, daß sie mit größer werdendem Strom von dem Dauermagneten M immer kräftiger abgestoßen wird. Der Verstärker V ist in seinem Zusammenwirken mit dem induktiven Geber G so geschaltet, daß mit Verringerung des Luftspaltes dieses Gebers der Ausgangsstrom des Verstärkers ansteigt. Der Ausgangsstrom fließt in Reihe über die Spule Sp und das Anzeigeinstrument I.

Stellen Sie die Gleichgewichtsbedingungen für den beschriebenen Transmitter auf! Welchen Einfluß hat der Widerstand des Meßinstrumentes I auf das Gleichgewicht? (Hinweis: Die von der Spule Sp ausgeübte Kraft ist dem Strom, der sie durchfließt, proportional.)

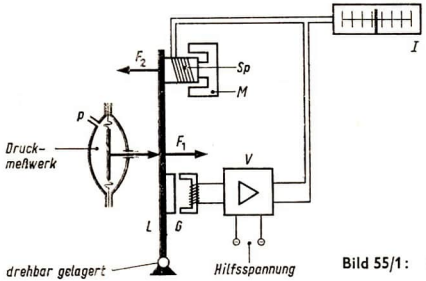


Bild 55/1: Druck-Transmitter, Aufbau

2.4. Meßwertverarbeitung

Die Bedeutung eines gewonnenen Meßwertes besteht in seiner weiteren Verarbeitung. Hierbei sind zwei Komplexe zu sehen:

- Verarbeiten von Meßwerten zur direkten Information; hierunter fallen alle Informationen, die das Bedienungspersonal zum Fahren der Anlage benötigt;
- Verarbeiten von Meßwerten in Einrichtungen und Anlagen zur automatischen Steuerung und Regelung.

Die Form der Meßwertverarbeitung wird in Abhängigkeit von der konkreten technischen Aufgabenstellung gewählt.

Die Meßwertverarbeitung ist dabei in Verbindung mit der Funktion der anderen BMSR-Einrichtungen zu sehen (↗ 1., 2.1.).

Die Kennzeichnung von BMSR-Einrichtungen in schematischen Darstellungen technologischer Prozesse zeigt folgende Übersicht (↗ TGL 14091/01):

Lfd. Nr.	Benennung	Kennzeichen	Beispiel
1	Anzeige (*indikation*)	I	Skale mit Zeiger
2	Registrierung (*record*)	R	Schreibgerät
3	Zählung (*count*)	S	Zähler, Zählwerk
4	Regelung (*automatic control*)	C	Regeleinrichtung
5	Grenzwertsignalisierung Alarm (*alarm*)	A	Hupe
6	Noteingriff (*emergency trip action*)	E	selbsttätige Abschaltung

2.4.1. Meßwertverarbeitung zur direkten Information

▶ Die Meßwertverarbeitung zur direkten Information umfaßt die Anzeige, Registrierung bzw. Zählung von Meßwerten sowie die Grenzwertsignalisierung.

Die einfachste Art ist die **Meßwertanzeige**. Mit Ausnahme sehr kleiner Anlagen sowie einzelner ausschließlich örtlich (also ohne Fernübertragung) angebrachter Anzeigen (z. B. zum Ablesen von Meßwerten bei Kontrollgängen) werden die Anzeige-Instrumente konzentriert — zumeist in Warten — angeordnet. Überwiegend werden dabei Anzeigeinstrumente des Systems Ursamat eingesetzt. Eingangsgrößen für diese Instrumente sind zumeist Einheitssignale.
Neben der Kenntnis des jeweiligen Meßwertes ist oft dessen zeitlicher Verlauf von Bedeutung. Um diesen zu *registrieren*, werden schreibende Geräte verwendet. In Mehrfarbenschreibern wird eine Papierrolle durch einen kleinen Synchronmotor langsam abgewickelt (Richtwert für Abwickelgeschwindigkeit: 20 mm h^{-1} bis 120 mm h^{-1}). Die Rolle ist mit einer der Skale des Gerätes entsprechenden Teilung bedruckt. Der Zeiger des Meßwerkes besitzt eine Spitze und wird periodisch gegen die Rolle gedrückt. Zwischen Rolle und Zeiger ist dabei ein Farbband angebracht. Auf diese Weise entstehen auf der Rolle farbige Punkte, die den jeweiligen Meßwert markieren. Zur besseren Ausnutzung des Gerätes und zur Platzeinsparung auf den Wartentafeln können mit dem Gerät mehrere Meßstellen gleichzeitig erfaßt werden. Durch eine Umschaltvorrichtung können die entsprechenden Meßwerte nacheinander abgebildet werden. Das Farbband ist mehrfarbig und wird mechanisch bei jeder Umschaltung mit verschoben, so daß jeder Meßstelle die gleiche Farbe zugeordnet ist.

Zählungen werden zu Bilanzierungen und Abrechnungen sowie auch zur Planung von Wartungsarbeiten (Betriebsstundenzählungen) eingesetzt. Allgemein bekannt sind Zähler für Elektroenergieverbrauch und solche für Gasverbrauch. Es kommen hierfür je nach der Art des vorliegenden Meßwertes verschiedene Verfahren in Betracht.
Bei dem Ovalradzähler nach Bild 41/2 entspricht eine Umdrehung der Ovalräder einem bestimmten Volumen. Zur Bestimmung des gesamten durchgesetzten Volumens sind lediglich die Umdrehungen durch ein mechanisches Zählwerk zu erfassen (↗ 2.2.6.1.).
Um die vorbeugende Instandhaltung von Maschinen planen zu können, ist die Kenntnis der Betriebsstundenanzahl von Bedeutung. Dafür werden Betriebsstundenzähler eingesetzt. Ihre Wirkungsweise besteht darin, daß beim Einschalten des Antriebsmotors der Maschine ein kleiner Synchronmotor mit eingeschaltet wird. Dieser kleine Motor treibt über ein Getriebe ein mechanisches Zählwerk an. Das Zählwerk zeigt die Betriebsstunden digital an.

Eine **Grenzwertsignalisierung** wird überall dort vorgenommen, wo das Bedienungspersonal auf das Über- oder Unterschreiten vorgegebener Parameter automatisch hingewiesen werden muß. Dieser Hinweis erfolgt durch optische und akustische Signalgabe (Blinklicht bzw. Hupe). Eine Grenzwertsignalisierung erfolgt *zusätzlich* zur Meßwertanzeige, wenn aus technologischen Gründen vorgegebene Werte nicht unter- oder überschritten werden dürfen und der konkrete Meßwert unabhängig von einer Grenzwertüberschreitung Bedeutung besitzt.

■ Die Unterschreitung eines erforderlichen Lageröldruckes führt zu Schäden am Aggregat. Der Lageröldruck gibt darüber hinaus den Zustand der Ölversorgung wieder. Eine Grenzwertsignalisierung erfolgt *ohne* analoge oder digitale Meßwertanzeige, wenn eine Prozeßgröße einen vorgegebenen Bereich nicht über- oder unterschreiten darf, ihr Wert aber innerhalb dieses Bereiches praktisch ohne Bedeutung ist.

Die Grenzwerte können auf unterschiedliche Weise erfaßt werden:

— Durch geeignete Meßeinrichtungen wird der Grenzwert direkt erfaßt, d. h. die Bildung des Grenzwertes erfolgt durch ein spezielles Meßverfahren, mit dem *nur* die Grenzwerte erfaßt werden.

■ Erfassen der Grenzwerte von Wasserständen, indem Elektroden zur Kontaktgabe in den Grenzwerten entsprechender Höhe angeordnet werden.

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise der Schaltung einer elektronischen Pegelanzeige! (↗ [6], E 107)

— Die Grenzwertbildung erfolgt durch Vergleich der Größe eines übertragenen Signals mit einem vorgegebenen Wert.

■ Eine Temperatur wird mit Widerstandsthermometer gemessen und in ein Einheitssignal 0 mA bis 20 mA umgewandelt. Der Grenzwert der Temperatur kann hierbei als Grenzwert des Einheitssignales ausgedrückt werden.

⑰ Der Temperaturmeßbereich des oben genannten Beispieles sei 0 °C bis 200 °C. Der obere Grenzwert ist mit 185 °C vorgegeben. Wie groß ist der Wert des zugehörigen Einheitssignales? (↗ 2.3.)

Zum Erfassen von Grenzwerten sind geeignete *Grenzwertschalter* erforderlich. Ein solcher Schalter ist auch der *Schmitt-Trigger*.

● Erklären Sie die Wirkungsweise von Grenzwertschaltern für Wege und Winkel, für Temperaturen und für Füllstände! (↗ [3], S. 107 ff.)

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise eines *Schmitt-Trigger*! (↗ [6], E 64)

Zeitlicher Ablauf	Ereignis	Zustand nach Ereignis	
		optisches Signal	akustisches Signal
↓	Grenzwert nicht erreicht	0	0
	Grenzwert überschritten	0/L	L
	akustisches Signal quittiert	0/L	0
	optisches Signal quittiert	L	0
	Grenzwert nicht mehr überschritten	0	0

Übersicht 57/1: Schema einer Signalordnung

In einer Anlage sind oft zahlreiche Grenzwertsignalisierungen erforderlich. Eine Reihe von Grenzwerten wird dabei häufig erreicht. Für das Bedienungspersonal muß deutlich werden, wenn ein Grenzwert *neu* hinzugekommen ist, und welcher Grenz-

wert das ist. Die Bezeichnung hierfür lautet *Neuwertsignalisation*. Als Lösung hat sich allgemein folgende Signalordnung bewährt (Übersicht 57/1);
Bei Auftreten eines *Neuwertes* erfolgt akustische und optische Signalisierung (Hupe, Blinklicht). Jedem Grenzwert ist dabei ein gesondertes Signal zugeordnet. Die Meßtafeln enthalten genau die Anzahl von Signallampen wie Grenzwertsignalisierungen vorgesehen sind. Es werden für jeweils ganze Signal*gruppen* (eine Gruppe umfaßt dabei z. T. bis zu hundert Signale) zwei Quittiertaster angeordnet. Ein Quittiertaster dient dem Abstellen des akustischen Signals. Der zweite Quittiertaster ist für das optische Signal. Bei seiner Betätigung geht das Blinklicht in ein Dauerlicht über. Das Dauerlicht verlischt, wenn der Grenzwert unterschritten wird.
Bei Störungen in technologischen Anlagen tritt häufig eine Reihe von verschiedenen Grenzwertüberschreitungen in sehr kurzen Zeitabständen nacheinander auf. Zur Ermittlung der Störungsursache muß man wissen, welcher Grenzwert als erster überschritten wurde. Die entsprechende Signalgabe hierfür wird als *Erstwertsignalisierung* bezeichnet. Erstwertsignalanlagen sind so gestaltet, daß nach Einlaufen des ersten Signales die nachfolgend einlaufenden Signale gesperrt werden, d. h., diese werden nicht mehr signalisiert. Bild 58/1 zeigt eine Schaltung zur Erstwertsignalisierung bei zwei zur Auswahl stehenden Signalen.

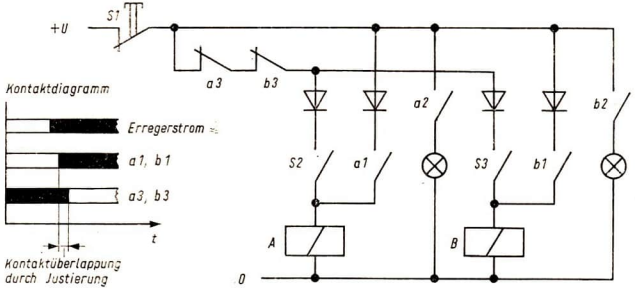


Bild 58/1: Erstwertsignalisierung (S 1 Löschtaster; S2, S3 Grenzwertschalter)

- Begründen Sie, warum auch nach etwaigem Rückgang des Grenzwertes die Signalgabe bei einer Erstwertsignalisierung erhalten bleiben muß!
- Ergänzen Sie die Schaltung nach Bild 58/1 für drei zur Auswahl stehende Signale!

2.4.2. Meßwertverarbeitung in Anlagen zur automatischen Steuerung und Regelung

In Anlagen zur automatischen Steuerung und Regelung technologischer Prozesse werden die erfaßten und übertragenen Meßwerte im Hinblick auf einzuhaltende Prozeßparameter verglichen. Auf dieser Grundlage wird der technologische Prozeß automatisch beeinflußt (↗ 3.; 4.).

3. Steuerungstechnik

▶ Die Steuerungstechnik realisiert technisch die Steuerung der verschiedenen technologischen Prozesse. Die Steuerung kann dabei von Hand (durch den Menschen) oder auch automatisch (selbsttätig) erfolgen. (↗ Steuerung, 3.1.; Tech i Üb, S. 143)

Aufgabenbereiche für Einrichtungen der Steuerungstechnik sind im besonderen: (↗ 1.)

Entlastung des Menschen von schwerer körperlicher Arbeit. Statt körperlich schwerer Arbeit werden vom Menschen mechanisierte Einrichtungen gesteuert (↗ Mechanisierung, Tech i Üb, S. 277).

■ Zum Öffnen und Schließen großer Absperrarmaturen (Ventile, Schieber), die der Mensch nur mit großer Kraftanstrengung betätigen kann, werden elektrische Hilfsantriebe, eingesetzt. Der Mensch betätigt die Hilfsantriebe mittels Steuerungen. Dabei ist eine Hilfsenergie erforderlich.

Schutz des Menschen vor gefährlichen Umgebungsbedingungen. Mechanische Anlagen oder Anlagenteile, deren Umgebung für den Menschen unzumutbar ist, werden mit Hilfsantrieben ausgerüstet, die durch Fernbedienung gesteuert werden. Unzumutbare Umgebungsbedingungen sind z. B. Hitze, Lärm, Kernstrahlung.

Schutz der Anlage durch Verriegelungen. In Steuerschaltungen werden Logikschaltungen genutzt, die die Herstellung unzulässiger Schaltzustände bzw. Betriebszustände sperren und damit Schaden für die Anlage verhindern.

■ Eine Maschine darf nicht eingeschaltet werden, wenn die Kühlwasserversorgung nicht gewährleistet ist.

Rationalisierung der Produktion durch automatische Steuerungen. Eine Reihe aufeinanderfolgender Arbeitsgänge wird automatisch gesteuert.

3.1. Begriffe der Steuerungstechnik

Wesentliche Begriffe der Steuerungstechnik sind einheitlich festgelegt (↗ TGL 14591) und werden im folgenden erläutert.

▶ Steuerungen sind technische Vorgänge in abgegrenzten Systemen, bei denen die Werte physikalischer oder technischer Größen auf Grund eingebauter Gesetzmäßigkeiten in beabsichtigter Weise beeinflußt werden. Charakteristisch für das Steuern im Gegensatz zum Regeln (↗ 4.1.) ist, daß der Wirkungsweg der Steuerung nicht fortlaufend geschlossen ist.

■ Durch die Betätigung des Gaspedals eines Kraftfahrzeuges wird die Zufuhr des Kraftstoff-Luft-Gemisches zum Motor gesteuert. Bei gleichbleibender Pedalstellung sinkt die Geschwindigkeit, sowie z. B. die Fahrbahn eine Steigung aufweist. Der Wirkungsablauf ist offen (Bild 60/1). Die auf die Geschwindigkeit des Fahrzeuges wirkenden weiteren Einflüsse wie Fahrbahnsteigung, Wind, Güte der Fahrbahnoberfläche u. a. werden durch eine Steuerung nicht ausgeglichen.

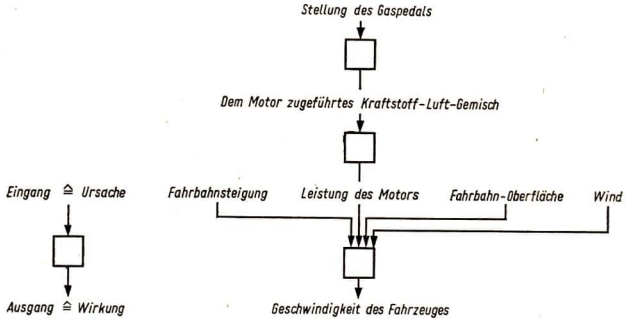


Bild 60/1: Steuerung, offener Wirkungsweg

In der *Steuerungsaufgabe* werden alle Bedingungen festgelegt, die durch die Steuerung erfüllt werden müssen. Wesentliche Aussagen sind dabei die Angaben zur *Steuerstrecke*. Das ist derjenige Teil der technologischen Anlage, in dem mit Hilfe der *Steuereinrichtungen* physikalische oder technische Größen beeinflußt werden. Steuerstrecke und Steuereinrichtungen bilden zusammen die *Steuerkette* (Bild 60/2). Erforderliche zu-

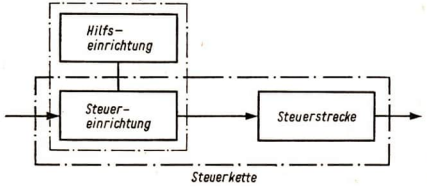


Bild 60/2: Steuerkette, Aufbau

sätzliche Geräte und Anlagenteile, wie Hilfsenergieversorgung, Anzeigegeräte, Pulte und dgl. ergänzen die Steuereinrichtung zur *Steueranlage*.
Zur Erfüllung der Steuerungsaufgabe müssen Wirkungen übertragen werden. Diese Wirkungen durchlaufen die Elemente der Steuerkette in bestimmter Reihenfolge. Der Weg des Wirkungsdurchlaufes wird *Wirkungsweg* genannt. Der Übergang von der Steuereinrichtung auf die Steuerstrecke erfolgt durch das *Stellglied*. Das Stellglied beeinflußt stets unmittelbar einen Massenfluß oder einen Energiestrom.

Stellglieder	Beeinflussung (Funktion)
elektrischer Schalter	Energiestrom
Ventile in Wasserleitungen	Massenfluß
Klappen in Luftleitungen	Massenfluß

Die Betätigung der Stellglieder erfolgt bei mechanischen Stellgliedern durch *Stellantriebe*.

■ Stellantriebe
- Magnetspulen eines Schaltschützes, durch die die Kontakte des Schützes bewegt werden (↗ Schaltschütz, Tech i Üb, S. 179);
- Elektromotoren, die über ein Getriebe Ventile, Klappen u. dgl. betätigen;
- pneumatisch oder hydraulisch bewegte Kolben zur Betätigung von Klappen u. dgl.

Die Stellantriebe verändern die *Stellgröße* in ihrem Wert. Die Stellgröße ist Träger des Stellsignals der Steuereinrichtung.

■ Eine Steuerstrecke wird durch eine elektromotorisch betätigte Klappe, die in eine Luftleitung eingebaut ist, beeinflußt. Der Antriebsmotor für die Klappenverstellung ist der Stellantrieb. Die Stellung der Klappe ist die Stellgröße, diese ist Träger des Stellsignales. Stellsignal ist im gewählten Beispiel der von der Steuereinrichtung signalisierte Ausgangsbefehl „Massenfluß vergrößern/verkleinern".

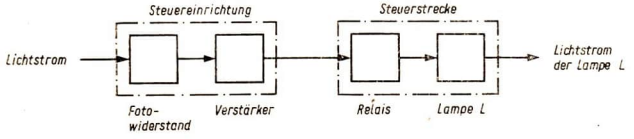


Bild 61/1: Steuerkette (ohne Hilfseinrichtungen dargestellt)

■ Bild 61/1 zeigt eine vollständige Steuerkette. Als Beispiel wurde der in ↗ [6] ausgewiesene Versuch E 96 zur Lichtschranke gewählt. Nachfolgend die Beschreibung des Versuches:

Steuerungsaufgabe

Bei Unterbrechung eines Lichtstrahles soll eine Lampe L automatisch eingeschaltet werden.

Lösung der Aufgabe

Der Lichtstrahl wird von einem Fotowiderstand erfaßt. Der jeweilige Momentanwert des Fotowiderstandes bestimmt die Eingangsspannung eines nachgeschalteten Verstärkers. Die Schaltung Fotowiderstand — Verstärker ist so bemessen, daß bei Unterbrechung des auf den Fotowiderstand fallenden Lichtstromes am Verstärkerausgang ein Strom fließt. Dieser wird über eine Relaisspule geleitet. Das Relais schaltet über den Relaiskontakt die Lampe L.

Abgrenzung Steuerstrecke/Steuereinrichtung

Die Lampe L, die Zuführung der Lampenspannung und der Relaiskontakt bilden die Steuerstrecke. Fotowiderstand, Verstärker und Relaisspule bilden die Steuereinrichtung. Nachfolgend werden die konkreten konstruktiven Lösungen der Funktionen in der Steuerkette dargestellt:

Konstruktive Lösung	Funktion in der Steuerkette
Relaiskontakt	Stellglied
Relaisspule	Stellantrieb
Kontaktstellung des Relais	Stellgröße

Da Relaisspule und Relaiskontakt eine konstruktive Einheit bilden, wird häufig das Relais insgesamt als Stellglied bezeichnet. Bei derartigen Grenzfällen sind daher Festlegungen über die entsprechenden Zuordnungen zu treffen. Bei der Zuordnung des Relais zur Steuerstrecke sind das Relais das Stellglied und der Ausgangsstrom des Verstärkers die Stellgröße.

