

FSD Dipl.-Ing. Dr. Peter Kirmße

**STEUER- UND
REGELUNGSTECHNIK**

4

Regeleinrichtungen

Dieser Lehrbrief wurde

verfaßt von:

FSD Dipl.-Ing. Dr. Peter K i r m s e

Fachschullehrer an der Ingenieurschule für Elektrotechnik
"Hanno Günther" Velten

lektoriert von:

Dipl.-Ing. Jürgen F r i t s c h e

Fachschullehrer an der Ingenieurschule für Bergbau und
Energetik
"Ernst Thälmann" Senftenberg

bearbeitet von:

FSD Erich A m m e d i c k

Beauftragter für die Entwicklung von Lehrbriefen an der
Ingenieurschule für Bergbau und Energetik "Ernst Thälmann"
Senftenberg

Redaktionsschluß: 1. 4. 1983

© Institut für Fachschulwesen der DDR, Karl-Marx-Stadt

Als Manuskript gedruckt • Alle Rechte vorbehalten

Printed in the German Democratic Republic

Druck und buchbinderische Verarbeitung:

Zentralstelle für Lehr- und Organisationsmittel des Ministeriums
für Hoch- und Fachschulwesen, Zwickau

1. Auflage 1983

3. unveränderter Nachdruck 1987

Ag 613/490/87/400

Vorzugsschutzgebühr: 2,00 M

Inhaltsverzeichnis

Seite

	Verzeichnis der Kurzzeichen	
0.	Einleitung	5
1.	Allgemeine Definitionen	5
2.	Aufgaben der Regeleinrichtung	6
3.	Einteilung von Reglern	9
4.	Zur Wahl des Signalträgers innerhalb von Regeleinrichtungen	10
5.	Analoge lineare Regler	13
5.1.	Proportional wirkende Regler (P-Regler)	13
5.2.	Integral wirkender Regler (I-Regler)	19
5.3.	Proportional-integral wirkende Regler (PI-Regler)	23
5.4.	Proportional-differenzierend wirkende Regler (PD-Regler)	28
5.5.	Proportional-integral-differenzierend wirkende Regler (PID-Regler)	31
5.6.	Gerätetechnischer Aufbau einer analogen linearen Regeleinrichtung mit PID-Verhalten	35
6.	Mehrpunktregler	44
6.1.	Zweipunktregler	44
6.2.	Dreipunktregler	48
6.3.	Dreipunktregler mit Rückführung (Schrittregler)	49
6.4.	Gerätetechnischer Aufbau einer Regelung mit PI-Schrittregler	55
	Lösungen der Übungen	
	Literaturverzeichnis	

Verzeichnis der Kurzzeichen

C	Kapazität
$G_R(p)$	Übertragungsfunktion des Reglers
h	Schalthysterese
I	Stromstärke
K_D	Übertragungskonstante des D_o -Gliedes
K_I	Übertragungskonstante des I_o -Gliedes
K_R	Übertragungskonstante des P-Reglers
p	Operator
R	OHMscher Widerstand
T	Zeitkonstante
T_n	Nachstellzeit
T_v	Vorhaltzeit
t	Zeit
U	Spannung
W	Führungsgröße
X_h	Laufbereich
X_p	Proportionalbereich
Y	Stellgröße
Y_h	Stellbereich
α	Winkel

0. Einleitung

In diesem Lehrbrief werden zur beispielhaften Veranschaulichung der gerätetechnischen Realisierung von Reglern Elemente des Bausteinreglersystems "ursamar 4000" genutzt.

Die entsprechenden Informationen dafür wurden Herstellerunterlagen sowie auszugsweise dem Katalog-Automation-Bauteile (KAB) des VEB GRW Teltow entnommen, der Grundlage für die Projektierung ist und stets auf dem neusten Stand gehalten wird.

Die Angaben dieses Lehrbriefes sind als Projektierungsbasis unzureichend und ungeeignet.

1. Allgemeine Definitionen

Der zuständige Standard (TGL 14591) definiert:

Steuereinrichtung ist eine Einrichtung als zielgerichtet wirkendes System von Gliedern, das die automatische Steuerung eines Objektes ausführt /1/.

Sinngemäß wollen wir unter einer Regeleinrichtung eine Einrichtung als zielgerichtet wirkendes System von Gliedern verstehen, das die automatische Regelung der Regelstrecke ausführt. In diesem Sinne beginnt die Regeleinrichtung am Meßglied, welches der Erfassung der Regelgröße dient, und endet am Stellglied. Der Begriff Regler ist gerätetechnisch enger gefaßt als der Begriff Regeleinrichtung!