Speicher dienen der Speicherung von Informationen (↗ Tech i Üb, S. 139). Sie haben mindestens zwei definierte Zustände — „Speicher gesetzt" oder „Speicher gelöscht". Ein typisches Speicherelement ist ein bistabiler Multivibrator.

■ Der Steuerbefehl zur Aufwärtsbewegung eines Fahrkorbes muß so lange erhalten bleiben, bis das gewünschte Fahrtziel erreicht ist. Mit Drücken des Tastschalters für das gewünschte Stockwerk wird ein Speicher gesetzt, der die Aufrechterhaltung der Aufwärtsbewegung bewirkt und erst bei Erreichen des gewünschten Stockwerks wieder gelöscht wird und damit die Aufwärtsbewegung unterbricht.

▼ Untersuchen Sie eine Schaltung, die durch äußere Signale in zwei verschiedene stabile Schaltzustände versetzt werden kann! (↗ [6], E 61; E 62)

Verriegelungen sind Schutzschaltungen. Sie verhindern sich widersprechende oder zu gefährlichen Betriebszuständen führende Steuerungen bzw. heben diese auf.

■ Die Antriebsmotoren eines Förderbandes, das in beiden Richtungen fördern kann (ein solches Band wird „Reversierband" genannt), dürfen niemals gleichzeitig auf „Rechtslauf" und „Linkslauf" geschaltet werden.

Zeitglieder sind spezielle Rechenglieder, deren statische und dynamische Kennwerte in bestimmten Grenzen zur Anpassung der Einrichtung an die Strecke variiert werden

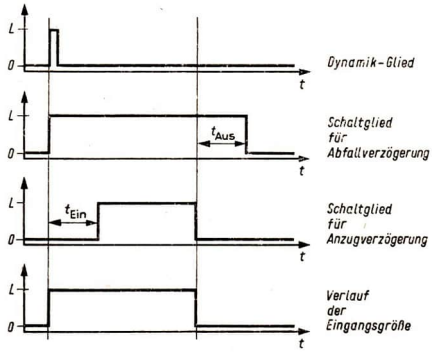


Bild 63/1: Funktion verschiedener Zeitglieder

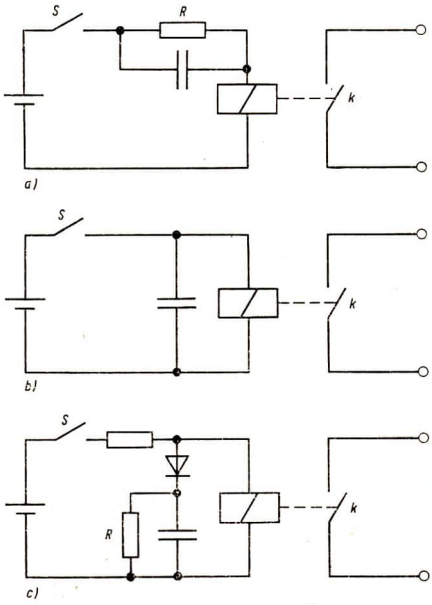


Bild 63/2: Relaiszeitglieder
a) Dynamik-Glied
b) Schaltglied für Abfallverzögerung
c) Schaltglied für Anzugverzögerung

können. Bild 63/1 zeigt das funktionelle Wirken einiger ausgewählter Zeitglieder. Die entsprechenden Relaisschaltungen sind in Bild 63/2 dargestellt.
Ein monostabiler Multivibrator ist ein auf elektronischer Basis arbeitendes Zeitglied.

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise eines monostabilen Multivibrators! (↗ [6], E 59; E 60)

3.2. Steuerungsarten

Durch eine Vielzahl von Steuerungen und die entsprechenden Steuerungsaufgaben ist eine Unterscheidung der Steuerungsarten, die nach unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen kann, notwendig (↗ 3.2.1. bis 3.2.4.).

Unterscheidungsmerkmal (Auswahl)	Steuerungsart	Beispiel
Eingangsgröße	Führungs- oder Folgesteuerung	Steuerung der Straßenbeleuchtung mit Dämmerungsschalter
	Programmsteuerung — Zeitplansteuerung	Ein- und Ausschalten der Treppenhausbeleuchtung durch elektronisches Zeitrelais
	— Ablaufsteuerung	Aufzugssteuerung (fest eingebautes Programm)
Gesteuerte Größe	Temperatursteuerung	—
	Drehzahlsteuerung	—
Hilfsenergie	Steuerung ohne Hilfsenergie	Ein- und Ausschalten der Wohnraumbeleuchtung
	Steuerung mit Hilfsenergie	elektrische Steuerung, pneumatische Steuerung, hydraulische Steuerung

- Erklären Sie die Wirkungsweise einer Zeitplansteuerung mit Schaltuhr! (↗ Tech i Üb, S. 144)
- Ordnen Sie die Ventilsteuerung am Dieselmotor in die o. g. Steuerungsarten ein! (↗ Tech i Üb, S. 143 f.)
- Erklären Sie die Wirkungsweise einer Dämmerungsschaltung! (↗ Tech i Üb, S. 219)

Die Auswahl einer Steuerungsart erfolgt entsprechend dem jeweiligen technologischen Zweck sowie ökonomischer und sozialer Überlegungen (z. B. Verbesserung der Arbeits- und Lebensbedingungen). Die spezifischen Eigenschaften der einzelnen Steuerungsarten sind bei der Auswahl zu beachten.
Der Übersicht ist zu entnehmen, daß jede Steuerungsart bestimmte Vorteile aufweist. Um möglichst viele Vorteile in einer Anlage zu vereinigen, sind daher auch Kombinationen zwischen verschiedenen Steuerungsarten üblich. Die elektrische Steuerung ist

zweckmäßigerweise noch zu unterteilen in Relaissteuerung und elektronische Steuerung. Eine Kombination dieser beiden Arten ist sehr verbreitet. Der Grund dafür liegt in der hohen Schaltgeschwindigkeit und der großen Anzahl Informationen, die durch elektronische Bauelemente leicht verarbeitet werden kann in Verbindung mit der relativ großen Schaltleistung der Relais.

Steuerungsart	Mögliche Anzahl logischer Operationen	Verarbeitungsgeschwindigkeit	Leistung der Ausgangsgröße	Forderungen an Umgebungsbedingungen
Steuerung ohne Hilfsenergie	sehr gering	gering	klein bis mittel	gering
Pneumatische Steuerung	mittel	mittel	mittel	Frostschutz erforderlich
Hydraulische Steuerung	klein	klein	sehr groß	Frostschutz erforderlich
Elektrische Steuerung				
— Relais	groß	groß	mittel	mittlere Klimaforderungen
— Elektronik-Bauelemente	sehr groß	sehr groß	sehr klein	höhere Klimaforderungen

3.2.1. Logikschaltungen

▶ Logikschaltungen in der Steuerungstechnik haben vorrangig die Aufgabe, logische Verknüpfungen zwischen binären Eingangssignalen herzustellen. Binäre (zweiwertige) Signale können nur zwei definierte Zustände — diese werden durch „0" und „L" gekennzeichnet — annehmen.

Ist der Träger des Signals eine Spannung, so entspricht „O" dem Zustand „Spannung nicht vorhanden" und „L" dem Zustand „Spannung vorhanden". Auch komplizierteste Steuerschaltungen lassen sich im wesentlichen in eine Vielzahl der nachfolgend aufgeführten elementaren Verknüpfungen zerlegen.
Diese elementaren Verknüpfungen sind:

ODER-Schaltung;
UND-Schaltung;
NICHT-Schaltung.

Hinzugefügt werden können noch die NAND-Schaltung und die NOR-Schaltung. Diese stellen aber bereits eine Kombination o. g. Elementarschaltungen dar. Die Schaltzeichen zur Darstellung von logischen Verknüpfungsgliedern sind in TGL 16056/03 festgelegt (Bild 66/1).

● Wiederholen Sie grundlegende Schaltungen für industrielle Steuerungen!
(↗ [3], S. 114ff.)

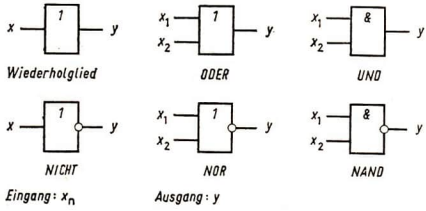


Bild 66/1: Schaltzeichen für logische Verknüpfungsglieder nach TGL 16056/03 (Auswahl)

▶ **ODER-Schaltung**. Diese Schaltung ist eine Realisierung der folgenden Steuerungsaufgabe: Die Ausgangsgröße des Logik-Elementes soll „L" sein, wenn von den Eingangsgrößen wenigstens eine den Zustand „L" aufweist.

■ Aus Sicherheitsgründen sind an einem Abwasser-Sammelbehälter zwei Grenzwertschalter zur Signalgabe bei Erreichen des maximalen Füllstandes angebracht. Die Signalgabe muß erfolgen, auch wenn nur einer der beiden Grenzwertschalter angesprochen hat.

Bild 66/2 zeigt verschiedene Lösungsmöglichkeiten einer ODER-Verknüpfung. Der Stromkreis ist geschlossen, wenn der eine *oder* der andere Eingangskontakt geschlossen ist.

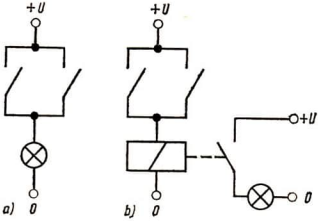
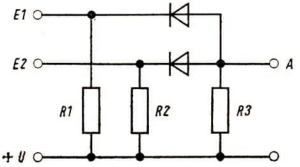


Bild 66/2: ODER-Schaltung
a) mit Schaltkontakten
b) mit Relais

▼ Untersuchen Sie eine ODER-Schaltung mit Relais! (↗ [5], E 36) Ergänzen Sie die Versuchsschaltung um einen dritten Eingang!
Bild 66/3 zeigt eine ODER-Verknüpfung mit kontaktlosen Bauelementen. Am Ausgang A ist hierbei Spannung vorhanden, wenn an einem der Eingänge Spannung anliegt.



E = Eingänge
L = −U
A = Ausgang
L = −U
R1 >> R3
R2 >> R3

Bild 66/3: ODER-Schaltung mit Dioden

▼ Untersuchen Sie eine ODER-Schaltung mit Dioden! (↗ [6], E 74)
Entwerfen Sie eine Schaltung, die die Schaltung des Versuches E 74 auf drei Eingänge ergänzt!

▼ Untersuchen Sie eine ODER-Schaltung mit Transistoren! (↗ [6], E 75)

▶ **UND-Schaltung**· Die Steuerungsaufgabe für diese Schaltung lautet: Die Ausgangsgröße soll „L" sein, wenn alle Eingangsgrößen „L" sind.

■ Ein mit Personen besetzter Aufzug setzt sich nur in Bewegung, wenn die Außentür *und* die Innentür des Aufzuges geschlossen sind. Bild 67/1 zeigt zwei Realisierungsmöglichkeiten. Eine UND-Verknüpfung als kontaktbehaftete Schaltung ist eine Reihenschaltung von Schaltkontakten. Der Stromkreis ist geschlossen, wenn der erste *und* der zweite *und* alle weiteren Kontakte geschlossen sind.

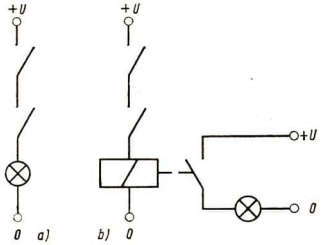


Bild 67/1: UND-Schaltung
a) mit Schaltkontakten b) mit Relais

▼ Untersuchen Sie eine UND-Schaltung mit Relais! (↗ [5], E 37) Erweitern Sie die Versuchsschaltung um einen dritten Eingang!

● Erweitern Sie die in Bild 67/1 dargestellte Schaltung auf insgesamt drei Eingänge!

Bild 68/1 zeigt eine UND-Verknüpfung mit kontaktlosen Bauelementen. Am Ausgang A ist eine entsprechend hohe Spannung vorhanden, wenn an beiden Eingängen Spannung anliegt. Die anliegende Eingangsspannung *sperrt* die zugehörige Diode. Bei Sperrung *aller* Dioden liegt am Ausgang Spannung an. Die Dioden bewirken in leitendem Zustand einen Kurzschluß der Ausgangsspannung.

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise einer UND-Schaltung mit Dioden bei verschiedenen Polaritäten! (↗ [6], E 73)
Entwerfen Sie eine Schaltung, die die Versuchsschaltung auf drei Eingänge ergänzt!

▼ Bauen Sie eine UND-Schaltung mit Transistoren auf! (↗ [6], E 76)

▶ **NICHT-Schaltung**· Diese Schaltung erfüllt die Steuerungsaufgabe: Die Ausgangsgröße soll „L" sein, wenn die Eingangsgröße „0" ist und umgekehrt.

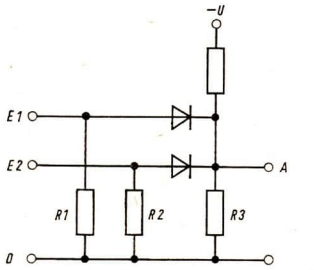


Bild 68/1: UND-Schaltung mit Dioden

Die einfachste Lösung einer solchen Negation ist ein Taster, der in unbetätigtem Zustand geschlossen und in betätigtem Zustand geöffnet ist. Eingangsgröße „L" entspricht „Taster betätigt", Ausgangsgröße „L" entspricht „Schaltkontakt geschlossen" (Bild 68/2a).
Bild 68/2b zeigt eine NICHT-Schaltung mit Relais. In einer kontaktbehafteten Schaltung stellt sich eine Negation immer als Ruhekontakt — also Kontakt, der in unbetätigtem Zustand geschlossen ist — dar.

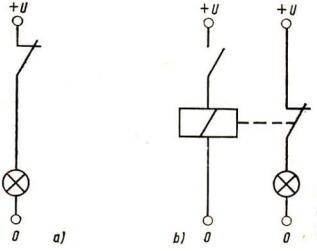


Bild 68/2: NICHT-Schaltung
a) mit Schaltkontakten
b) mit Relais

▼ Untersuchen Sie eine NICHT-Schaltung mit Relais! (↗ [5], E 35)

● Bild 68/3 zeigt eine NICHT-Schaltung mit Dioden. Vergleichen Sie diese Schaltung mit der Schaltung nach Bild 68/1! Welche Analogien bestehen?

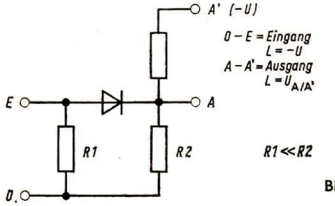


Bild 68/3: NICHT-Schaltung mit Dioden

NOR-Schaltung· Die NOR-Schaltung ist eine negierte ODER-Schaltung (**NOT-OR**). Sie erfüllt die Steuerungsaufgabe: Das Ausgangssignal soll „L" sein, wenn alle Eingänge „0" sind.

Überprüfen Sie durch Aufstellen *sämtlicher* möglicher Kombinationen der zwei Eingangssignale und durch Verfolgen des dabei vorhandenen Signalflusses die Erfüllung der gestellten Aufgabe (Bild 69/1)! Führen Sie die gleiche Überprüfung für drei Eingangssignale durch!

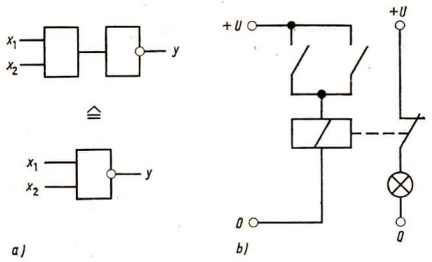


Bild 69/1: NOR-Schaltung mit Relais
a) Schaltungskurzzeichen
b) Relaisschaltung

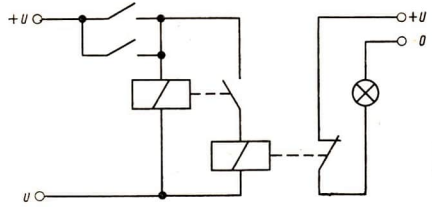


Bild 69/2: Kombinierte ODER- und NICHT-Schaltung

Bild 69/2 zeigt die Kombination einer ODER-Schaltung und einer NICHT-Schaltung mit Relais. Als Schaltungen wurden die in den in ↗ [5] ausgewiesenen Versuchen E 35 und E 36 benutzten Schaltungen gewählt.

Wie kann die kombinierte ODER- und NICHT-Schaltung (Bild 69/2) vereinfacht werden (Verwendung eines Relais)?

Bauen Sie die von Ihnen vereinfachte Schaltung auf, indem Sie die Schaltung gemäß Versuch E 36 (↗ [5]) entsprechend modifizieren! Führen Sie nun den Versuch durch!

Untersuchen Sie eine NOR-Schaltung mit Transistoren! (↗ [6], E 79)

NAND-Schaltung· Die NAND-Schaltung ist eine negierte UND-Schaltung (**NOT-AND**). Sie erfüllt die Steuerungsaufgabe: Das Ausgangssignal soll „L" sein, wenn ein, mehrere oder alle Eingangssignale „0" sind.

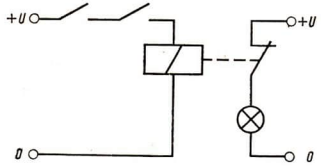


Bild 70/1: NAND-Schaltung mit Relais

● Überprüfen Sie durch Aufstellen sämtlicher möglicher Kombinationen der zwei Eingangssignale und durch Verfolgen des dabei vorhandenen Signalflusses die Richtigkeit der Schaltung nach Bild 70/1! Führen Sie die gleiche Überprüfung für drei Eingangssignale durch!

▼ Untersuchen Sie eine negierte UND-Schaltung mit Relais! (↗ [5], E 38)

▼ Realisieren Sie eine NAND-Schaltung mit Transistoren! (↗ [6], E 78)

3.2.2. Steuerungen ohne Hilfsenergie

Die Leistungsfähigkeit von Steuerungen ohne Hilfsenergie ist sowohl im Hinblick auf die zu steuernde Leistung wie auch auf den möglichen Umfang der Realisierung logischer Verknüpfungen sehr begrenzt. Trotzdem ist die Steuerung ohne Hilfsenergie auch heute noch von Bedeutung, da sie einige besondere Vorteile aufweist:

— Sie ist durch ihre Einfachheit außerordentlich zuverlässig.
— Sie ist billig.
— Sie erfordert geringe Wartung.

Auch hier gilt der Grundsatz: Nicht die komplizierteste Lösung ist die beste, sondern diejenige, mit der eine Aufgabe mit dem geringsten Aufwand zuverlässig erfüllt wird.
Für Steuerungen ohne Hilfsenergie ergeben sich im wesentlichen folgende Einsatzgebiete:

— Ein- und Ausschalten von Verbrauchern kleiner elektrischer Leistung;
— Realisierung einfacher logischer Verknüpfungen;
— Aufbau einfacher automatischer Schaltungen.

■ Wohnraumbeleuchtungen werden z. B. dadurch ein- und ausgeschaltet, daß die Zuleitungen zu den Beleuchtungskörpern über Dreh- oder Kippschalter geleitet werden, mit denen der Stromkreis geschlossen bzw. unterbrochen wird.

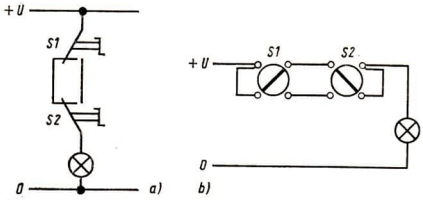


Bild 70/2: Wechselschaltung
a) Stromlaufplan
b) Wirkschaltplan

● Erklären Sie Aufbau und Funktion von Schaltungen der Installationstechnik!
(↗ Tech i Üb, S. 181)

Die Realisierung einer *einfachen* logischen Verknüpfung ist die Wechselschaltung (Bild 70/2) Diese Schaltung erfüllt folgende Steuerungsaufgabe: Bei einer mit zwei Steuerstellen ausgerüsteten Anlage (z. B. Flurbeleuchtung in einem Einfamilienhaus) soll sich der Schaltzustand der Anlage bei jeder Betätigung eines Schalters ändern, unabhängig davon, von welcher Steuerstelle aus das erfolgt. Eine Erweiterung auf drei und mehr Steuerstellen läßt sich mit der Kreuzschaltung erreichen (Bild 71/1).

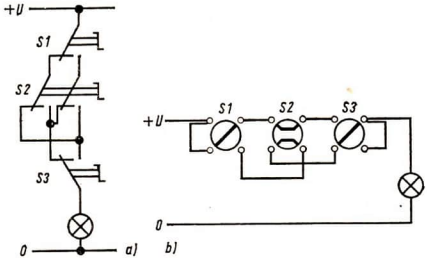


Bild 71/1: Kreuzschaltung
a) Stromlaufplan
b) Wirkschaltplan

● Entwerfen Sie eine Kreuzschaltung für insgesamt vier Steuerstellen!

Die Realisierung einer einfachen *Verriegelung* zeigt Bild 71/2. Diese Schaltung erfüllt folgende Aufgabe: Der Verbraucher V 1 kann nur eingeschaltet werden, wenn der Verbraucher V 2 bereits eingeschaltet ist.

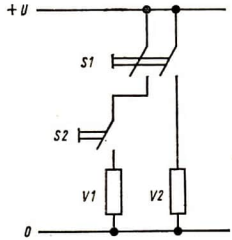


Bild 71/2: Verriegelung

■ Der Antriebsmotor eines Aggregates darf nur einschaltbar sein, wenn eine zum Aggregat gehörige Hilfsölpumpe eingeschaltet ist.

Automatische Schaltungen zur Steuerung ohne Hilfsenergie kommen ausschließlich für einfache Aufgaben bei kleinen Leistungen in Betracht.

■ — Automatische Steuerungen von Wasserpumpen zum Füllen von Trinkwasserbehältern (auf Grundstücken ohne Anschluß an ein Trinkwassernetz);
— Automatische Abschaltung, z. B. von Klappenantrieben bei Erreichen der Endlagen.

3.2.3. Steuerungen mit Hilfsenergie

Aufbau und Wirkungsweise von Steuerungen mit Hilfsenergie werden im folgenden am Beispiel von Steuerungen mit elektrischer Hilfsenergie erläutert.

- Nennen Sie andere Arten von Steuerungen mit Hilfsenergie! (↗ 3.2.)

Bei der Steuerung einer Vielzahl technologischer Prozesse sind erhebliche elektrische Leistungen zu schalten. Zum anderen sind Steuerstelle und Antrieb der Schaltgeräte häufig räumlich voneinander getrennt. Für die Steuerung müßte nun das Starkstromkabel (Leistungskabel) bis zur Steuerstelle geführt werden. Das aber ist unwirtschaftlich (hoher Kupferbedarf und Leitungsverluste) und im Falle hoher Betriebsspannungen (z. B. 6 kV!) oft undurchführbar. In diesen Fällen wird zur Steuerung eine Hilfsenergie, mit deren Hilfe die Schaltgeräte angetrieben werden, verwendet, die die Einrichtungen steuern, also z. B. Leistungsschalter. Diese Schaltgeräte für sehr große Leistungen sind nicht Gegenstand der BMSR-Technik.
Zur Vereinfachung erfolgt die Abgrenzung zwischen BMSR-Anlage und Starkstromschaltanlage in den Schaltplänen so, daß eine zur Starkstromschaltanlage geführte *offene* Schleife den Steuerbefehl „Antrieb Aus" und eine *geschlossene* Schleife den Steuerbefehl „Antrieb Ein" darstellt (Bild 72/1).

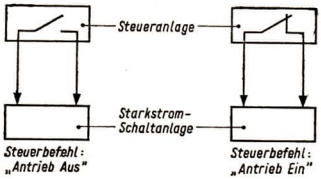


Bild 72/1: Zusammenwirken von Steueranlage und Starkstromschaltanlage

- Wiederholen Sie die Wirkungsweise von Elektromagneten! (↗ Ph i Üb, S. 132)
- Erklären Sie Aufbau und Funktion eines Relais! (↗ Tech i Üb, S. 203 ff.)

Im folgenden werden verschiedene Grundschaltungen unter Verwendung von Hilfsrelais dargestellt.
Die Bezeichnung Hilfsrelais oder auch Zwischenrelais bedeutet, daß es sich um Relais handelt, mit denen die Leistung nicht direkt geschaltet wird (der Verbraucherstrom fließt *nicht* über die Relaiskontakte). Die Leistungsaufnahme der Relaisspule ist relativ gering (etwa 3 W). Die Kontaktbelastbarkeit ist dabei je nach Relaistyp unterschiedlich und kann mehrere Ampere betragen.
Ein bedeutender Vorteil der Steuerung mit Hilfsenergie liegt gegenüber der Steuerung ohne Hilfsenergie darin, daß in einfacher Weise mit Tastschaltern, also durch Impulse gesteuert werden kann. Dabei werden sogenannte *Selbsthalteschaltungen* als Speicher angewendet (Bild 73/1). Zweckmäßigerweise wird zur Darstellung solcher Schaltungen die Form des *Stromlaufplanes* angewendet (Bild 73/1 a). Bei der Darstellung einer Schaltung als Stromlaufplan werden Relais und Relaiskontakte nicht *räumlich* zusammenhängend gezeichnet, sondern an den Stellen der Schaltung dargestellt, an denen sie *funktionell* wirken. Zur eindeutigen Zuordnung werden dabei die einzelnen

Relais mit großen Buchstaben und deren Kontakte mit gleichen, jedoch kleinen Buchstaben bezeichnet. Die Kontakte eines Relais werden mit Indizes fortlaufend numeriert. Zum besseren Verständnis wurde in Bild 73/1 die Darstellung sowohl als „Stromlaufplan" wie auch als „Wirkschaltplan" gegeben.

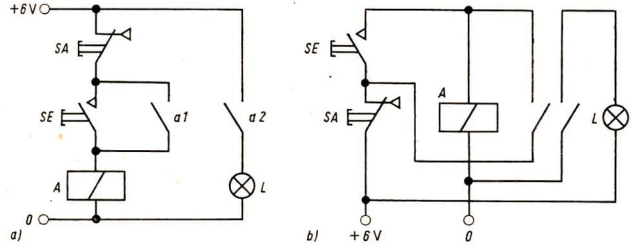


Bild 73/1: Selbsthalteschaltung a) Stromlaufplan b) Wirkschaltplan (SE „Ein"-Taster; SA „Aus"-Taster; A Hilfsrelais, 6 V; L Glühlampe 6 V, 3 W)

▼ Untersuchen Sie eine Relaisschaltung mit Selbsthaltekontakt! (↗ [5], E 31)
Aus dem Versuchsergebnis ist zu entnehmen, daß der „Aus"-Befehl dominiert, d. h., Vorrang besitzt. Verändern Sie die Schaltung so, daß der „Ein"-Befehl dominiert!
Die Schaltung kann so erweitert werden, daß eine gleichberechtigte Steuerung von zwei Steuerstellen aus möglich ist (Bild 73/2).

● Erweitern Sie die Selbsthalteschaltung (Bild 73/2) für den Betrieb mit drei Steuerstellen!

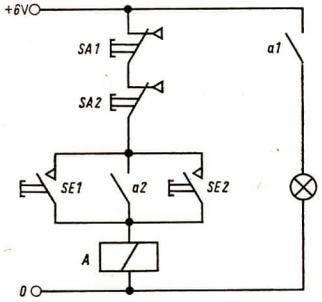


Bild 73/2: Selbsthalteschaltung mit zwei Steuerstellen

Häufig besteht die Notwendigkeit, durch „übergeordnete" Signale die Ausführung von Schalthandlungen zu unterbinden bzw. automatisch bestehende Schaltzustände zu verändern. Solche Aufgaben finden sich vorrangig im Zusammenhang mit elektrischen Schutzschaltungen zur Verhinderung gefährlicher oder schadenbringender Betriebszustände.

Der Antriebsmotor einer Pumpe, die aus einem Behälter Wasser fördert, darf nicht eingeschaltet werden bzw. muß abgeschaltet werden, wenn der Behälter leer ist, weil die Pumpe sonst zerstört wird. Die automatische Abschaltung bezeichnet man als „Trockenlaufschutz". Bild 74/1 zeigt eine Schaltung, die die vorgenannte Aufgabe erfüllt. Der automatische Grenzwertkontakt S 1 öffnet, sowie ein minimaler Wasserstand im Behälter unterschritten ist.

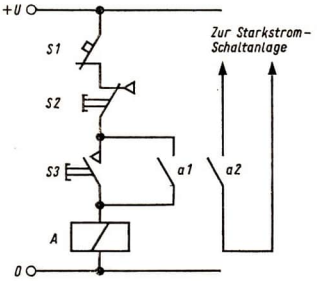


Bild 74/1: Selbsthalteschaltung zur Pumpensteuerung mit Trockenlaufschutz

Entwerfen Sie drei Schaltungen, die die nachfolgend genannten Bedingungen erfüllen!

Schutzschaltung 1: Das Einschalten wird verhindert, ein bereits eingeschalteter Zustand wird jedoch *nicht* verändert.

Schutzschaltung 2: Das Einschalten wird verhindert und ein eingeschalteter Zustand verändert (es wird abgeschaltet).

Schutzschaltung 3: Das Einschalten erfolgt automatisch. Ein Abschalten durch Betätigung des „Aus"-Tasters darf nicht möglich sein.

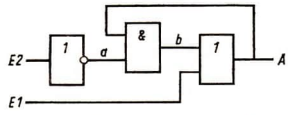
(Die Aufgaben sind zu lösen durch Verändern der Schaltung nach Bild 74/1.)

Der Aufbau von Steuerschaltungen unter Verwendung von elektronischen Bauelementen bringt eine Reihe von Vorteilen. Das ist insbesondere bei Steuerungsanlagen großen Umfangs mit zahlreichen und komplizierten Verknüpfungen der Fall. Allein der Platzbedarf für die Steuerungsanlage ist neben anderen Vorteilen (↗ S. 65) bei Verwendung von elektronischen Bauelementen wesentlich geringer.

Ein wichtiges Element bei Steuerschaltungen sind Speicherglieder. Ein Relais in Selbsthalteschaltung stellt als kontaktbehaftetes Bauelement bei entsprechender Schaltung ein Speicherglied dar. Ein Speicher mit elektronischen Bauelementen ist z. B. ein bistabiler Multivibrator. Beim Einsatz von Speichergliedern ist auf folgendes zu achten:

— Der Einsatz von Speichergliedern ist im allgemeinen nur dort sinnvoll, wo die Eingangssignale stets oder zeitweise als dynamische Signale vorliegen (Dynamik-Glied, Bild 63/1). Erforderlichenfalls muß ein statisches Signal in ein dynamisches Signal umgewandelt werden.

— Es muß von vornherein festgelegt werden, welches der Eingangssignale — „Speicher setzen" oder „Speicher löschen" — (↗ Speicher, 3.1.), dominierend wirken muß. Das dominierende Signal muß im Falle von Schutzschaltungen statisch wirken, gegebenenfalls muß dieses Signal selbst zunächst gespeichert werden.



E1: Eingang für Signal „Speicher setzen"
E2: Eingang für Signal „Speicher löschen"

Schaltbelegungstabelle

E1	E2	a	b	A
L	0	L	L	L
L	L	0	0	L

Bild 75/1: Signalfluß für Speicher, „Ein" dominierend

Bild 75/1 zeigt den gesamten Signalfluß eines Speichers. Das Signal „Speicher setzen" („Ein") wirkt hier dominierend.

● Erläutern Sie diese Speicherschaltung! Wodurch wird bewirkt, daß A = L erhalten bleibt, auch wenn E2 wieder von „L" auf „0" geändert wird (E1 = 0)?
Wie verhält sich die Schaltung eines bistabilen Multivibrators (↗ [6], E 62) im Hinblick auf die Vorrangigkeit der Eingänge?

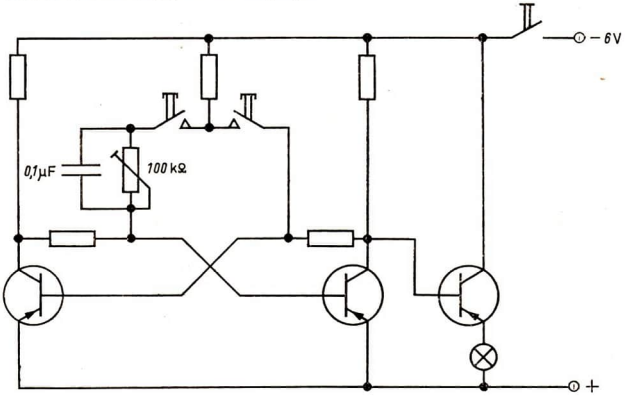
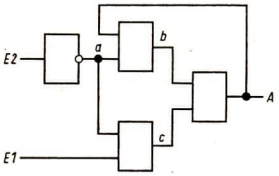


Bild 75/2: Bistabiler Multivibrator

▼ Verändern Sie die Schaltung des Versuches E 62 (↗ [6]) entsprechend Bild 75/2 und führen Sie den Versuch nach der Anleitung durch!
(Ergänzung zur Versuchsanleitung: Betätigen Sie beide Taster gleichzeitig! Welches Ergebnis stellen Sie dabei fest?)

Bild 76/1 zeigt den gesamten Signalfluß eines Speichers, bei dem das Signal „Speicher löschen" („Aus") dominiert.

● Erläutern Sie, wodurch erreicht wird, daß das Signal „Aus" dominiert! Entwerfen Sie eine Schaltung — unter Verwendung der Schaltung nach Bild 75/2 als Grundschaltung —, die mit den elektronischen Bauelementen *genau* die gleiche Aufgabe wie die Relaisschaltung nach Bild 73/2 erfüllt!



Schaltbelegungstabelle

E1	E2	a	b	c	A
L	0	L	L	L	L
L	L	0	0	0	0

Bild 76/1: Signalfluß für Speicher, „Aus" dominierend

E1 : Eingang für Signal „Speicher setzen"
E2 : Eingang für Signal „Speicher löschen"

● Stellen Sie eine Beziehung her zwischen der von Ihnen entworfenen Schaltung und der Darstellung des Signalflusses nach Bild 76/1! Ordnen Sie den einzelnen Logik-Elementen die entsprechenden Funktionen der von Ihnen entwickelten Schaltung zu!

Bild 78/1 zeigt das Zusammenwirken mehrerer elektronischer Bausteine zur Lösung folgender Aufgabe der Steuerungstechnik:

— Bei Kontaktgabe eines Schalters S1 soll eine Lampe blinken.
— Unabhängig von der Stellung des Schalters S1 soll die Lampe als Dauerlicht aufleuchten, wenn ein Schalter S2 betätigt wird. S2 dient zur Überprüfung, ob die Lampe L funktionsfähig ist.

Die Aufgabe wird wie folgt realisiert:

— Ein astabiler Multivibrator erzeugt eine „Blinkspannung".
— Die Blinkspannung wird über den einen Eingang eines ODER-Gliedes (↗ [6], E 74; Bild 78/1) einer Lampe L zugeführt. An den zweiten Eingang des ODER-Gliedes kann über den Tastschalter S 2 die Prüfspannung U_p gelegt werden.

▼ Bauen Sie die Schaltung eines astabilen Multivibrators auf! (↗ [6], E57) Modifizieren Sie die Schaltung durch Einsetzen des Relais an Stelle der Lampe L2 (Bild 78/1)!

▼ Untersuchen Sie eine Signalgabe durch Blinklicht mit Lampenprüfung!

Benötigte Bauelemente und Geräte

2 Batteriebausteine	1 Relais
1 EIN-Taster	2 Widerstände 1,8 kΩ
2 Stellschalter	2 Widerstände 47 kΩ
2 Dioden	1 Widerstand 10 kΩ
3 Transistoren	2 Elektrolytkondensatoren 5000 μF
2 Lampen	1 Vielfachmeßinstrument

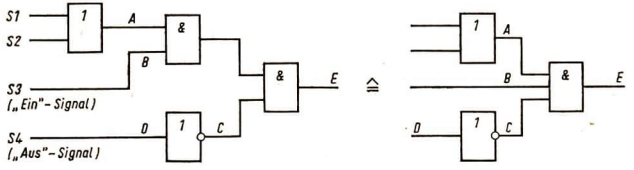
Versuchsdurchführung

— Bauen Sie die Schaltung entsprechend Bild 78/1 auf!
— Beobachten Sie das ordnungsgemäße Arbeiten des astabilen Multivibrators (Lampe LK dient zur Kontrolle)!
— Betätigen Sie den Schalter S 1!
— Betätigen Sie *zusätzlich* den Schalter S 2!
— Betätigen Sie den Schalter S 2 allein (S 1 geöffnet)!

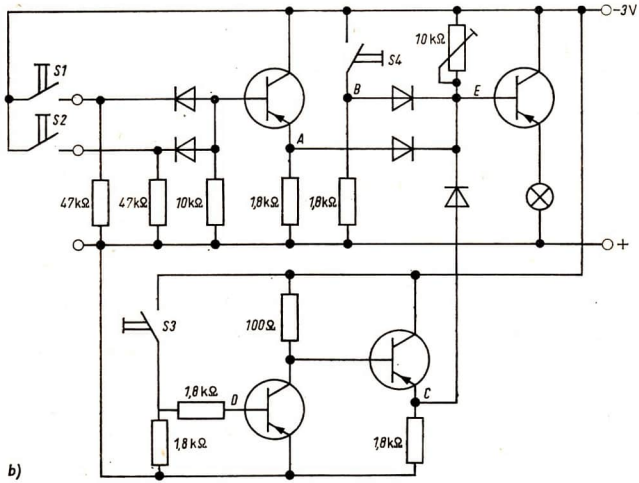
Versuchsauswertung

- Erklären Sie das Verhalten der Lampe L bei den jeweiligen Schaltstellungen von S 1 und S 2!
- Welche Aufgabe hat das Relais?
- Ist der Anschluß weiterer Signallampen L (einschließlich deren Prüfmöglichkeit) gegeben? Begründen Sie Ihre Antwort!

Bild 77/1 zeigt die Realisierung einer Steuerung mit Einschaltverriegelung und dominierendem „Aus"-Befehl. Die konkrete Steuerungsaufgabe lautet: Ein elektrischer Verbraucher darf nur einschaltbar sein, wenn ein Signal S 1 oder ein Signal S 2 „L" ist. Bei Vorhandensein eines Signales S 3 muß der Verbraucher in jedem Fall sofort automatisch ausgeschaltet werden und darf nicht einschaltbar sein.



a)



b)

Bild 77/1: Steuerung mit Einschaltverriegelung a) Logikdarstellung b) Stromlaufplan

▼ Untersuchen Sie eine Negatorschaltung! (↗ [6], E 77; 3.2.1.)

● Vergleichen Sie die Schaltungen der Versuche E 73, E 74 und E 77 (↗[6]) mit der Schaltung nach Bild 77/1! Erklären Sie die Unterschiede!

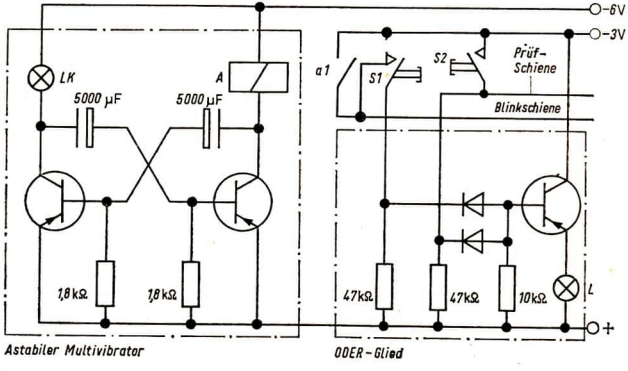


Bild 78/1: Signalgabe durch Blinklicht (S1 Grenzwertgeber; S 2 Prüftaste)

▼ Untersuchen Sie eine Steuerschaltung mit Einschaltverriegelung und dominierendem „Aus"-Befehl!

Benötigte Bauelemente und Geräte

2 Batteriebausteine
4 Stellschalter
3 Transistoren
5 Dioden
1 Vielfachmeßinstrument
4 Widerstände 1,8 kΩ
1 Regelwiderstand 10 kΩ
2 Widerstände 47 kΩ
1 Lampe

(Hinweis: Zum Versuch werden Bauelemente aus drei Baukästen benötigt.)

Versuchsdurchführung

— Bauen Sie die Schaltung nach Bild 77/1 auf!
— Überprüfen Sie die Schaltung, indem Sie mit dem Vielfachmeßinstrument die Spannungen an den Meßpunkten A bis E messen! Achten Sie hierbei auf richtige Polung des Meßinstrumentes! Stellen Sie die Bedingungen zusammen, unter denen eine Spannung (etwa — 3 V) an den Meßpunkten vorhanden sein muß! (Beispiel: Spannung muß am Meßpunkt A vorhanden sein, wenn S 1 *oder* S 2 geschlossen ist. In der Logikdarstellung sind die den Meßpunkten entsprechenden Stellen angegeben.)

— Überprüfen Sie nun die Funktion der Gesamtschaltung! Stellen Sie alle möglichen Kombinationen der Eingangsgrößen dar und stellen Sie fest, wie die Ausgangsgröße reagiert (Ausgangsgröße ist hier der über die Lampe fließende Strom)! Hinweis: Alle *möglichen* Kombinationen der Eingangsgrößen erhält man, indem man sämtliche möglichen Dualzahlen bildet. Vier Eingangsgrößen entspricht hierbei eine vierstellige Dualzahl (Übersicht 79/1; ↗ Zweiersystem, Ma i Üb, S. 21).

Versuchsauswertung

— Überprüfen Sie, ob die Steuerschaltung die Steuerungsaufgabe erfüllt!