Regler ist eine Funktionseinheit, die die Werte von Eingangsgrößen fortlaufend mit den Werten von zugeordneten Führungsgrößen vergleicht und die Werte der Ausgangsgrößen abhängig vom Ergebnis des Vergleichs steuert /1/.

Die Eingangsgrößen im Sinne der vorstehenden Definition sind die Ausgangsgrößen einer Meßeinrichtung, die zur Erfassung und gegebenenfalls Umformung der Regelgröße dient. Die Meßeinrichtung ist nur am Rande Gegenstand dieses Lehrbriefes. Sie wurde bereits im Lehrgebiet Meßtechnik vorgestellt.

Ausgangsgrößen im Sinne der obenstehenden Definition sind die

Stellgrößen, die die Eingangsgrößen der Stelleneinrichtung darstellen.

Die Regel Einrichtung setzt sich also aus

Meßeinrichtung,

Regler und

Stelleinrichtung

zusammen, wovon in diesem Lehrbrief in erster Linie der Regler und die Stelleinrichtung Beachtung finden.

2. Aufgaben der Regel Einrichtung

Regel Einrichtungen können sowohl in gerätetechnischer als auch funktioneller Hinsicht betrachtet werden. Wenden wir uns zuerst der funktionellen Betrachtung von Regel Einrichtungen zu.

Eine Veranschaulichungsmöglichkeit bei funktioneller Betrachtung (/2/, Abschnitt 5) stellt das Signalflußbild dar. Wir entnehmen /3/ (Bild 1) das Signalflußbild der Regel Einrichtung und unterziehen dasselbe einer näheren Betrachtung.

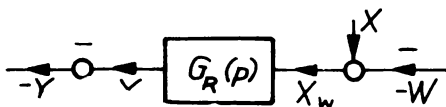


Bild 1: Signalflußbild der Regel Einrichtung

Aus Bild 1 ersieht man, daß die Regel Einrichtung 2 Eingangsgrößen und eine Ausgangsgröße besitzt:

<u>Eingangsgrößen der Regel Einrichtung:</u>	Regelgröße, Führungsgröße
<u>Ausgangsgröße der Regel Einrichtung:</u>	Stellgröße.

Dem Signalflußbild kann man entnehmen, daß die Regel Einrichtung bei funktioneller Betrachtung 3 Aufgaben zu erfüllen hat:

- Ausführung des Soll-Istwert-Vergleichs, d.h. Bildung der Regelabweichung nach der Beziehung $X_w = X - W$

- Anwendung des Regelalgorithmus auf das Signal der Regelabweichung. Der Regelalgorithmus wird im Signalflußbild durch die Übertragungsfunktion $G_R(p)$ symbolisiert.
- Umkehrung des Stellsignals, um die Beeinflussung der Regelstrecke in der gewünschten Richtung sicherzustellen. Die Umkehrung des Stellsignals wird im Signalflußbild durch die Umkehrstelle $\int(-1)\text{-Stelle}$ symbolisiert.

Aus dem Signalflußbild der Regeleinrichtung ergibt sich elementar die allgemeine Gleichung der Regeleinrichtung:

$$Y = -G_R(p) \cdot X_W(p) = -G_R(p) \cdot \int X(p) - W(p) \int$$

Die Aufgaben, die die Regeleinrichtung bei gerätetechnischer Betrachtung zu erfüllen bzw. deren Erfüllung sie zu ermöglichen hat, sollen an Hand des im Bild 2 dargestellten Baugliedplanes erläutert werden!

Die erste Aufgabe, die die Regeleinrichtung im Rahmen der Signalverarbeitung zu realisieren hat, ist die Erfassung der Regelgröße. In unserem Beispiel erfolgt sie durch das Thermo-element 01. Es wandelt die zu regelnde Größe (ϑ) in ein natürliches Spannungssignal im Millivoltbereich um.

Das Bauglied 02 erfüllt die Aufgabe der Signalumformung des natürlichen Signals in ein Einheitssignal. Der Versorgungsenergiebereitstellung für den Signalumformer 02 dient das Netzteil 03.

Die Anwendung des Regelalgorithmus erfolgt im Reglerbauteil 04. Bei dem Bauteil 05 handelt es sich um das sogenannte Leitgerät. Die Symbolelemente veranschaulichen von oben nach unten:

- Anzeige des Istwertes der Regelgröße sowie der Stellgliedstellung (Prozentangabe),
- Umschaltung Hand-Automatik,
- Einstellung des Sollwertes bei Automatikbetrieb,
- Stellgliedverstellung bei Handbetrieb.

Weitere Aufgaben des Leitgerätes sind die Grenzwertsignalisation und die Anzeige des Betriebszustandes des Regelkreises (hier nicht dargestellt).