Kombination	S1	S2	Ein	S3	Ausgangsgröße
	A	B	C	D	
1	0	0	0	0	
2	0	0	0	L	
3	0	0	L	0	
4	0	0	L	L	
5	0	L	0	0	
6	0	L	0	L	
7	0	L	L	0	
8	0	L	L	L	
9	L	0	0	0	
10	L	0	0	L	
11	L	0	L	0	
12	L	0	L	L	
13	L	L	0	0	
14	L	L	0	L	
15	L	L	L	0	
16	L	L	L	L	

Übersicht 79/1: Kombinationsmöglichkeiten bei vier Eingangsgrößen

3.2.4. Führungs- und Programmsteuerung

Bei dieser Art Steuerungen erfolgt der gesamte Steuerungsablauf ohne zusätzliches Eingreifen durch den Menschen, die Steuerung folgt übergeordneten Eingangsgrößen. Je nach Art des Aufbaues dieser Steuerungen wird unterschieden in

Führungssteuerung;
Zeitplansteuerung;
Ablaufsteuerung.

Zeitplan- und Ablaufsteuerung werden auch unter dem Begriff Programmsteuerung zusammengefaßt (↗ [10], S. 68).

▶ *Führungssteuerungen* — auch Folgesteuerungen genannt — sind dadurch gekennzeichnet, daß die gesteuerte Größe durch eine Führungsgröße eindeutig bestimmt wird.

Eine Steuerung, die automatisch die Parkleuchte eines Kraftfahrzeuges bei eintretender Dunkelheit einschaltet, ist eine Führungssteuerung. Führungsgröße ist hierbei

die Helligkeit der Umgebung, gesteuerte Größe ist die Stromzuführung zur Parkleuchte.

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise der Schaltungen von Parkleuchtenschaltern und Dämmerungsschaltern! (↗ [6], E 94; E 95)

▼ Erproben Sie die Schaltungen für eine Lichtschranke und für einen Lichteinfallmelder! (↗ [6], E 96; E 97; E 98)
Bestimmen Sie für jeden Versuch
— die Führungsgröße;
— die gesteuerte Größe!

▶ *Zeitplansteuerung* ist die Steuerung nach einem vorgegebenen Zeitplan.

■ Ein einfaches Beispiel für eine Zeitplansteuerung ist die Steuerung der Treppenhausbeleuchtung. Hier wird vom Menschen das „Zeitprogramm" gestartet (Treppenhausbeleuchtung eingeschaltet). Die Zeitplansteuerung besteht darin, daß nach einer vorgegebenen Zeit die Beleuchtung automatisch wieder ausgeschaltet wird (↗ Tech i Üb, S. 182).

▼ Untersuchen Sie eine Schaltung zur Verzögerung des Ausschaltvorgangs eines Verbrauchers! (↗ [6], E 90).

Vorgaben für zeitabhängige Abläufe kommen bei automatischen Steuerungen häufig vor. Es ist nicht immer einfach zu entscheiden, ob die jeweilige Steuerung als Führungs-, Zeitplan- oder Ablaufsteuerung anzusehen ist. Nachfolgendes Beispiel verdeutlicht das.

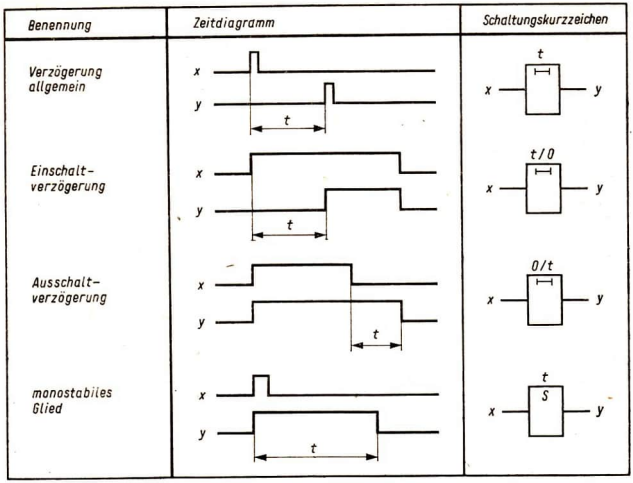
■ In einer Grube wird Schmutzwasser gesammelt. Bei Erreichen eines vorgegebenen Pegelstandes wird eine Pumpe, die das Schmutzwasser fördert, automatisch eingeschaltet. Nach einer vorgegebenen Zeit wird die Pumpe automatisch ausgeschaltet. Hier ist sowohl eine Führungsgröße wirksam wie auch eine zeitliche Festlegung. Da das *wesentliche* Kriterium das automatische Einschalten ist, wird diese Steuerung der Kategorie Führungssteuerung zugeordnet.

● Entwerfen Sie ein Logikschaltbild, das die Steuerungsaufgabe des o. g. Beispieles darstellt! Nutzen Sie dabei standardisierte Schaltungskurzzeichen für Verzögerungsglieder (Übersicht 81/1)!

▶ *Ablaufsteuerungen* bewirken, daß die Steuerung der einzelnen Einrichtungen automatisch bei Vorhandensein bestimmter Zustände des technologischen Prozesses und nach Festlegungen eines Steuerungsprogrammes erfolgt.

■ Ein größeres Aggregat (durch Elektromotor angetriebene Pumpe) hat folgende Hilfseinrichtungen:

— 1 Ölpumpe zur Lagerschmierung;
— 1 Kühlwasserzuführung zur Lagerkühlung.



Übersicht 81/1: Zeitabhängige Logikelemente (Verzögerungsglieder nach TGL 16056/06, Auszug)

Laut Bedienungsanweisung ist für das Inbetriebsetzen der Pumpe folgender Ablauf vorgeschrieben:

- Schieber in der Kühlwasserleitung öffnen und Lagerölpumpe einschalten;
- Überprüfen, ob Kühlwasserdruck und Lageröldruck vorhanden und der Kühlwasserschieber geöffnet sind;
- Hauptmotor einschalten.

Nach einem Steuerungsprogramm werden die einzelnen Schritte des Inbetriebnehmens der Pumpe automatisch ausgeführt (Bild 81/2). Steuerketten sind dabei der Schieber in der Kühlwasserleitung (I) und die Lagerölpumpe (II).

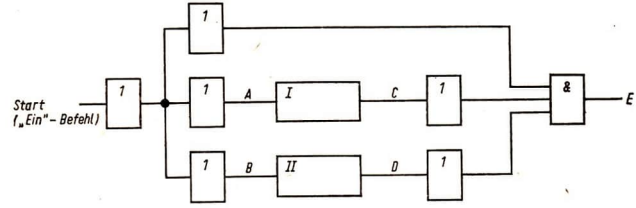


Bild 81/2: Logikschaltbild einer Ablaufsteuerung

Schritt 1:
Steuerbefehl A — „Auf" für Schieber in der Kühlwasserleitung;
Steuerbefehl B — „Ein" für Lagerölpumpe;
Signal C — Schieber geöffnet (L);
Signal D — Öldruck vorhanden (L)

Schritt 2:
Steuerbefehl E — „Ein" für Hauptmotor
(Voraussetzungen: Öldruck und Kühlwasserdruck vorhanden).

Der Startbefehl für den Programmablauf kann vom Menschen oder auch automatisch gegeben werden. Bei allen derartigen Programmabläufen ist folgendes zu beachten:

— Die Kontrolle, ob die Voraussetzungen zum Einleiten eines Programmschrittes gegeben sind, muß automatisch erfolgen.
— Es muß automatisch überprüft werden, ob ein Programm ordnungsgemäß abgelaufen ist oder infolge einer Störung oder nichterfüllter Fortschaltbedingung „hängengeblieben" ist.

Programmablauf				
Schritt	Befehlsgabe	Voraussetzungen	Aktivität	Signalgabe
0	Start	Startbedingungen erfüllt	Schritt 1 auslösen	„Störung" bei nicht erfüllten Bedingungen „Störung" bei nicht ausgeführtem Befehl
1	Ablauf Schritt 1	Kriterien für Schritt 1 erfüllt	Ansteuerung Steuerkette für Schritt 1	
2	Ablauf Schritt 2	Kriterien für Schritt 2 erfüllt	Ansteuerung Steuerkette für Schritt 2	
. . .	. . .	. . .	. . .	
n	Ablauf Schritt n	Kriterien für Schritt n erfüllt	Ansteuerung Steuerkette für Schritt n	zusätzlich: Steuerstrecke „Ein" bzw. „Aus"

Übersicht 82/1: Schrittfolge einer Ablaufsteuerung

Die Überwachung des ordnungsgemäßen Programmablaufes ist eine Grundvoraussetzung für die volle Ausnutzung einer Ablaufsteuerung. Das Bedienungspersonal muß zwar das *Programm* gegebenenfalls noch in Betrieb setzen, aber in keinem Fall die *Antriebe* einzeln steuern. Eine volle Wirksamkeit der Entlastung ist aber erst dann gegeben, wenn auch die Kontrolle des Ablaufes automatisch erfolgt, da sonst das Bedienungspersonal sich auf die Kontrolle konzentrieren muß und demzufolge keine anderen Arbeitsgänge in dieser Zeit verrichten kann. Bild 83/1 zeigt den Aufbau einer automatischen Überwachung eines ordnungsgemäßen Programmablaufes.

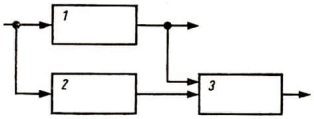


Bild 83/1: Prinzip der Überwachung eines Programmablaufes
(1 Steuerkette; 2 paralleler Überwachungszweig; 3 Vergleichsglied)

Das Prinzip besteht darin, daß zusammen mit dem Programm ein Zeitglied angesteuert wird. Dieses Zeitglied ist so eingestellt, daß die eingestellte Zeit geringfügig größer ist als diejenige, die zum ordnungsgemäßen Ablauf des Programmes benötigt wird. Bei Überschreitung dieser Zeit wird ein Signal ausgelöst, zumeist optisch und akustisch. Es ist vom Umfang und insbesondere von der Ablaufzeit der einzelnen Programme abhängig, ob nur das gesamte Programm oder sogar einzelne Programmschritte überwacht werden.

▼ Untersuchen Sie eine Relaisschaltung mit Verzögerung der Schaltvorgänge! (↗ [5], E34)

▼ Erproben Sie eine Schaltung zur Programmschritt-Überwachung!

Benötigte Bauelemente und Geräte

2 Batteriebausteine
1 Stellschalter
2 Regelwiderstände 100 Ω
1 Elektrolytkondensator 5000 µF
1 Vielfachmeßinstrument
1 Motor
1 Lampe
2 Relais

Versuchsdurchführung

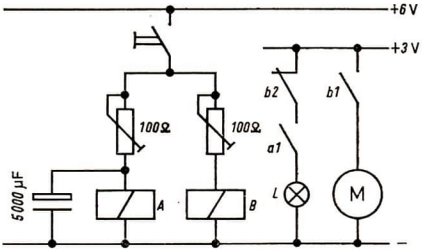


Bild 83/2: Schaltung zur Überwachung eines Programmschrittes

- Bauen Sie die Schaltung nach Bild 83/2 auf!
- Schalten Sie den Stellschalter ein!
- Stellen Sie die Schleifer der Regelwiderstände so ein, daß an den Relais 3 V Spannung anliegen (beim Einstellen den Elektrolytkondensator abklemmen)!
- Unterbrechen Sie die Zuleitung zum Relais B und beobachten Sie dabei die Lampe L!
- Schalten Sie mit dem Stellschalter aus (Zuleitung zu B bleibt unterbrochen)!
- Schalten Sie nach einer Zeitdauer von einigen Sekunden wieder ein und beobachten Sie dabei die Lampe L!
- Überprüfen Sie, wie lange Relais B nach Einschalten mit dem Stellschalter ohne Spannung sein darf, ohne daß die Lampe L aufleuchtet (Zeitdauer schätzen)!

Versuchsauswertung

— Ordnen Sie die einzelnen Bauelemente nach ihrer Funktion den einzelnen Funktionskomplexen zu (Bild 83/1)!
— Wonach ist die durch Relais A bewirkte Zeitverzögerung einzustellen?

Bei automatisch gesteuerten Vorgängen ist die Zuverlässigkeit der Steuerung abzusichern. Da es technisch nicht möglich ist, Bauelemente herzustellen, die eine absolute Zuverlässigkeit aufweisen, d. h., in einem festgelegten Zeitraum mit *absoluter* Sicherheit *nicht* ausfallen, werden bei besonders wichtigen Steuerschaltungen — z. B. bei Schutzschaltungen — geeignete Vorkehrungen getroffen, um die Sicherheit zu erhöhen. Ein solches Mittel ist der Aufbau eines *zweikanalig* arbeitenden Systems (Bild 84/1).

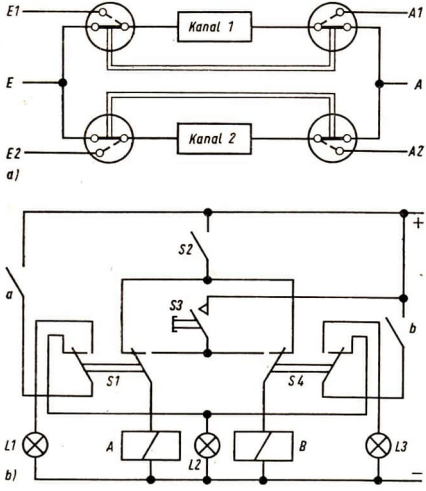


Bild 84/1: Zweikanaliges System
a) Aufbau b) Schaltung
(S2 ≙ E; L2 ≙ A)

Durch den Eingang E werden bei Stellung des Schalters S 1 und des Schalters S 4 in „Betrieb" die Relais A und B *parallel* angesteuert. Der Ausfall eines Relais wirkt sich somit auf das ordnungsgemäße Verarbeiten der Eingangsgröße *nicht* aus. Wird ein Prüfschalter in Stellung „Prüfen" geschaltet, so wirkt das zugehörige Relais nicht mehr auf den Ausgang A und wird nicht mehr vom Eingang E aus angesteuert. Mit S 3 kann auf diese Relais die Eingangsgröße E 1 bzw. E 2 gegeben werden. Das ordnungsgemäße Arbeiten dieses Relais (es entspricht hier einem Kanal) wird durch die Signallampen L 1 bzw. L 2 angezeigt.
Die Erhöhung der Zuverlässigkeit beruht darauf, daß die Wahrscheinlichkeit für das zeitliche Zusammentreffen des Versagens *eines jeden Kanals* viel geringer ist als die Wahrscheinlichkeit für das Versagen *eines einzelnen Kanals*.

Die Ausfallquote eines Kanals (im Beispiel entspricht ein Relais dem Kanal) beträgt z.B. 0,1%, d. h., 1 Versagen bei 1000 Schaltungen. Die Fehlerwahrscheinlichkeit (Verhältnis von Anzahl der Fehler zur Anzahl der Schaltungen) ist also $1/1000 = 10^{-3}$. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens eines zweikanaligen Systems wird entsprechend der Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung wie folgt errechnet:

$$W_{ges} = W_1 \cdot W_2 = 10^{-3} \cdot 10^{-3} = 10^{-6} = 10^{-4}\% = 0{,}0001\%$$

W_{ges} Wahrscheinlichkeit des Versagens des zweikanaligen Systems;
W_1;$_2$ Wahrscheinlichkeit des Versagens der einzelnen Kanäle.

(18) Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit des Versagens eines dreikanaligen Systems (Ausgangswerte wie oben)!

● Erweitern Sie die Schaltung nach Bild 84/1 zu einem dreikanaligen System!

Mit dem Aufbau von mehrkanaligen Systemen ist ein gutes Mittel zur Erhöhung der Zuverlässigkeit vorhanden in dem Sinne, daß Eingangsgrößen die Steuerkette ordnungsgemäß durchlaufen. Ein weiterer Schwerpunkt liegt aber auch darin, Fehlauslösungen zu verhindern. Unter *Fehlauslösungen* wird die Auslösung einer Schutzabschaltung verstanden, die erfolgt, obwohl der technologische Zustand der Anlage eine solche Abschaltung nicht erforderlich macht. Die Ursache hierfür liegt meist in einem unbeabsichtigten fehlerhaften Ansprechen von Grenzwertgebern. Ein Mittel, solche unnötigen Abschaltungen zu verhindern, bilden die sogenannten *Auswahlschaltungen.* Üblich sind Auswahlschaltungen zwei von drei (Bild 85/1), deren Aufbau folgende Überlegungen zugrunde liegen:

— es werden drei gleichberechtigte Geber angeordnet (z. B. drei Kontaktmanometer);
— beim Ansprechen von zwei beliebigen Gebern erfolgt Auslösung der Schutzabschaltung;
— der Defekt an einem Geber führt somit nicht zum Versagen (unterbleibende Auslösung);
— das evtl. Fehlansprechen eines Gebers führt nicht zur Fehlauslösung.

● Entwerfen Sie ein Logikschaltbild und den Stromlaufplan analog Bild 85/1 für eine Auswahlschaltung zwei von vier!

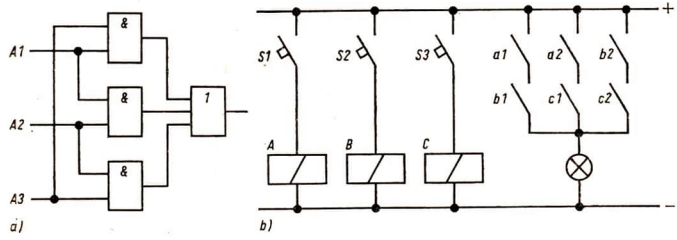


Bild 85/1: Auswahlschaltung zwei von drei a) Logikschaltbild b) Stromlaufplan

4. Regelungstechnik

▶ Die Regelungstechnik realisiert technisch die automatische Konstanthaltung physikalischer Größen technologischer Prozesse auf vorgegebenen Werten.

Das geschieht durch automatische Beeinflussung der Prozesse mittels geeigneter Stelleinrichtungen. Der Wirkungsablauf ist dabei geschlossen. Abweichungen der Ausgangsgrößen von den vorgegebenen Werten werden durch geeignete Einwirkungen auf die Anlage automatisch korrigiert (↗ 4.1.).
Für den Einsatz von Einrichtungen der Regelungstechnik in der materiellen Produktion sind unterschiedliche Gesichtspunkte ausschlaggebend:

— Einsatz von Regelungen für die Konstanthaltung solcher physikalischen oder technischen Größen, die infolge der begrenzten Reaktionsgeschwindigkeit des Menschen von diesem nicht *schnell genug* beeinflußt werden können.

■ Drehzahlregelung eines Turbo-Generators. Wird der Generator vom elektrischen Netz — z.B. infolge einer Störung — getrennt, hat das Aggregat in kürzester Zeit (Richtwert 1 Sekunde) die zulässige maximale Drehzahl überschritten, wenn nicht eingegriffen wird. Diese Aufgabe kann vom Menschen nicht beherrscht werden. Die automatische Drehzahlregelung eines Turbogenerators reagiert jedoch so schnell, daß die maximal zulässige Drehzahl auch im genannten Störungsfall nicht erreicht wird.

— Einsatz von Regelungen in den Fällen, wo zum richtigen Reagieren eine größere Anzahl von Informationen vom Menschen in relativ kurzer Zeit verarbeitet werden müßte. Demzufolge kann der Mensch die entsprechenden Größen nicht mit der *genügenden Genauigkeit* konstant halten. Die automatische Regelung bringt hier eine Qualitätssteigerung.

— Einsatz von Regelungen zur Einsparung von Arbeitskräften. Eine Arbeitskraft (Bedienungspersonal) kann eine weit größere Anzahl von Regelkreisen überwachen. Hier führt die automatische Regelung zu einer Steigerung der Arbeitsproduktivität.

4.1. Begriffe der Regelungstechnik

Die nachfolgend erläuterten grundlegenden Begriffe der Regelungstechnik sind standardisiert (↗ TGL 14591).

▶ Das Regeln — die Regelung — ist ein technischer Vorgang in einem abgegrenzten System, bei dem eine technische oder physikalische Größe — die zu regelnde Größe (*Regelgröße*) — fortlaufend erfaßt und durch Vergleich ihres Signals mit dem Signal einer anderen Größe (*Führungsgröße*) im Sinne einer Angleichung an deren Signal beeinflußt wird. Charakteristisch für das Regeln ist im Gegensatz zum Steuern (↗ 3.1.), daß der Wirkungsweg der Regelung fortlaufend geschlossen ist (Bild 87/1).

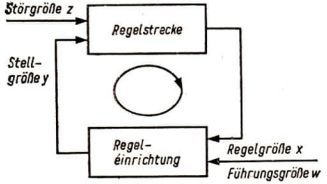


Bild 87/1: Regelung, geschlossener Wirkungsweg

■ Temperaturregelung an einem Kühlschrank

Im Inneren des Kühlschranks ist ein Temperatur-Meßfühler angebracht. Der Meßwert wird auf einen Grenzwert-Schalter übertragen, der bei Erreichen einer maximalen Temperatur das Kälteaggregat einschaltet. Durch die einsetzende Kühlung sinkt die Temperatur. Das wird vom Meßfühler erfaßt. Bei Erreichen einer minimalen Temperatur wird das Kälteaggregat automatisch abgeschaltet. Bild 87/2 zeigt den geschlossenen Wirkungsweg dieser Regelung.

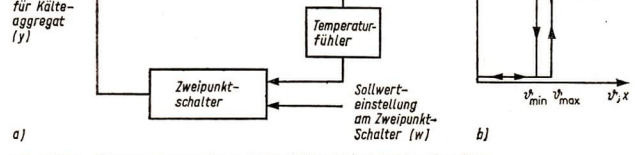


Bild 87/2: Temperaturregelung a) Regelkreis b) statische Kennlinie

In der *Regelungsaufgabe* ist festgelegt, welche Aufgabe gelöst werden soll. *Regelstrecke* ist derjenige Teil der technologischen Anlage, innerhalb dessen die zu regelnde Größe,

die *Regelgröße* (*x*), gebildet wird und durch gewollte Eingriffe mittels eines *Stellgliedes* (z. B. Regelventil) beeinflußt werden kann. Die Regelstrecke ist der zwischen Stellglied und Meßort für die Meßwertentnahme der Regelgröße liegende Teil der technologischen Anlage. Die zur Regelung erforderlichen Einrichtungen heißen *Regeleinrichtungen*. Regelstrecke und Regeleinrichtungen bilden zusammen den *Regelkreis*. Die *Stellgröße* (*y*) ist die Ausgangsgröße der Regeleinrichtung und wirkt unmittelbar auf das Stellglied. Die *Führungsgröße* (*w*) gibt der Regeleinrichtung den Wert vor, den die Regelgröße einnehmen soll. Ist die Führungsgröße zeitlich konstant, so wird sie als *Sollwert* bezeichnet. *Istwert* ist der jeweilige Augenblickswert einer Größe, in der Regelungstechnik vorzugsweise der Wert der Regelgröße. *Störgrößen* (*z*) sind solche Größen, die in *ungewollter* Weise von außen die Regelstrecke oder die Regeleinrichtung beeinflussen. Die *Regelabweichung* (x_w) ist die Differenz zwischen dem Istwert der Regelgröße *x* und der Führungsgröße *w*. Bild 88/1 zeigt die schematisierte Darstellung einer Wasserstandsregelung.

Bild 88/1: Wasserstandsregelung
a) Regelkreis b) statische Kennlinie

Die Vielzahl der *Regelungsarten* läßt sich nach ähnlichen Gesichtspunkten wie die Steuerungsarten (↗ 3.2.) unterscheiden. Unterscheidungsmerkmale sind die Art der Führungsgröße, der Regelgröße, der Hilfsenergie und der Signalverarbeitung (↗ S. 89). Für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Regelungen mit Hilfsenergie lassen sich die Merkmale von Steuerungen mit entsprechender Hilfsenergie analog übertragen (↗ 3.2.). Häufig werden Regelungen mit kombinierter Hilfsenergie angewendet, um die Vorzüge verschiedener Regelungsarten miteinander zu vereinen.

■ Elektro-hydraulische Regelungen vereinen den Vorteil der einfachen Durchführung von Rechenoperationen bei einer elektrischen Regeleinrichtung mit dem Vorteil der sehr großen Stellkräfte einer hydraulischen Regeleinrichtung.

Bild 89/1 zeigt schematisch die Regelung einer Durchflußmenge. Die durch eine Rohrleitung strömende Wassermenge wird durch Verstellen eines Regelventiles in ihrer Größe verändert. Durch eine Meßblende wird die Durchflußmenge gemessen (↗ 2.2.6.2.). In einem elektrischen Regler wird die Durchflußmenge — als Stromwert umgewandelt — mit einem Vorgabewert verglichen und die Differenz zwischen diesen beiden Größen nach Verstärkung einem elektrischen Stellmotor als dessen Eingangsgröße zugeführt. Der Stellmotor verstellt das Stellglied.

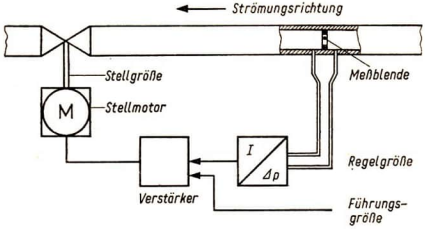


Bild 89/1: Regelung einer Durchflußmenge

- Um was für eine Regelung handelt es sich? (Bild 89/1)
- Bezeichnen Sie diese Regelung
  - nach der Regelgröße;
  - nach der Hilfsenergie;
  - nach der Art der Führungsgröße!
- Ergänzen Sie Bild 89/1 durch die regelungstechnischen Begriffe!

Unterscheidungsmerkmal	Regelungsart (Auswahl)	Erläuterung	Beispiel
Führungsgröße w	Festwertregelung	w ist konstant	Temperaturregelung mit Kontaktthermometer
	Führungsregelung	w ist Funktion einer anderen Größe (außer der Zeit)	Mengenregelung beim Mischen verschiedener Stoffe
	Zeitplanregelung	w ist vorgegebene Zeitfunktion	Temperaturregelung beim Vulkanisieren von Gummi
Regelgröße x	Temperaturregelung	—	—
	Drehzahlregelung	—	—
	Druckregelung	—	—
Hilfsenergie	mechanische Regelung	Hilfsenergie erforderlich	—
	elektrische Regelung		—
	pneumatische Regelung		—
	hydraulische Regelung		—
Signalverarbeitung	stetige Regelung	—	Temperaturregelung eines Kühlschrankes
	Zweipunkt-Regelung	—	
	analog kontinuierliche Regelung	—	

4.2. Regelkreis-Regelstrecke

Bild 90/1 zeigt den Regelkreis für die Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors. Die Regelstrecke ist der Gleichstrommotor. Ausgangsgröße der Regelstrecke ist die Drehzahl, Eingangsgröße die dem Motor zugeführte Spannung (Ankerspannung).

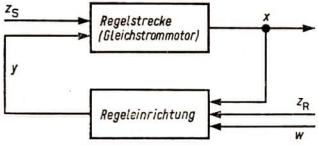


Bild 90/1: Drehzahlregelung eines Gleichstrommotors, Blockschaltplan (x Motordrehzahl; y Ankerspannung; z_S Belastung des Motors; z_R Netzspannung; w proportionaler Wert zur Solldrehzahl)

Die Kenntnis des Verhaltens der Regelstrecke ist eine Grundvoraussetzung zum zweckmäßigen Aufbau des Regelkreises. Hierzu sind wie bei jedem Übertragungsglied zwei Aussagen zu unterscheiden:

— Aussagen über das *statische* Verhalten;
— Aussagen über das *dynamische* Verhalten.

Das dynamische Verhalten muß experimentell ermittelt werden, oder es werden Vorausberechnungen angestellt. Diese erfordern meist umfangreichen mathematischen Aufwand und werden heute im allgemeinen unter Benutzung von EDV-Anlagen durchgeführt. Die Aussagen zum statischen Verhalten sind vielfach relativ einfach zu ermitteln und werden nachfolgend für das Beispiel eines Gleichstrommotors durchgeführt.

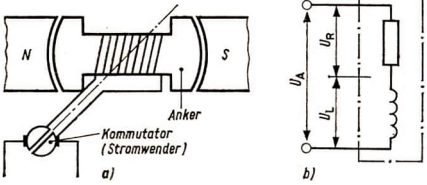


Bild 90/2: Anker eines Gleichstrommotors
a) Aufbau
b) Ersatzschaltbild

- Erklären Sie das elektromotorische Prinzip!
- Beschreiben Sie die Wirkungsweise eines Gleichstrommotors (Bild 90/2)! (↗ Ph i Üb, S. 133f.)
- Nennen Sie Arten von Gleichstrommotoren! (↗ Tech i Üb, S. 196f.)

Wird ein Motor mit einem größeren Drehmoment belastet, verringert sich die Drehzahl der Motorwelle. Eine Vergrößerung der Ankerspannung U_A führt zu einer Erhöhung der Drehzahl. Somit kann die Regelgröße Drehzahl durch die Stellgröße Ankerspannung beeinflußt werden. Damit kann die auf die Regelstrecke wirkende Störgröße Drehmoment ausgeglichen werden. Da zwischen Stellgröße und Regelgröße (also Eingangs- und Ausgangsgröße der Regelstrecke) Proportionalität besteht, wird diese Strecke als „Strecke mit P-Verhalten" bezeichnet.

Die Regeleinrichtung besteht im wesentlichen aus der Drehzahl-Meßeinrichtung (↗ 2.2.5.2.; 2.2.5.3.) und dem Verstärker. Die Ausgangsgröße des Verstärkers ist die Stellgröße Ankerspannung. Sie wird beeinflußt von der Differenz zwischen Führungsgröße und Regelgröße. Als Störgröße wirkt auf den Verstärker u. a. die Änderung der Versorgungsspannung des Verstärkers.
Zum Ablauf der Regelung:

- Zum Zeitpunkt $t = 0$ habe die Regelgröße den gleichen Wert wie die Führungsgröße, die Regelabweichung ist also gleich 0. Am Motor liegt eine konstante Ankerspannung an.
- Die Belastung des Motors ändert sich, das belastende Drehmoment wird größer. Die Drehzahl verringert sich.
- Durch die jetzt zwischen Regelgröße und Führungsgröße bestehende Differenz wird der Verstärker so angesteuert, daß die Ausgangsspannung erhöht wird. Die Drehzahl wird wieder erhöht.

Der Wirkungsablauf der Regelung erfolgt in einem geschlossenen Kreis.

● Erläutern Sie, worin der Unterschied zwischen z_S und z_R besteht! (Bild 90/1)

Die Wirkungsweise einer Regelung wird im folgenden am Beispiel der Handregelung eines Wasserstandes dargestellt. Die konkrete Regelaufgabe lautet:
In einem offenen Becken ist der Wasserstand innerhalb zweier vorgegebener Größen h_{max} und h_{min} durch Drosseln bzw. Vergrößern der Zuflußmenge zu halten.
Hieraus ergeben sich folgende Forderungen:

- Die Höhe des Wasserstandes muß für den Menschen quantitativ erkennbar sein, d. h., sie muß gemessen werden, um sie mit den Vorgabewerten h_{max} und h_{min} vergleichen zu können.
- Die Regelgröße Wasserstand muß *gewollt* beeinflußt werden können. Im Beispiel erfolgt das durch Verstellen eines Ventiles in der Zuflußleitung.

Als Schlußfolgerung hieraus ist zunächst festzuhalten, daß nur solche Größen geregelt werden können, die gemessen werden können.
Der Ablauf einer Regelung von Hand vollzieht sich stets in folgenden Etappen:

- visuelles Erfassen des Meßwertes und gedanklicher Vergleich mit den im Gedächtnis (oder z. B. auch durch Markierungen auf der Skale des Meßinstrumentes) gespeicherten Vorgabewerten;
- Ziehen von Schlußfolgerungen, ob die Stellgröße verkleinert oder vergrößert werden muß;
- Verändern der Stellgröße durch die Körperkraft des Menschen oder durch Steuerung des Ventilantriebes.

Der Ablauf einer automatischen Regelung läßt sich in genau der gleichen Weise untergliedern:

- Erfassen des Meßwertes (Istwert der Regelgröße) und Vergleich mit dem Vorgabewert;
- Ansteuern eines Verstärkers, der in seiner Ausgangsleistung so bemessen ist, daß die für den Motor (Stellmotor) benötigte Leistung von ihm abgegeben werden kann;
- Verändern der Stellgröße durch das Wirken des Stellmotors.

● Stellen Sie die Wasserstandsregelung nach Bild 88/1 a in einem Blockschaltplan dar!

▼ Untersuchen Sie eine selbsttätige Regelschaltung für eine Temperaturregelung! (↗ [6], E 88)
Beantworten Sie bei der Versuchsauswertung zusätzlich die folgenden Fragen (↗ 4.1.):
- Welche Bauelemente bilden die Regelstrecke?
- Benennen Sie Führungs- bzw. Stellgröße!
- Bezeichnen Sie die Regelung nach Art der Signalverarbeitung!

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise einer Niveaustandsregelung! (↗ [7], V 14; V 15)
Beantworten Sie bei der Versuchsauswertung zusätzlich folgende Fragen (↗ 4.1.):
- Welche Bauelemente bilden die Regelstrecke?
- Benennen Sie die Führungs- bzw. Stellgröße!
- Bezeichnen Sie die Regelungsart nach der Art der Signalverarbeitung!

Die Regelstrecke einer Niveaustandsregelung (↗ [7], V 14; V 15) zeigt ein *qualitativ* anderes Verhalten als die Regelstrecke einer Drehzahlregelung (Bild 90/1). Bei der Drehzahlregelung besteht zwischen Regelgröße x und Stellgröße y *proportionales* Verhalten.

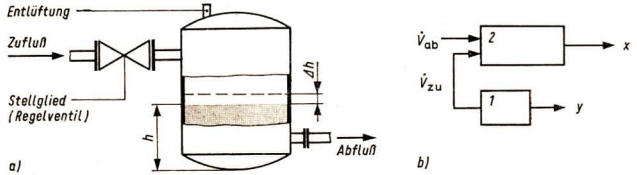


Bild 92/1: Regelstrecke „Behälter" a) Aufbau b) Signalflußplan

Das Verhalten der Regelstrecke „Behälter" wird nachfolgend beschrieben (Bild 92/1). Die Höhe des Wasserstandes ist abhängig von der im Behälter befindlichen Wassermenge. Sie bleibt konstant, wenn die Zuflußmenge gleich der Abflußmenge ist. Wird die Zuflußmenge durch die Stellgröße y bestimmt und ist die Abflußmenge die Störgröße z, so gelten — Proportionalität zwischen y und Zuflußmenge vorausgesetzt — folgende Beziehungen:

$$\dot{V}_{zu} = c_1 \cdot y$$
$$\dot{V}_{ab} = z$$
$$h = x$$

$\dot{V}_{zu}$ Zuflußmenge in $m^3\,h^{-1}$
$\dot{V}_{ab}$ Abflußmenge in $m^3\,h^{-1}$
h Wasserstand in cm.

Bei $\dot{V}_{zu} \neq \dot{V}_{ab}$ steigt bzw. fällt der Wasserstand. Der Behälter wirkt als Speicher. Die mathematischen Beziehungen lauten:

$$\Delta h = c_2 \cdot (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_{ab}) \cdot \Delta t\,.$$

Die Konstante c_2 ist durch die Behälterabmessungen bestimmt. Sie gibt an, um welche

Höhe sich der Wasserstand bei einer Änderung des im Behälter enthaltenen Wasservolumens ändert. Obige Beziehung kann umgestellt werden in:

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = c_2 \cdot (\dot{V}_{zu} - \dot{V}_{ab})$$

oder unter Verwendung der regelungstechnischen Bezeichnungen

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = c_2 \cdot (c_1 \cdot y - z) = c_1 \cdot c_2 \cdot y - c_2 \cdot z$$

Daraus folgt: Nicht die Regelgröße x sondern deren *Änderungsgeschwindigkeit* ist der Stellgröße y proportional. Solche Regelstrecken werden als „integrale Regelstrecken" bezeichnet.

● Berechnen Sie die Konstante c_2 für einen stehenden zylindrischen Behälter mit einem Durchmesser von 2 m!

4.2.1. Verstärker im Regelkreis

Verstärker realisieren in der Regelungstechnik im wesentlichen folgende Aufgabenstellungen:

— Differenzbildung zwischen Regelgröße und Führungsgröße, zwischen Istwert und Sollwert sowie Ausführung weiterer Rechenoperationen;
— Aufbringen der erforderlichen Leistung zur Verstellung des Stellgliedes mit Hilfe des Stellmotors.

Die Differenzbildung zwischen Istwert und Sollwert erfolgt bei elektrischen Verstärkern durch vorzeichenrichtige Addition von Strömen oder Spannungen. Die Eingangsgrößen für die Verstärker liegen heute fast ausnahmslos in Form von Einheitssignalen vor (↗ 2.3.3.).

▼ Untersuchen Sie die Gesetzmäßigkeiten der Parallelschaltung von Widerständen! (↗ [5], E 5)

▼ Führen Sie einen Versuch zur Differenzbildung von elektrischen Strömen nach der in Bild 93/1 dargestellten Schaltung durch!

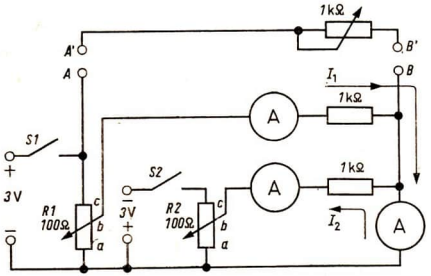


Bild 93/1: Differenzbildung von Strömen

Benötigte Bauelemente und Geräte

2 Batteriebausteine
3 Vielfachmeßinstrumente
2 Stellschalter
2 Regelwiderstände 100 Ω
1 Regelwiderstand 1kΩ
2 Widerstände 1 kΩ

Versuchsdurchführung

- Bauen Sie die Versuchsschaltung nach Bild 93/1 auf! (Die Verbindung A—A' und B—B' wird zunächst nicht hergestellt.) Achten Sie auf richtige Polung der Strommesser!
- Stellen Sie die Schleifer der Regelwiderstände R 1 und R 2 in Stellung a!
- Schalten Sie die Strommesser auf den Meßbereich 3 mA!
- Schalten Sie die Stellschalter S 1 und S 2 ein!
- Verstellen Sie den Schleifer von R 1 stufenweise so, daß ein Strom von 0,5 mA; 1,0 mA; 1,5 mA; ... ; 3 mA über M 1 fließt!
- Lesen Sie die jeweiligen Werte an M 1, M 2 und M 3 ab! Stellen Sie eine Tabelle mit diesen Werten zusammen!
- Wiederholen Sie das Verstellen des Schleifers von R 1! Verstellen Sie aber bei jedem Stromwert, den M 1 anzeigt, den Schleifer von R 2 so, daß über M 3 kein Strom fließt!
- Lesen Sie den jeweils zugehörigen Wert von M 2 ab und fertigen Sie eine Tabelle wie oben an!

In der aufgebauten Schaltung (Bild 93/1) darf der über M 2 fließende Strom niemals größer als der über M 1 fließende sein, da M 3 nur positive Werte anzeigen kann. Das kann verändert werden

- durch Verwendung eines Meßinstrumentes, bei dem durch die *Konstruktion* der Nullpunkt in der Mitte der Skale liegt;
- durch elektrische Nullpunkt-Verschiebung (konstanter Strom, der zusätzlich über das Meßwerk geleitet wird).
- Ergänzen Sie die Schaltung durch Herstellen der Verbindung A—A' und B—B'!
- Stellen Sie folgenden Ausgangszustand her:
  Strom über M 1 = 0;
  Strom über M 2 = 0;
  Strom über M 3 = 3 mA (Meßbereich 6 mA; Einstellung mit R 3 vornehmen!)
- Wiederholen Sie die Versuchsdurchführung!

Versuchsauswertung

- Stellen Sie die mathematische Beziehung zwischen I_1, I_2 und I_3 auf!

Analog zur Differenzbildung von Strömen läßt sich eine Differenzbildung von Spannungen durchführen (Bild 95/1).

▼ Wiederholen Sie die Gesetzmäßigkeiten der Reihenschaltung von Spannungsquellen bzw. Widerständen! (↗ [5], E 1; E 3)

▼ Entwickeln Sie eine Versuchsdurchführung analog zum Versuch „Differenzbildung von Strömen"! (↗ S. 93f.) Führen Sie den von Ihnen entwickelten Versuch zur Differenzbildung von Spannungen durch!

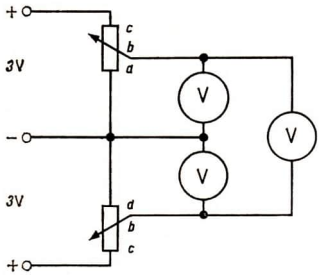


Bild 95/1: Differenzbildung von Spannungen

Bei Verstärkern sind u. a. zwei Unterscheidungsmerkmale von besonderer Bedeutung:

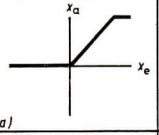
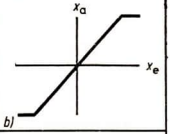
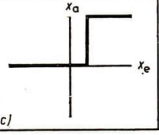
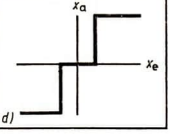
— Die Ausgangsgröße wird in Abhängigkeit von der Eingangsgröße ihrem Wert nach verändert. Die Richtung der Ausgangsgröße (z. B. Strom) bleibt jedoch erhalten.

■ Ein- und Ausschalten elektrischer Heizwiderstände in Abhängigkeit von der Temperatur.

— Die Ausgangsgröße wird in Abhängigkeit von der Eingangsgröße wertmäßig und richtungsmäßig verändert.

■ Verstärker, an deren Ausgang ein Elektromotor angeschlossen ist, der die Verstellung eines Stellgliedes (z. B. Regelventil) bewirkt. Die Verstellung muß in beiden Richtungen — in Richtung „Auf" und in Richtung „Zu" — erfolgen können. Der Motor muß demzufolge beide Drehrichtungen ausführen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal von Verstärkern besteht darin, ob zwischen Ausgangsgröße und Eingangsgröße Proportionalität besteht, oder ob die Ausgangsgröße Zwei- oder Mehrpunktverhalten zeigt (Übersicht 95/1).