Die Leistungsverstärkung des Regelsignals erfolgt im Bauglied 06. Dieses Bauglied übernimmt auch in Zusammenarbeit mit dem Stellungspotentiometer (im Bauglied 07) die Funktion des Stellungsreglers (Positioner).

Die letzte Aufgabe der Regeleinrichtung besteht in der aufgaben-gemäßen Veränderung eines Massen- oder Energiestromes, die durch den Stellantrieb mit Stellglied 07 erfolgt.

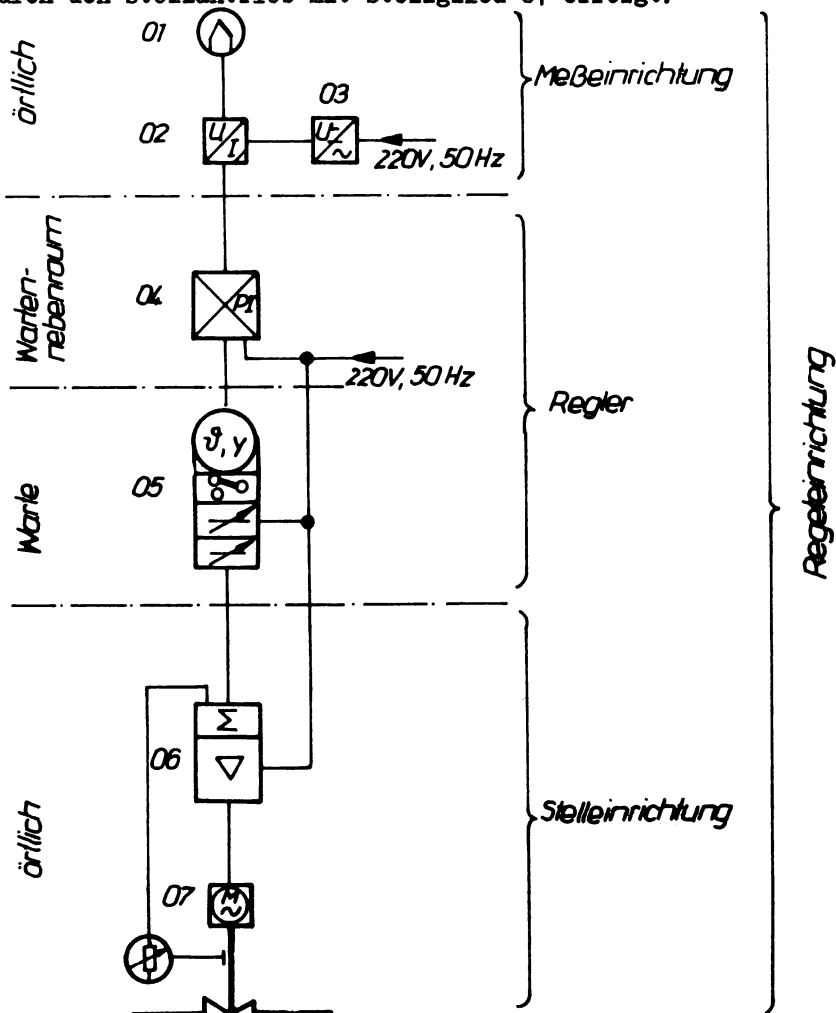


Bild 2: Baugliedplan einer Regeleinrichtung

3. Einteilung von Reglern

Regler können unter den verschiedensten Aspekten klassifiziert werden. In /4/ sind 14 Einteilungsgesichtspunkte aufgeführt. Genau wie bei Gliedern und Regelstrecken ergeben sich bei gerätetechnischer und funktioneller Betrachtung verschiedene Einteilungsmöglichkeiten.

Beispiele für Einteilungsmöglichkeiten von Reglern bei geräte-technischer Betrachtung:

- nach der Regelgröße z.B. in Spannungsregler, Temperaturregler, Durchflußregler usw.
- nach der Versorgungsenergie z.B. ohne Versorgungsenergie (direkt wirkende Regler) und mit Versorgungsenergie (indirekt wirkende Regler). Die indirekt wirkenden Regler können nach der Art der Versorgungsenergie wiederum eingeteilt werden in elektrische Regler, pneumatische Regler usw.
- nach dem Anwendungsgebiet z.B. in Antriebsregler, Verfahrensregler usw.