Ausgangsgröße	*ändert sich in ihrem Betrag*	*ändert sich in Betrag und Richtung*
stetig	 *a)*	 *b)*
binär	 *c)*	 *d)*

Übersicht 95/1: Verhalten von Verstärkern, Ausgangsgröße als Funktion der Eingangsgröße

Endverstärker, in denen die Ausgangsgröße wert- und richtungsmäßig verändert wird bilden fast ausnahmslos zusammen mit dem Stellmotor und der Stellgröße eine Einheit, die als Regelkreis ausgebildet ist (Bild 96/1). Dadurch wird erreicht, daß die Eingangsgröße des Verstärkers der Stellgröße y proportional ist. Es handelt sich somit um eine Folgeregelung.

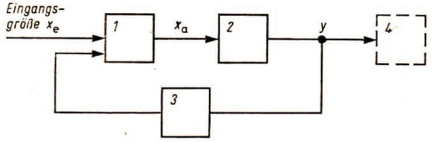


Bild 96/1: Verstärker mit Stellmotor als Folgeregelkreis (1 Verstärker; 2 Stellantrieb mit Getriebe 3 Meßeinrichtung für Stellgröße y; 4 Stellglied)

Die Wirkungsweise dieser Folgeregelung wird im folgenden beschrieben.

Auf den Eingang des Verstärkers wirken:

— Eingangsgröße = Ausgangsgröße des vorgeschalteten Übertragungsgliedes (oft ein Rechenverstärker);
— Meßwert der Stellgröße.

Die Aussteuerung des Verstärkers erfolgt durch die Differenz beider Größen, so daß für die Ausgangsgröße des Verstärkers gilt:

$$x_a = k \cdot (x_e - y)$$

x_a Ausgangsgröße
x_e Eingangsgröße
y Stellgröße
k Konstante (beinhaltet u. a. den Verstärkungsfaktor).

Die Stellgröße wird durch einen Meßwertgeber erfaßt und dem Verstärker in Form eines geeigneten Signales zugeführt. Die Drehzahl des Stellmotors ist x_a proportional, d. h., die Verstellung des Stellgliedes erfolgt um so schneller, je größer die Abweichung zwischen x_e und y ist. Die Stellgeschwindigkeit wird 0 (Stellglied befindet sich in Ruhe), wenn zwischen x_e und y Gleichheit besteht. Ein solcher stetig arbeitender Verstärker müßte eine Kennlinie nach Übersicht 95/1 b haben. Diese Bedingung ist zunächst bei den allgemein bekannten Verstärkern nicht erfüllt.

● Analysieren Sie auf der Grundlage der Kennlinien nach Übersicht 95/1, welche Verstärkerart in den Versuchsschaltungen zur Niveauregelung bzw. Beleuchtungsregelung (↗ [7], V 14; V 15; V 17) vorliegt!

Für einen Folgeregelkreis, bei dem eine mechanische Größe durch einen elektrischen Stellmotor in *beiden* Richtungen betätigt werden muß, ist Bedingung, daß der Stellmotor beide Drehrichtungen ausführen kann. Hierzu ist ein unstetig arbeitender Verstärker (Kennlinie nach Übersicht 95/1 d) geeignet. Bild 97/1 zeigt eine Schaltung hierzu.

Der Verstärker weist folgende Stufen auf:
— Eingangsstufe mit Differenzbildung zwischen Führungsgröße und Stellgröße;
— Vorstufe; sie liefert die Ausgangsspannung für die beiden folgenden Kanäle (Betätigungsrichtung „Auf" bzw. „Zu");

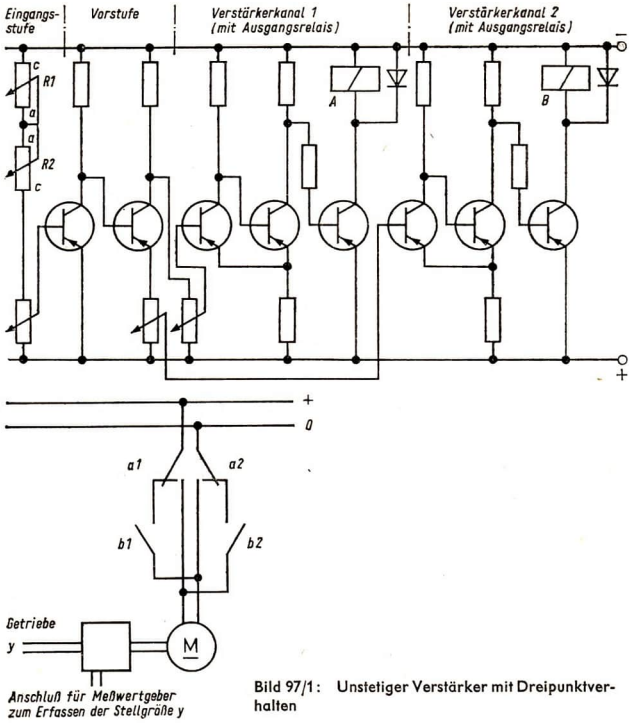


Bild 97/1: Unstetiger Verstärker mit Dreipunktverhalten

- parallele Verstärkerkanäle; aus zwei *Schmitt-Triggern* gebildet (↗ *Schmitt-Trigger*, [6], E 64; E 65);
- Ausgangsrelais zur Verstärkung des Ausgangssignales und zur Verriegelung (↗ 3.).

Wirkungsweise der Eingangsstufe. Die auf den Eingang des Verstärkers wirkenden Größen — Führungsgröße *w* und Stellgröße *y* — sind in Widerstandswerte umgewandelt. Mit der Führungsgröße *w* wird der Widerstand R 1 und mit der Stellgröße *y* der Widerstand R 2 so verstellt, daß zwischen den Widerstandswerten und den genannten Größen Proportionalität besteht. Der Anschluß erfolgt so, daß nach *Vergrößerung von* R 1 die durch Aussteuerung des Verstärkers erfolgende Veränderung der Stellgröße y eine *Verkleinerung von R* 2 bewirkt.

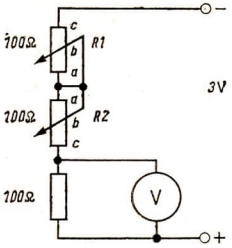


Bild 98/1: Eingangsstufe, Versuchsschaltung

▼ Untersuchen Sie die Eingangsstufe eines unstetigen Verstärkers mit 3-Punkt-Verhalten!

Benötigte Bauelemente und Geräte

2 Regelwiderstände 100 Ω
1 Widerstand 100 Ω
1 Batteriebaustein
1 Vielfachmeßinstrument

Versuchsdurchführung

— Bauen Sie die Schaltung nach Bild 98/1 auf!
— Stellen Sie den Schleifer von R 1 auf a und den von R 2 auf c!
— Messen Sie die Spannung (Meßbereich: 3 V)!
— Verändern Sie die Einstellung von R 1 (Schleifer etwa in Mittelstellung)!
— Stellen Sie R2 so nach, daß am Meßinstrument die ursprüngliche Spannung anliegt!
— Verstellen Sie nochmals R 1 und zwar so, daß
  a) *R* 1 verkleinert wird;
  b) *R* 1 vergrößert wird!
— Stellen Sie die Vorzeichen der Abweichung gegenüber der ursprünglichen Spannung fest!
— Durchfahren Sie den ganzen Bereich der Einstellung von R 1 (etwa von 30° zu 30°)!
— Stellen Sie jeweils R 2 nach, und schätzen Sie die erforderliche Winkelverstellung ein, die Sie zum Herstellen der ursprünglichen Spannung vornehmen müßten!

Versuchsauswertung

— Skizzieren Sie ein Diagramm $\alpha_{R2} = f(\alpha_{R1})$ für $\Delta U = 0$ (α_{R2}; α_{R1} = Winkelstellung des Schleifers)!
— Welcher Zusammenhang besteht zwischen α_{R1} und α_{R2}?
— Berechnen Sie, welche Spannungsänderung eine Änderung von R 1 um 10 Ω bewirkt! (Ausgangsbedingungen $R\,1 = R\,2 = 50\ \Omega$)

Wirkungsweise der Vorstufe. Die Aufgabe der Vorstufe ist es, die zur Ansteuerung der nachfolgenden parallelen Verstärkerkanäle notwendige Spannung zu erzeugen.

Die Verstärkerkanäle müssen dabei gegensinnig angesteuert werden, d. h., bei positiver Änderung der Eingangsspannung dieser Stufe muß der eine Kanal, bei negativer Spannungsänderung der andere Kanal positiv angesteuert werden.

■ Die Eingangsspannung ändere sich um +0,2 V. Die Ausgangsspannung der Vorstufe für die Ansteuerung des einen Kanals ändert sich dann z. B. um +0,5 V, für die des anderen Kanals um −0,5 V.

▼ Untersuchen Sie die Schaltung für einen Transistor als Regelwiderstand! (↗ [5], E 52) Vergleichen Sie die Schaltung mit der Schaltung nach Bild 97/1!

▼ Untersuchen Sie die Arbeitsweise der Vorstufe eines Verstärkers!

Benötigte Bauelemente und Geräte

4 Regelwiderstände 1 kΩ
1 Widerstand 1,8 kΩ
1 Widerstand 500 Ω
1 Widerstand 200 Ω
2 Batteriebausteine
2 Vielfachmeßinstrumente
1 Stellschalter

Versuchsdurchführung

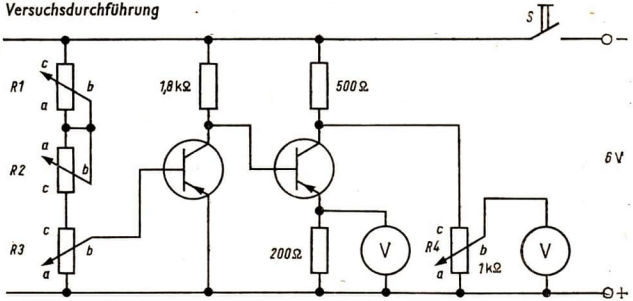


Bild 99/1: Vorstufe, Versuchsschaltung M 2 M 1

— Bauen Sie die Versuchsschaltung nach Bild 99/1 auf!
— Stellen Sie folgende Einstellungen her:
  Schleifer b von R 1 in Stellung c,
  Schleifer b von R 2 in Stellung a,
  Schleifer b von R 3 in Stellung a,
  Schleifer b von R 4 in Stellung c!
— Stellen Sie an M 1 und M 2 den Meßbereich 1,5 V ein!
— Schalten Sie den Stellschalter S ein!
— Verstellen Sie R 3 so, daß an M 2 etwa 3 V anliegen!
— Verstellen Sie R 4 so, daß an M 1 die gleiche Spannung wie an M 2 anliegt!
— Verstellen Sie R 1 stufenweise um etwa je 30°! Lesen Sie die zugehörigen Werte an M 1 und M 2 ab und notieren Sie diese!

— Wiederholen Sie die Verstellung von R 1; verändern Sie jedoch jeweils R 2 so, daß die Wirkung der Verstellung von R 1 aufgehoben wird!

Versuchsauswertung

— Stellen Sie die Beziehungen zwischen der an M 1 und M 2 anliegenden Spannungen und der Stellung des Regelwiderstandes R 1 für R 2 = konstant und Schleifer b in Stellung a grafisch dar!
— Erklären Sie, wieso die Wirkung der Verstellung von R 1 durch eine Verstellung von R 2 aufgehoben wird!

Wirkungsweise der Verstärkerkanäle. Die Verstärkerkanäle werden durch je einen *Schmitt-Trigger* gebildet.

▼ Untersuchen Sie die Wirkungsweise eines *Schmitt-Trigger*! (↗ [6], E 64; E 65)

Wirkungsweise der Ausgangs-Relais. Die Relais dienen als elektro-mechanische Verstärker. Dadurch können auch Stellantriebe größerer Leistung angeschlossen werden. Die Relais sind außerdem erforderlich, um durch die jeweils unterschiedliche Polung die richtige Drehrichtung zu bewirken.
Bild 97/1 weist die Schaltung dafür aus. Die Relaiskontakte sind außerdem noch so geschaltet, daß auch bei gleichzeitigem Anziehen beider Relais (Störungsfall) kein Kurzschluß entsteht. Bei der angewendeten Schaltung hätte in einem solchen Fall eine der beiden Drehrichtungen den Vorrang.

● Entwerfen Sie eine Schaltung, bei der im Störungsfall (gleichzeitiges Anziehen beider Relais) der Motor nicht eingeschaltet wird!

Pneumatische und hydraulische Verstärker arbeiten vielfach noch auf dem Grundprinzip Düse — Prallplatte (Bild 100/1). Die Eingangsgröße des Verstärkers verschiebt die Prallplatte so, daß diese die Düse mehr oder weniger verschließt. Die Hilfsluft H (bzw. Hydraulikflüssigkeit) wird über eine Blende B zugeführt. Der Druck nach dieser Blende (das übrige System sei geschlossen) ist nur von der Stellung der Prallplatte abhängig. Bei kleinerem Öffnungsspalt zwischen Prallplatte und Düse ist er höher als bei größerem Öffnungsspalt.

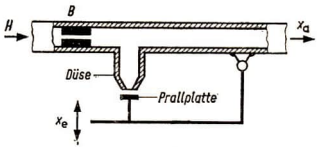


Bild 100/1: Grundprinzip Düse — Prallplatte (x_e Eingangsgröße, Stellung der Prallplatte; H Hilfsluft; B Blende; x_a Ausgangsgröße, Druck der Austrittsluft)

● Führen Sie den Beweis für die vorstehende Aussage, indem Sie extreme Bedingungen annehmen:

— Öffnungsspalt gleich 0 (völlig verschlossene Düse);
— Öffnungsspalt sehr groß (völlig freie Düse)!

4.2.2. Stellantriebe

Stellantriebe verstellen das Stellglied sofern es mechanisch verstellt wird.

Stellantriebe sind nach der verwendeten Energieform zu unterscheiden in:

- elektrische Stellantriebe;
- pneumatische Stellantriebe;
- hydrauliche Stellantriebe.

Die Eingangsgröße des Stellantriebes ist die Ausgangsgröße eines vorgeschalteten Verstärkers oder Wandlers. Die Ausgangsgröße des Stellantriebs ist die Stellgröße y. Stellantriebe sind zum anderen nach der Art der Signalverarbeitung zu unterscheiden in

- stetig arbeitende Stellantriebe;
- binär arbeitende Stellantriebe.

Die Auswahl von Stellantrieben ist durch die Art des Stellgliedes bestimmt. Stetig arbeitende Stellantriebe können das Stellglied in jede Stellung zwischen 0% und 100% (z. B. zwischen „Auf" und „Zu" bei Regelventilen) stellen. Mit binär arbeitenden Stellantrieben kann das Stellglied nur in die Stellung 0% oder in die Stellung 100% gebracht werden. Zwischenstellungen sind hier nicht möglich.

Elektrische Stellantriebe. Als stetig arbeitende Stellantriebe werden E-Motoren eingesetzt. Vorrangig sind das solche Antriebe, die auf Grund ihrer Konstruktion im Stillstand, d. h. bei völlig geschlossenem oder geöffnetem Stellglied, verharren können, ohne abgeschaltet zu werden. Dabei tritt nur eine geringfügige Erwärmung des Stellantriebes ein.
Zur Anpassung der Ausgangsgröße des Stellantriebes an das Stellglied dient ein Getriebe. Stellantrieb (einschließlich Getriebe) und Stellglied sind oft konstruktiv zu einer Einheit zusammengefaßt.
Als binär arbeitende elektrische Stellantriebe werden Elektromagnete eingesetzt. Ein Beispiel hierfür ist das Magnetventil. Je nach Ausführung wird das Ventil bei Stromdurchgang durch eine Magnetspule dadurch geöffnet oder geschlossen, daß die Magnetspule einen mit der Ventilspindel fest verbundenen Anker gegen eine Federkraft bewegt.

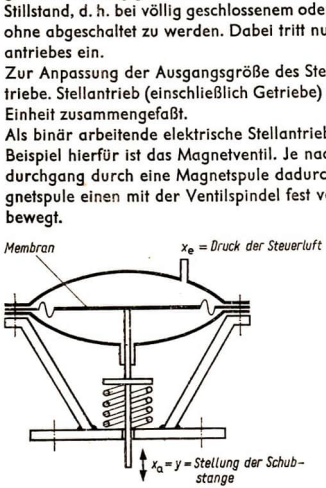


Bild 101/1: Pneumatischer Stellantrieb

Pneumatische Stellantriebe. Pneumatische Stellantriebe in Regelungen arbeiten häufig nach dem Prinzip einer einseitig mit Hilfsluft beaufschlagten Membran, die die Verstellung der Stellgröße y gegen eine Federkraft bewirkt (Bild 101/1). Pneumatische Stellantriebe dienen zum Stellen von Klappen und Regelventilen für Stoffströme.

(19) Berechnen Sie, welche Kraft mit dem pneumatischen Stellantrieb nach Bild 101/1 bei einem Druck der Arbeitsluft von 78,5 kPa ($\approx$ 0,8 kp cm^{-2}) und einem wirksamen Membrandurchmesser von 250 mm aufgebracht werden kann!

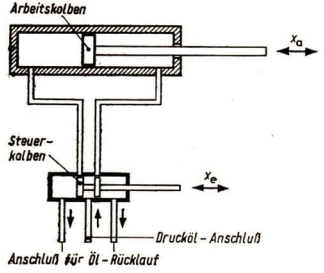


Bild 102/1: Hydraulischer Stellantrieb mit Steuerkolben

Hydraulische Stellantriebe. Hydraulische Stellantriebe werden in Regelungen eingesetzt, wenn große Stelleistungen erforderlich sind. Die Stellantriebe sind meist doppelseitig beaufschlagte Kolben, so daß in jeder Stellrichtung große Kräfte erzeugt werden können (Bild 102/1).

Hydraulische Stellantriebe betätigen z. B. Dampfdruck-Reduzierventile in Wärmekraftanlagen oder elektrische Hochleistungsschalter bei der Übertragung von Elektroenergie.

Eigenschaft / Stellantrieb	Stellgeschwindigkeit	Stellkraft	Arbeitsweise	Bemerkungen
elektrisch	mittel	mittel	stetig	
pneumatisch (einseitig mit Druckluft beaufschlagte Membran)	mittel	mittel	stetig	Explosionsschutz vorhanden
Zugmagnet	sehr hoch	gering	binär	
hydraulisch (beidseitig mit Drucköl beaufschlagter Kolben)	sehr hoch	sehr groß	stetig	großer Aufwand durch Einrichtungen zur Drucköl-versorgung

Übersicht 102/1: Eigenschaften verschiedener Stellantriebe

⑳ Berechnen Sie, welche Stellkraft bei einem Druck der Hydraulikflüssigkeit von 3920 kPa ($\approx$ 40 kp cm^{-2}) und einem Kolbendurchmesser von 50 mm in jeder Stellrichtung aufgebracht werden kann (Durchmesser der Schubstange: 20 mm)!

4.2.3. Stellglieder

▶ Durch die Stellglieder erfolgt die gewollte Einwirkung auf die Regelgröße. Dabei werden immer Stoff- oder Energieströme verändert.

■ Im Regelkreis einer Wasserstandsregelung (↗ Bild 88/1 a) wird die Zuflußmenge durch ein Regelventil beeinflußt. Das Regelventil ist das Stellglied des Regelkreises. Es verändert den *Stoffstrom* „Zuflußmenge".
Im Regelkreis der Mengenregelung nach Bild 89/1 beeinflußt das Regelventil den *Stoffstrom* „Durchflußmenge".
Bei der Drehzahlregelung nach Versuch V 17 (↗ [7]) ist das Relais das Stellglied. Durch Schließen bzw. Öffnen des Relaiskontaktes wird hier ein *Energiestrom* (Leistung des Motors) verändert.
Bei der Niveaustandsregelung gemäß Versuch V 14 (↗ [7]) ist ebenfalls ein Relais das Stellglied. Durch Schließen bzw. Öffnen des Relaiskontaktes wird hier die Zuführung von Elektroenergie (*Energiestrom*) zum Pumpenmotor hergestellt bzw. unterbrochen.

Aus diesen Beispielen sind die qualitativen Unterschiede der verschiedenen Stellglieder zu erkennen. Grundsätzlich lassen sich die Stellglieder nach Art der Signalverarbeitung einteilen in
— stetig arbeitende Stellglieder;
— binär arbeitende Stellglieder.
Bild 103/1 zeigt die wesentlichen Merkmale dieser Stellglieder, die in den entsprechenden Kennlinien zum Ausdruck kommen.

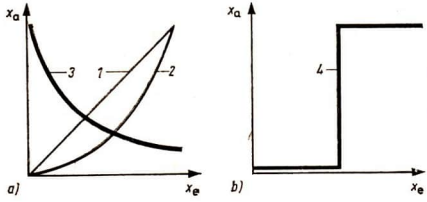


Bild 103/1: Kennlinien von Stellgliedern
a) stetig arbeitend
b) unstetig arbeitend
(1 Regelventil mit linearer Kennlinie; 2 Regelventil mit nichtlinearer Kennlinie; 3 elektrischer Widerstand; 4 Zugmagnet)

Bei stetig arbeitenden Stellgliedern (z. B. Regelventil mit pneumatischem Stellantrieb) ist Bedingung, daß über den gesamten Stellbereich zwischen Ausgangs- und Eingangsgröße (Stoffstrom und Stellgröße y) definierte Zusammenhänge bestehen, daß die Kennlinien einen bestimmten Verlauf aufweisen. Die Forderungen sind also weitergehend als bei binär arbeitenden Stellgliedern, bei denen nur ein zuverlässiges Öffnen und Schließen gefordert wird. Bild 104/1 zeigt, wie das bei der Konstruktion des Ventilkegels berücksichtigt wird.

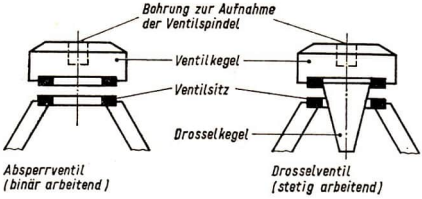
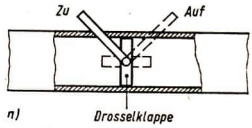
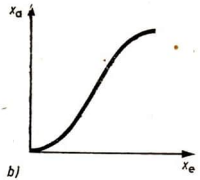


Bild 104/1: Kegelformen von Stellventilen





x_e = Eingangsgröße = Stellung der Drosselklappe

x_a = Ausgangsgröße = durch die Drosselklappe freigegebener Querschnitt

Bild 104/2: Drosselklappe
a) Aufbau
b) Kennlinie

Bild 104/2 zeigt eine Klappe zum Regulieren eines Luftstromes und ihre Kennlinie. Geben Sie eine Erklärung wodurch der Verlauf der Kennlinie bedingt ist! (Näherungsweise ist für die Durchströmmenge der senkrecht zur Strömungsrichtung freie Querschnitt bestimmend.)

Im folgenden wird eine Übersicht ausgewählter Stellglieder gegeben.

Stellglied	Arbeitsweise	Anwendung
Regelventil Regelklappe	stetig	Beeinflussung von Stoffströmen
Absperrventil (Magnetventil)	binär	Beeinflussung von Stoffströmen
elektrischer Widerstand	stetig	Beeinflussung eines Energiestromes
elektro-mechanischer Schalter	binär	Beeinflussung eines Energiestromes; Hauptanwendung bei Zweipunktregelungen
Regeltrafo	stetig	Beeinflussung eines Energiestromes; z.B. durch Verändern der Steuerspannung eines Quecksilberdampfgleichrichters

4.2.4. Leitgeräte

Leitgeräte sind Bausteine eines Regelungssystems, durch die die Kontrolle des ordnungsgemäßen Arbeitens der einzelnen Regelkreise erfolgt und durch die erforderlichenfalls von Hand in den Regelkreis eingegriffen werden kann.

Bild 105/1 zeigt ein elektrisches Leitgerät der ursacord-Nulltrend-Reihe aus dem System ursamat. Dieses Leitgerät gibt folgende Informationen:
- Anzeige des Sollwertes;
- Anzeige des Istwertes;
- Anzeige der Stellung des Stellgliedes.

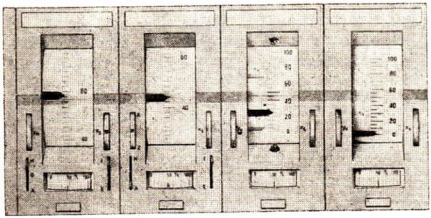


Bild 105/1: Elektrisches Leitgerät der ursacord-Nulltrend-Reihe

Folgende Eingriffe können vorgenommen werden:

Einstellung und Anzeige des Soll- und Istwertes. Die durch das x_S-Handrad verdrehbare Skale ist genau wie das Leitgerät selbst hochkant gestellt. Mit Verdrehen der Skale wird gleichzeitig ein Potentiometer verstellt. Diese Anordnung ist so abgeglichen, daß dadurch der hinter einem durchsichtigen farbigen Balken der Skalenscheibe (Bild 105/1) liegende Skalenwert dem Sollwert entspricht. Diese Anordnung bringt folgenden Vorteil: Der den Istwert anzeigende Skalenzeiger liegt bei Einhaltung der Regelgröße auf den Sollwert ebenfalls hinter dem farbigen Balken. Auch bei einer Vielzahl von nebeneinander angeordneten Leitgeräten, wie das in Warten der Fall ist, ist es dem Bedienungspersonal möglich, mit einem Blick zu erkennen, ob in einem der Regelkreise die Regelgröße unzulässig vom Sollwert abweicht. Bei Abweichung erscheint der Skalenzeiger außerhalb des „Balken-Bereiches".

Umschaltung Automatik — Hand, Anzeige der Stellung des Stellgliedes und Verstellung des Stellgliedes von Hand. Die Umschaltung Automatik — Hand erfolgt durch einen kleinen Kippschalter. Die Verstellung des Stellgliedes kann bei Stellung H (Hand) durch das Handrad y_H erfolgen. Angezeigt wird die Stellung des Stellgliedes durch ein in % geeichtes kleines Meßinstrument, das im unteren Teil des Leitgerätes eingebaut ist.

Umschaltung des Sollwertes „extern" — „intern". Die Umschaltung erfolgt durch Betätigen eines kleinen Kippschalters. Dadurch wird der Istwert der Regelgröße nicht mehr mit dem im Leitgerät gebildeten Sollwert, sondern mit einem extern gebildeten Sollwert verglichen. Der externe Sollwert kann dabei ebenso ein Festwert, wie auch eine zeitlich veränderliche Führungsgröße sein.

5. Anleitungen zum Bau von Demonstrationsmodellen

Die Anleitungen sind so aufgebaut, daß sie die Prinzipien und Grundzüge für den Bau der Demonstrationsmodelle aufzeigen, ohne alle konstruktiven Einzelheiten vorzuschreiben. Die Hinweise zu den Bauelementen und Materialien sind als Orientierung zu betrachten.

5.1. Erstwertsignalisierung

Aufgabenstellung

Vier Grenzwerte können in zeitlich unterschiedlicher Reihenfolge und Zeitabständen erreicht werden. Bei Auftreten eines Grenzwertes erfolgt dessen Übertragung durch Schließen einer Leiterschleife. Durch eine geeignete Schaltung ist der erste auftretende Grenzwert zu speichern und durch ein optisches Signal zu signalisieren. Eine Speicherung des ersten Grenzwertes bedeutet, daß auch nach Rückgang des Grenzwertes die optische Signalgabe erhalten bleiben muß. Eine Verarbeitung der weiter einlaufenden Grenzwerte erfolgt nicht.
Die Erstwertsignalisierung muß quittierbar sein. Nach Betätigung einer Quittiertaste muß das optische Signal verlöschen. Es kann davon ausgegangen werden, daß bei Quittierung kein Grenzwert mehr ansteht.
Die Signallampen müssen durch Betätigen einer Taste geprüft werden können. Die Funktionsfähigkeit der Erstwertsignalisierung muß auch während der Lampenprüfung erhalten bleiben.
Zusammengefaßt ergeben sich somit folgende Teilaufgaben:

1. Speichern des ersten einlaufenden Signales;
2. optisches Signalisieren des ersten einlaufenden Signales;
3. Sperren der Speicherung und Signalisieren von weiter einlaufenden Signalen;
4. Rückstellen des optischen Signales durch Quittieren;
5. Prüfen der Lampen ohne Beeinträchtigung der Funktion der Erstwertsignalisierung.

Schaltung

Bild 107/1 zeigt die vollständige Schaltung des Demonstrationsmodells.
Die Wirkungsweise der Schaltung wird nachfolgend beschrieben, indem die Lösungen der einzelnen Teilaufgaben aufgezeigt werden.

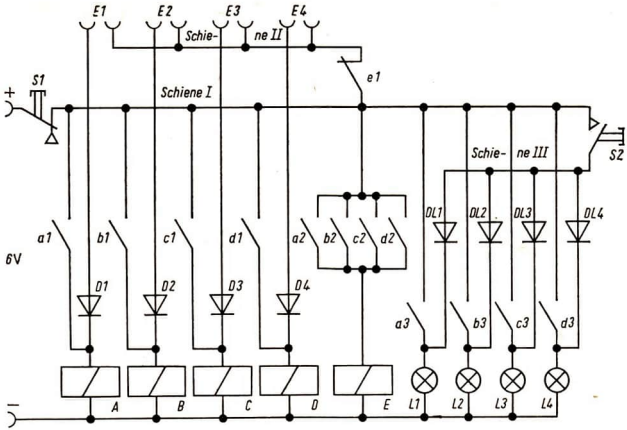


Bild 107/1: Erstwertsignalisierung, Schltung des Demonstrationsmodelles

Lösung Teilaufgabe 1:

Das Schließen einer Leiterschleife (≙ erreichter Grenzwert) bewirkt das Anziehen des zugehörigen Relais. Der Stromkreis ist dabei wie folgt geschlossen (Beispiel für geschlossene Leiterschleife 1):

+ → Schiene I → Relaiskontakt e 1 → Schiene II → Leiterschleife 1 → Diode D 1 → Relais A → –

Relais A zieht und hält sich über a 1 selbst.

Lösung Teilaufgabe 2:

Durch Relaiskontakt a 3 erhält L 1 Spannung.

Lösung Teilaufgabe 3:

Durch Relaiskontakt a 2 (Relais A hatte angezogen) wird Relais E zum Anziehen gebracht. Relaiskontakt e 1 öffnet, Schiene II wird spannungslos. Damit können auch beim Schließen der übrigen Leiterschleifen die zugehörigen Relais nicht mehr zum Anziehen gebracht werden. Die Dioden D 1 bis D 4 verhindern, daß Schiene II bei geschlossener Leiterschleife Spannung auf folgendem Weg erhält: + → Schiene I → Relaiskontakt a 1 → Leiterschleife 1 (bei nicht vorhandener Diode D 1) → Schiene II (als Beispiel wurde geschlossene Leiterschleife 1 gewählt).

Lösung Teilaufgabe 4:

Durch Betätigen von S 1 wird die gesamte Schaltung kurzzeitig spannungslos. Alle gezogenen Relais fallen ab, der Ausgangszustand ist wieder hergestellt.

Lösung Teilaufgabe 5:

Durch Betätigen von S 2 erhalten Schiene III und damit L 1 bis L 4 Spannung. Die Dioden DL 1 bis DL 4 sorgen für Entkopplung (ohne Dioden wären L 1 bis L 4 immer parallel geschaltet).

Mechanischer Aufbau

Der mechanische Aufbau muß so erfolgen, daß eine feste Montage aller mechanischen Bauelemente gewährleistet ist, Schaltung und Aufbau aber sichtbar bleiben.
Es wird deshalb auf ein Gehäuse sowie auf einen zur Schaltung gehörenden Spannungsversorgungsteil verzichtet. Dadurch kann das Gerät unter Einhaltung der Arbeitsschutzbestimmungen offen betrieben werden. Als Betriebsspannung wird maximal 24 V Gleichspannung verwendet.
Eine Grundplatte und eine Frontplatte sind nach der in Bild 108/1 gezeigten Weise fest miteinander verbunden. Die Verbindung erfolgt duch Zusammenschrauben unter Verwendung kleiner Blechwinkel. Die Grundplatte ist in Längsrichtung von unten mit 2 Filzstreifen beklebt, um ein Zerkratzen der Tische zu vermeiden. Aus diesem Grunde sind auch alle Bohrungen in der Grundplatte von unten zu senken; die Schrauben der Verbindungen sind von unten einzuführen (Senkkopfschrauben).

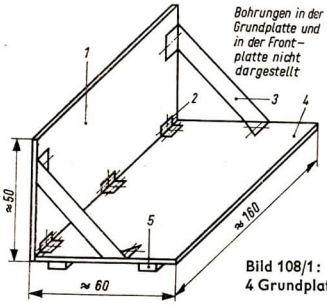


Bild 108/1: Bauanleitung (1 Frontplatte; 2,3 Winkel; 4 Grundplatte; 5 Filzstreifen)

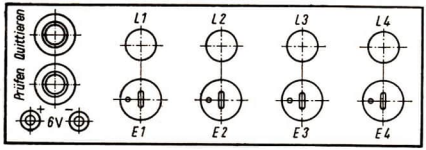


Bild 108/2: Frontplatte

Bild 108/2 zeigt die Frontplatte. An dieser werden die Buchsen für die Eingänge E 1 bis E 4, die Lampen L 1 bis L 4, Quittiertaste S 1 und Prüftaste S 2 sowie die Buchsen für die Spannungszuführung montiert. Die Relais werden auf der Grundplatte, wie in Bild 109/1 gezeigt, angeordnet.

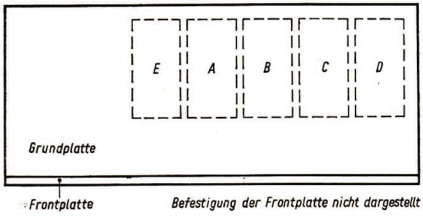


Bild 109/1: Anordnung der Relais

Bild 109/2: Anschlußkabel für Eingänge

Zur Simulation der Grenzwerte werden vier doppeladrige, etwa 2 m lange Leitungen (Litze) verwendet, die an der einen Seite (Betätigungsseite) mit einem Klingelknopf, an der anderen Seite mit einem zu den Eingangsbuchsen passenden Stecker versehen sind (Bild 109/2).
Die in Bild 108/1 angegebenen Maße sind Richtwerte. Sie sind jeweils den vorhandenen Bauelementen anzupassen. Für die benötigten Bauelemente und Materialien werden Realisierungsvorschläge für die Ausführung angegeben. Dabei wird eine Betriebsspannung von 6 V— angenommen.

Bauteile

a) mechanische Bauteile

1 Grundplatte (Pertinax, 3 dick)
1 Frontplatte (Pertinax, 3 dick)
2 lange Winkel (Aluminium, 1 dick)
3 kurze Winkel (Aluminium, 0,5 dick)

b) elektrische Bauteile

5 Relais (6 V—; 3 Wechselkontakte)
4 Lampenfassungen
4 Glühlampen (6 V; 0,3 A)
2 Tastschalter (Klingelknopf, einschraubbar)
2 Telefonbuchsen
8 Dioden (GA 100)
4 Steckverbindungen
4 Handklingelknöpfe (Bild 109/2)
8 m doppeladrige Leitung (Litze)
Schaltdraht (0,5 mm Durchmesser, isoliert).

5.2. Stellantrieb mit Handsteuerung und Stellungsanzeige

Aufgabenstellung

Der Stellantrieb soll über ein Getriebe die Stellgröße verstellen. Stellgröße ist die Winkelstellung der Abtriebswelle des Getriebes.
Der Stellantrieb soll durch Handsteuerung betätigt werden. Die Steuerung ist für

6 V— auszulegen. Für den Stellmotor steht eine Gleichspannung wahlweise bis 24 V zur Verfügung.
Eine Umschaltung Automatik — Hand ist vorzusehen, um den Stellantrieb auch für eine Regelung einsetzen zu können.
Die Stellung der Stellgröße ist am Antrieb selbst durch ein Anzeigeinstrument anzuzeigen. Außerdem muß die Möglichkeit zur Fernübertragung der Stellungsanzeige durch ein Spannungssignal 0 V bis 5 V gegeben sein.
Bei Erreichen der Stellung 0 oder 100% muß sich der Antrieb selbsttätig abschalten.

Somit bestehen folgende Teilaufgaben:

1. Stellantrieb einschließlich Getriebe;
2. Handsteuereinrichtung;
3. Stellungsanzeige;
4. Automatik — Hand — Umschaltung;
5. automatische Abschaltung bei Erreichen der Endlagen der Stellgröße.

Schaltung

Bild 110/1 zeigt die vollständige Schaltung des Demonstrationsmodelles.

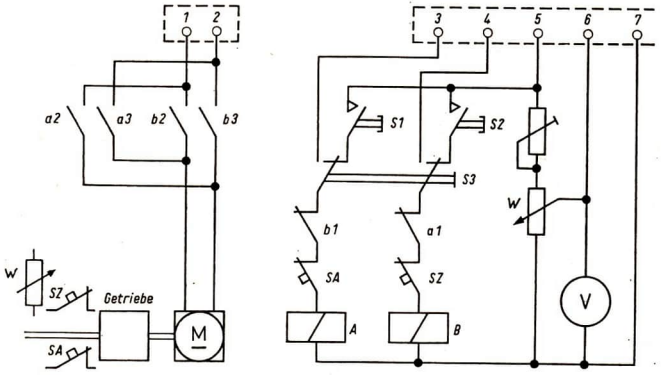


Bild 110/1: Stellantrieb, Schaltung (1,2 Betriebsspannung für Motor; 3 Eingang 1 für Automatik; 4 Eingang 2 für Automatik; 5 Steuerspannung, —6 V; 6 Ausgangssignal für Stellungsmeldung; 7 Steuerspannung +)

Beschreibung der Wirkungsweise der Schaltung

Lösung Teilaufgabe 1:

Der Stellantrieb mit Getriebe wird mit Endlagenkontakten ausgerüstet und mit einem Widerstandsferngeber versehen. Diese Teile werden zur Lösung der Teilaufgaben 3 und 5 benötigt.

Lösung Teilaufgabe 2:

Über Taster S 1 wird Relais A und über Taster S 2 Relais B angesteuert. Relais A bewirkt durch die Kontakte a 2 und a 3 eine Spannungszuführung zum Motor mit der Polung entsprechend Drehrichtung „Auf". Relais B bewirkt durch die Kontakte b 2 und b 3 eine Spannungszuführung zum Motor mit der Polung entsprechend Drehrichtung „Zu". Durch die Kontakte a 1 und b 1 sind die Relais A und B gegeneinander so verriegelt, daß niemals beide Relais gleichzeitig angezogen sein können.

Lösung Teilaufgabe 3:

Der Widerstandsferngeber wird als Spannungsteiler geschaltet. Die Spannung wird durch einen Spannungsmesser angezeigt. Durch einen Zusatzwiderstand wird die Anzeige bei der Endlage „Auf" auf 5 V abgeglichen.

Lösung Teilaufgabe 4:

Durch S 3 kann der Strompfad der Relais A und B von S 1 und S 2 getrennt werden und an die Eingänge E 1 und E 2 gelegt werden. Diese Eingänge erhalten dann von der Automatik (Endverstärker) das Eingangssignal (= Ausgangssignal des Endverstärkers).

Lösung Teilaufgabe 5:

Die Endschalter S A und S Z unterbrechen bei Erreichen der zugehörigen Endlage den für die jeweilige Drehrichtung zugehörigen Strompfad des Relais.

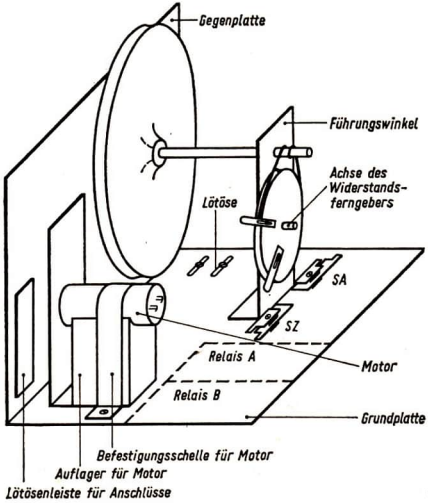


Bild 111/1: Stellantrieb, mechanischer Aufbau

Mechanischer Aufbau

Motor, Relais und die Teile des Getriebes werden auf der Grundplatte montiert (Bild 111/1).
Die Grundplatte wird mit einer Frontplatte und einer gleichgroßen Gegenplatte (gegenüber der Frontplatte angeordnet) verbunden (Bild 111/1). Als Motor wird ein Spielzeugmotor (elektrische Modelleisenbahn) verwendet. Das Getriebe wird als Seilgetriebe ausgeführt (Bild 112/1).

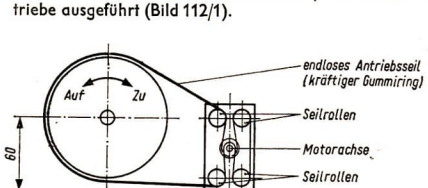


Bild 112/1: Seilgetriebe

Als Widerstandsferngeber dient ein Potentiometer. Die Endlagenkontakte werden aus Teilen der Kontaktsätze alter Relais hergestellt. Bild 112/2 zeigt die Anordnung.

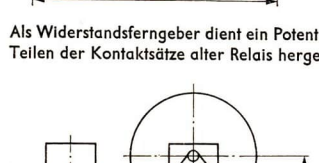


Bild 112/2: Widerstandsferngeber und Endlagenkontakte, Anordnung

Auf der Frontplatte (Bild 112/3) sind Anzeigeinstrument für die Stellungsanzeige, „Auf"- und „Zu"-Taster sowie der Schalter für die Umschaltung Automatik — Hand angeordnet.

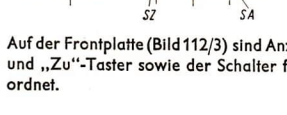


Bild 112/3: Frontplatte

Die in den Abbildungen angegebenen Maße sind Richtwerte. Sie sind den jeweils vorhandenen Bauteilen anzupassen. Die nachfolgend aufgeführten Materialien sind Realisierungsvorschläge für die Ausführung. Als Steuerspannung wurde dabei eine Betriebsspannung von 6 V— angenommen.

Bauteile

a) mechanische Bauteile

1 Grundplatte (Pertinax, 3 dick)
1 Frontplatte (Pertinax, 3 dick)
1 Gegenplatte (Pertinax, 3 dick)
6 Winkel (Aluminium, 0,5 dick)
4 Winkel (Aluminium, 1 dick)
1 Führungswinkel (Stahlblech, 1 dick)
1 Skalenrad (100 mm Durchmesser, Bohrung 6 mm)
1 Skalenrad (40 mm Durchmesser, Bohrung 6 mm)
1 Welle (Stahl, 6 mm Durchmesser, 120 mm lang)
2 Muffen (Aluminium, Bohrung 6 mm)
1 m Skalenseil
2 Zugfedern (zum Spannen des Seils)
4 kleine Seilrollen

b) elektrische Bauelemente

2 Relais (6 V—, 3 Wechselkontakte)
2 Taster (Klingelknopf, einschraubbar)
1 2-poliger Umschalter (Kippschalter)
1 Meßinstrument (Meßbereich 0 V ... 5 V; Abmessung 40 × 40)
1 Potentiometer (100 Ω; 0,5 W) Achsendurchmesser 6 mm
1 Widerstand (Einstellwiderstand, 50 Ω; 0,5 W)
1 Lötösenstreifen (mit 5 Lötösen).

Inbetriebnahme

— „Auf"-Taster betätigen. Motor muß sich in der in Bild 112/1 angegebenen Richtung drehen. Erforderlichenfalls ist der Motoranschluß umzupolen;
— Endschalter einstellen. Hierzu wird das Potentiometer so eingestellt, daß der Schleifer b auf a steht. Der Endschalter SZ wird nun so justiert, daß er gerade sicher geöffnet ist;
— Die Justierung des Endschalters SA wird in der gleichen Weise bei Stellung des Schleifers in Stellung c vorgenommen;
— Meßinstrument mit Einstellwiderstand bei Endlage „Auf" auf 5 V einstellen!

5.3. Unstetiger Verstärker mit Dreipunktverhalten

Aufgabenstellung

Der Verstärker soll entsprechend der Kennlinie nach Übersicht 95/1 d arbeiten. Die Verstärkung soll einstellbar sein, d. h. der Bereich, in dem $x_a = 0$ ist, muß unterschiedlich breit eingestellt werden können.
Der Aufbau eines solchen Verstärkers ist unter ↗ 4.2.1. ausführlich beschrieben. Im folgenden werden zur Funktion lediglich Ergänzungen gebracht und die etwas modifizierte Eingangsstufe ausführlich erläutert. Bild 114/1 zeigt die Gesamtschaltung des Verstärkers.

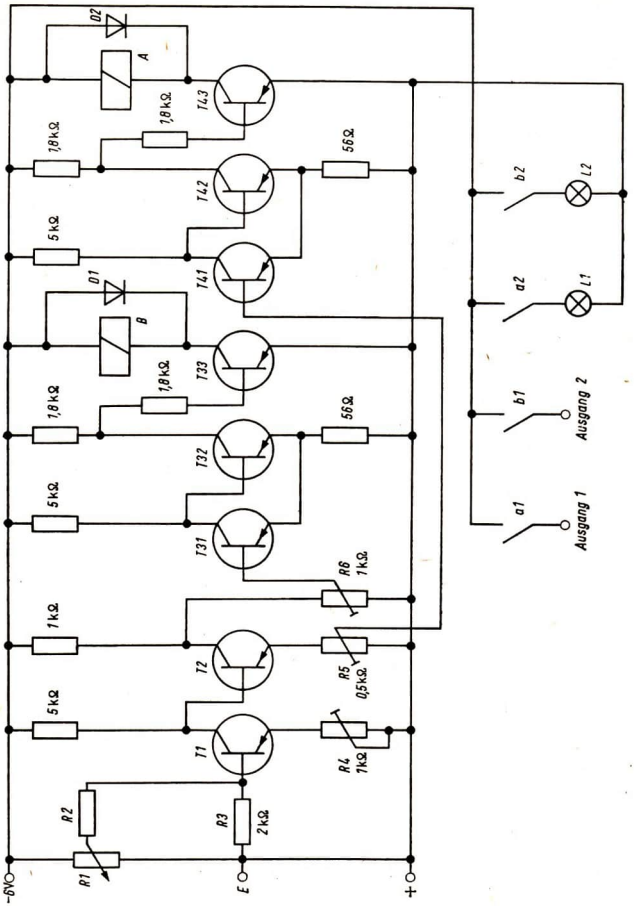


Bild 114/1: Unstetiger Verstärker, Demonstrationsmodell

Beschreibung der Wirkungsweise

Die an b von R 1 anliegende Spannung bewirkt einen Stromfluß über R 2 zur Basis des Transistors T 1. Die Stellung von R 1 ist die Führungsgröße w, während an E die Regelgröße *x* oder — bei Anschaltung eines Stellantriebes (↗ 5.2.) an den Verstärker — die Stellgröße y wirkt. Wird die Spannung an b von R 1 negativer, so zieht das eine Erhöhung des Basisstromes nach sich. Der nachfolgende Verstärkerteil wird mit dem Stellantrieb so zusammengeschaltet, daß bei dieser Ansteuerung eine Verstellung in Richtung „Schließen" erfolgt. Das hat eine positiver werdende Eingangsspannung E zur Folge. Die Wirkung der Verstellung von R 1 wird dadurch wieder aufgehoben und das Ausgangssignal des Verstärkers wird wieder 0. Die Differenzbildung erfolgt hier durch die Gegensinnigkeit der Potentiometerverstellungen (negativer werdender Spannung an b von R 1 steht positiver werdende Spannung an E gegenüber).
R 4 dient zum Einstellen des Arbeitspunktes (↗ 4.2.1.).

Mechanischer Aufbau

Der mechanische Aufbau geht aus Bild 115/1 hervor. Auf einer Grundplatte sind Lötösenleisten und Bauelemente entsprechend montiert. Ein abgekantetes Aluminiumblech bildet eine kleine Frontplatte. Auf ihr sind der Regelwiderstand R 1 sowie die Kontrollampen L 1 und L 2 montiert.

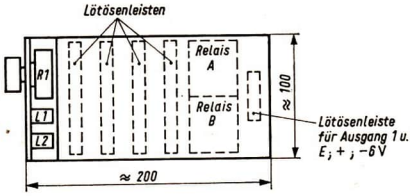


Bild 115/1: Aufbau des Verstärkers

Bauteile

a) mechanische Bauteile
1 Grundplatte (Pertinax, 3 dick)
4 Lötösenleisten (10 Lötösen)
1 Lötösenleiste (5 Lötösen)
1 Frontplatte (Aluminium, 1 dick)
2 Lampenfassungen (6 V)
1 Skalenknopf (zum Regelwiderstand R 1 passend)

b) elektrische Bauelemente
1 Regelwiderstand 100 Ω, 0,5 W
2 Einstellwiderstände 1 kΩ
1 Einstellwiderstand 0,5 kΩ
2 Widerstände 56 Ω
1 Widerstand 1 kΩ
4 Widerstände 1,8 kΩ

2 Widerstände 2 kΩ
3 Widerstände 5 kΩ
2 Relais 6 V ($I = 50$ mA)
2 Dioden (GA 100)
8 Transistoren (GC 121)
2 Glühlampen 6 V; 0,3 A.

Inbetriebnahme

- E mit + verbinden;
- b von R 1, R 4, R 5 und R 6 auf a stellen;
- Meßinstrument an Kollektor von T 2 gegen + anschließen (Meßbereich 6 V);
- R 1 langsam bis c verstellen (Spannung am Meßinstrument muß dabei ansteigen);
- R 4 so einstellen, daß am Meßinstrument 2 V anliegen;
- R 5 langsam gegen c drehen bis Relais A anzieht;
- R 5 so weit zurückstellen, daß Relais A gerade wieder abfällt;
- Vorgang in gleicher Weise mit R 6 für Relais B ausführen!

Benutzen Sie nun das Demonstrationsmodell nach ↗5.2.:

- Verbinden Sie Ausgang 1 des Verstärkers mit Eingang 1 des Stellantriebes und Ausgang 2 des Verstärkers mit Eingang 2 des Stellantriebes!
- Verbinden Sie Ausgang 1 des Stellantriebes mit Eingang E des Verstärkers (Brücke E — + vorher entfernen)!
- Verbinden Sie + und — des Verstärkers mit + und — des Stellantriebes! Der Stellantrieb erhält bei Zusammenschaltung mit dem Verstärker keinen eigenen Steuerspannungsanschluß.

Bei ordnungsgemäßem Zusammenschalten der beiden Geräte muß der Stellantrieb bei Verstellen von R 1 des Verstärkers eine entsprechende Verstellung ausführen, er muß der Verstellung von R 1 „folgen". Die zusammengeschalteten Geräte bilden einen Folgeregelkreis. Für diesen Regelkreis ist die Stellung des Regelwiderstandes R 1 Führungsgröße und die Stellung des Stellantriebes Regelgröße.

6. Anhang

6.1. Begriffserläuterungen

Analog, ähnlich, entsprechend gleichartig, Beispiel: Der Minutenzeiger einer Uhr nimmt während der Zeitmessung jede Stellung ein. Die Stellung des Zeigers ist eine der Zeit analoge Größe.
analoge Werte, Werte des Informationsparameters eines analogen Signales; bei diesem kann der Informationsparameter innerhalb gewisser Grenzen jeden beliebigen Wert annehmen.
Ausgangsgröße, Träger des von einem Übertragungsglied ausgegebenen Ausgangssignales; Beispiel: Die Stellgröße y ist Ausgangsgröße des Stellantriebes. Stellsignal ist z. B. der Hub des von dem Stellantrieb betätigten Regelventiles.
binäre Werte, Werte des Informationsparameters eines diskreten (binären) Signales; bei binären Signalen kann der Informationsparameter nur zwei verschiedene Werte (0 oder L) annehmen.
digital, in Wertstufen dargestellt; Beispiel: Bei der digitalen Anzeige der Zeit (Zahlendarstellung der Stunden und Minuten) erfolgt diese nur abgestuft.
Der Stufenabstand beträgt eine Minute. Dazwischen ist eine Unterscheidung nicht möglich.
Eingangsgröße, Träger des auf den Eingang eines Übertragungsgliedes gegebenen Eingangssignales; Beispiel: Die Stellgröße y einer Regelstrecke sei der Hub eines Regelventiles. Der Hub ist somit Eingangsgröße, die Größe des Hubes ist Eingangssignal.
Einheitssignal, Signal mit einem normierten Signalbereich, einem Einheitsbereich. Einheitsbereiche sind bei elektrischen Systemen u. a. Strombereich 0 ... 5 mA und bei pneumatischen Systemen 20 ... 100 kPa. Einheitssignalbereiche sind Voraussetzung für universelle Anwendbarkeit von Übertragungsgliedern. Die Einheitssignalbereiche sind für das System „ursamat" im RGW-Maßstab abgestimmt.
Information, neues Wissen über eine Erscheinung, einen Gegenstand, einen Vorgang, das einem Empfänger in verständlicher Form mitgeteilt wird und eine zielgerichtete Reaktion auslöst. Träger der Information sind Signale.
Informationsparameter, Parameter des Signals, auf dem der Werteverlauf der signalisierten Größe abgebildet wird; Beispiel: Temperaturmessung mit Thermoelement. Signalträger — Thermospannung; Informationsparameter — Größe der Thermospannung.
Programm, festgelegte (programmierte) Folge nacheinander ablaufender technischer Vorgänge. Der Ablauf kann in Abhängigkeit von der Zeit oder anderen Kriterien (z. B. Zustand einer technologischen Anlage) erfolgen. Ein Programm ist in seinem Ablauf in Teilabläufe unterteilt (Teilablauf gleich Programmschritt).
Rechenoperationen in Regelungen, Verarbeitung von Signalen nach vorgeschriebenen Operationen; häufigste Rechenoperation: Bildung von Summen und Differenzen.

Registrierung, Speicherung von Meßwerten durch schreibende Meßgeräte.
Signal, Bezeichnung einer von einer physikalischen Größe getragenen Zeitfunktion, wenn diese Zeitfunktion einen Parameter (Informationsparameter) besitzt, der den Werteverlauf einer physikalischen Größe abbildet.
Signalarten; *analoges Signal* (Informationsparameter kann innerhalb gewisser Grenzen jeden beliebigen Wert annehmen, z. B. die Amplitude der Spannung beim Ausgangssignal eines Thermoelements); *diskretes Signal* (Informationsparameter kann nur endlich viele Werte annehmen); *binäres Signal* (diskretes Mehrpunktsignal, dessen Informationsparameter nur zwei feste Werte annimmt, z. B. ein Lichtsignal; Signalwerte werden zumeist als „L" und „0" bezeichnet); *digitales Signal* (diskretes Signal, dessen Informationsparameter nur solche Werte annimmt, die ein ganzzahliges Vielfaches einer kleinsten Einheit bilden, z. B. digitales Zeitsignal).
Signalbereich, Bereich einer als Signalträger wirksamen physikalischen Größe innerhalb dessen eine Signalübertragung erfolgen kann.
statisches Verhalten, von der Zeit unabhängiges Verhalten. Es wird durch die statische Kennlinie charakterisiert. Diese gibt die Ausgangsgröße als Funktion der Eingangsgröße bei in Ruhe befindlichem System, Übertragungsglied o. a. an.
Stelleinrichtung, Einheit von Stellglied und Stellmotor.
Steuerung, Vorgang in einem abgegrenzten System, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen auf Grund der dem System eigenen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Charakteristisch für die Steuerung ist, daß der Wirkungsweg der Steuerung nicht im Sinne einer Regelung fortlaufend geschlossen ist.
Übertragungsglied, Bezeichnung des Abschnittes eines Wirkungsweges bei funktioneller Betrachtung. Übertragungsglieder müssen stets Rückwirkungsfreiheit haben, d. h., Veränderungen der Ausgangsgröße des Übertragungsgliedes dürfen durch das Übertragungsglied selbst keine Veränderungen der Eingangsgröße des Übertragungsgliedes hervorrufen.
Verknüpfung, *logische*, Abhängigkeit der Schaltzustände einzelner Einrichtungen oder Aggregate von technologischen Größen oder/und den Schaltzuständen weiterer Einrichtungen oder Aggregate; wird durch die Realisierung logischer Operationen (vorwiegend UND, ODER, NICHT) hergestellt.
Wandler, Bauglied mit einem Eingangssignal und einem Ausgangssignal; Eingangs- und Ausgangssignal unterscheiden sich durch verschiedene Informationsparameter oder dessen Wertevorrat.
Wirkungsablauf, Ablauf einer Signalübertragung und -verarbeitung längs des Wirkungsweges.
Wirkungsweg, Weg, längs dessen die Wirkungen übertragen werden, die einen Steuerungs- oder Regelungsprozeß bestimmen.
Zeitkonstante, Kennwert eines Übertragungsgliedes oder einer Übertragungseinrichtung (z. B. auch der Regelstrecke). Folgt die Ausgangsgröße einer sprungförmigen Änderung der Eingangsgröße nur allmählich infolge des Vorhandenseins eines Speicherelementes im Übertragungsglied, so ist die Zeitkonstante diejenige Zeit, die die Ausgangsgröße zum Erreichen eines zeitlich konstanten Wertes benötigen würde, wenn die im 0-Punkt (Zeitpunkt der sprungförmigen Änderung der Eingangsgröße) vorhandene Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgröße beibehalten würde.

6.2. Lösungen

① $U = 0{,}5$ V

② a) $RV = 49{,}5\ k\Omega$
b) $RN = 55{,}6\ \Omega$

③ $M = 12{,}5\%$

④ a) $p_{Dampf} = 1087$ Pa
$p_{Luft} = 65$ Pa
b) $p_{dyn} = 0{,}043 \cdot 10^{-2}\, p_s$ (Dampf)
$p_{dyn} = 2{,}16 \cdot 10^{-2}\, p_s$ (Luft)

⑤ a) $p = 9{,}81$ kPa (Wasser)
b) $p = 133$ kPa (Quecksilber)
$p = 7{,}47$ kPa (Petroleum)

⑥ $p = 39{,}9$ kPa

⑦ $x = 11{,}9$ K

⑧ $x = 6{,}9\%$

⑨ $U = 6{,}7$ mV

⑩ 10 Löcher; $\alpha = 36°$

⑪ a) $\dot{V} = 1{,}15\ m^3\ h^{-1}$
b) $\dot{m} = \dot{V} \cdot \varrho$

⑫ a) $m = 9000$ kg
b) $\dot{m} = 900\ kg\ h^{-1}$

⑬ a) $V = 4\ m^3$
b) $\dot{V} = 3{,}6\ m^3\ h^{-1}$

⑭ a) $h = 87{,}5$ mm

⑮ $h = 200$ mm

⑯ $U = 2{,}5$ V

⑰ $I = 18{,}5$ mA

⑱ $W = 10^{-9}$

⑲ $F = 0{,}38$ kN

⑳ $F_1 = 7{,}69$ kN
$F_2 = 6{,}46$ kN

6.3. Literaturverzeichnis

[1] Chemie in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

[2] Einführung in die sozialistische Produktion — Lehrbuch für Klasse 9, Industrie. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

[3] Einführung in die sozialistische Produktion — Lehrbuch für Klasse 10. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

[4] Mathematik in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

[5] Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik. Stufe 5. Grundlagen der Elektronik. Versuchsanleitungen, Teil 1. APW der DDR, Institut für Unterrichtsmittel (IU).

[6] Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik. Stufe 5. Grundlagen der Elektronik. Versuchsanleitungen, Teil 2. APW der DDR, IU.

[7] Müller, R.: Baukastensystem Elektrotechnik/Elektronik. Stufe 6. Angewandte Elektronik. Versuchsanleitungen. APW der DDR, IU.

[8] Physik in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

[9] Schriftenreihe „Automatisierungstechnik". Herausgegeben von B. Wagner und G. Schwarze. VEB Verlag Technik, Berlin (erscheint fortlaufend).

[10] Semrad, H.; W. Otto: Grundlagen der BMSR-Technik. Wissensspeicher für die Berufsbildung. 6. durchgesehene Auflage, VEB Verlag Technik, Berlin 1976.

[11] Technik und Produktion in Übersichten. Wissensspeicher für den Unterricht. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1978.

[12] Wissensspeicher Grundlagen der Elektronik, BMSR-Technik, Datenverarbeitung. VEB Verlag Technik, Berlin 1978.

Register

Ablaufsteuerungen 80ff.
Analysenmessung 48ff.
Automatisierung 6

Betriebsmeßtechnik 7, 11ff.
Brückenschaltung 28f.

Drehzahlmessung 32ff.
Drosselgerät 42
Druckmessung 20ff.
Durchflußmessung 40ff.

Federmanometer 23
Federthermometer 27f.
Führungsgröße 87f.
Führungssteuerungen 79f.
Füllstandsmessung 43ff.

Grenzwertschalter 57
Grenzwertsignalisierung 56ff.

Information 11, 117
Informationsparameter 117
Istwert 88

Kreuzpendelmeßwerk 34

Leistungsmessung 18f.
Leitgeräte 105
Logikschaltungen 65ff.

Mechanisierung 6
Meßbereichserweiterung 16
Meßkette, elektrische 46ff.
Meßwertanzeige 56
Meßwerterfassung 13f.
Meßwertverarbeitung 55ff.
Meßwertübertragung, Arten 51ff.

NAND-Schaltung 69ff.
NC-Steuerung 9
NICHT-Schaltung 67ff.
NOR-Schaltung 69

ODER-Schaltung 66f.
Ovalradzähler 41f.

Programm 117
Prozeßrechentechnik 7

Radialkraftpendelmeßwerk 33f.
Radialkrafttachometer 33ff.
Regelabweichung 88
Regeleinrichtungen 88
Regelgröße 87f.
Regelkreis 88, 90f.
Regelstrecke 90f.
Regelungsarten 89
Regelungsaufgabe 87

Salzgehaltmessung 49ff.
Selbsthalteschaltungen 72
Signale 11f., 53f., 118
Sollwert 88
Speicher 62, 74
Stellantrieb 61
—, elektrischer 101
—, hydraulischer 102
—, pneumatischer 102
Stelleinrichtung 118
Stellglied 61, 88, 103
Stellgröße 61
Steuereinrichtung 60
Steuerkette 60
Steuerstrecke 60f.
Steuerungsaufgabe 60
Steuerungstechnik 7, 59ff.
Störgrößen 88

Temperaturmessung 25ff.
Thermoelement 30ff.

Übertragungsglied 118
UND-Schaltung 67
U-Rohr-Manometer 21ff.
Ursamat 8

Verknüpfung, logische 118
Verriegelungen 62
Verstärker 93ff.

Wandler 118
Widerstandsthermometer 28ff.
Wirkungsweg 61, 87, 118

Zählungen 56
Zeitglieder 62
Zeitkonstante 38, 118
Zeitplansteuerung 80

Kurzwort: 06 17 09 BMSR-Technik
DDR 2,85 M