Beispiele für Einteilungsmöglichkeiten von Reglern bei funktio-neller Betrachtung:

- nach dem Wertevorrat des Informationsparameters des Stell-signals.
Im Rahmen dieses Lehrbriefes sollen in erster Linie die analo-gen Regler sowie einige Mehrpunktregler Beachtung finden. Es sei erwähnt, daß zu den digitalen Reglern u.a. die auf der Basis von Mikroprozessoren aufgebauten Regler gehören, die heute mehr und mehr an Bedeutung gewinnen.
- nach den Übertragungseigenschaften, d.h. nach dem funktionellen Zusammenhang zwischen Regelgröße und Stellgröße hinsichtlich ihres statischen und dynamischen Verhaltens (Bild 4)

Im Bild 4 wird nur derjenige Zweig ausführlich dargestellt, der dem Hauptteil dieses Lehrbriefes entspricht.

Grundanliegen dieses Lehrbriefes ist es, die Regelungsalgorithm-en

P, I, PI, PD und PID

am Beispiel der kontinuierlichen linearen Regler darzustellen.

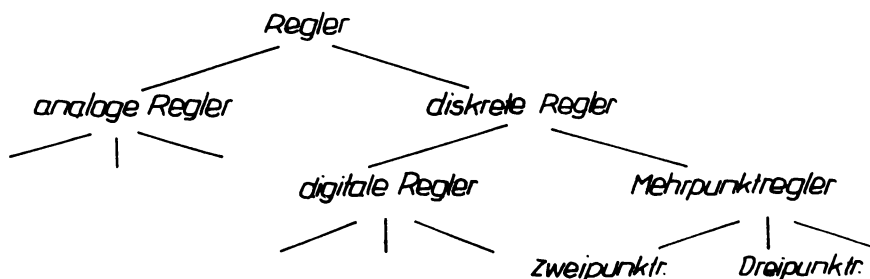


Bild 3: Einteilung der Regler nach dem Wertevorrat des Informationsparameters des Stellsignals

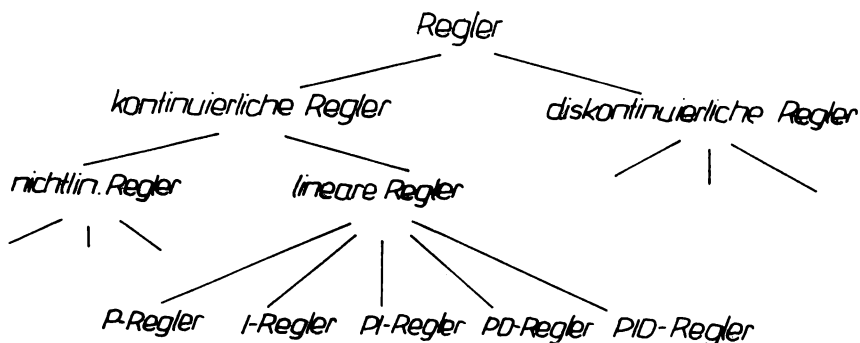


Bild 4: Klassifizierung der Regler hinsichtlich ihrer Übertragungseigenschaften

4. Zur Wahl des Signalträgers innerhalb von Regeleinrichtungen

Innerhalb von Regeleinrichtungen ist das zu verarbeitende Signal an einen physikalischen Signalträger gebunden. Die Wahl des Signalträgers ist eng verknüpft mit der Wahl der Versorgungsenergie¹⁾. Von praktischer Bedeutung sind drei Arten von

¹⁾ Der Begriff Versorgungsenergie ersetzt nach TGL 32991/07 (1980) die veraltete Bezeichnung Hilfsenergie.

Versorgungsenergien /5/.

Elektrische Versorgungsenergien und elektrischer Signalträger:

Vorteile: - große Übertragungsentfernungen möglich,
- elektrische Versorgungsenergie nahezu überall verfügbar,
- hohe Signalverarbeitungsgeschwindigkeit;

Nachteile: - Explosionsgefahr bzw. erhebliche Aufwendungen für den Explosionsschutz,
- höhere Preise gegenüber pneumatischen Geräten insbesondere für Stalleinrichtungen.

Pneumatische Versorgungsenergie und pneumatischer Signalträger:

Vorteile: - keine Probleme des Explosionsschutzes,
- meist einfache und robuste Konstruktion,
- günstiges Preisniveau;

Nachteile: - nur geringe Übertragungsentfernungen möglich,
- Signalverarbeitungsgeschwindigkeit gering,
- Aufwand für Bereitstellung und Aufbereitung (Reinigung) der Versorgungsenergie beträchtlich.

Hydraulische Versorgungsenergie:

Vorteile: - leichte Erzeugung großer Stellkräfte bzw. -leistungen,
- robuste Konstruktion und geringe Wartung;

Nachteile: - keine Fernübertragung der Signale möglich,
- geringe Signalverarbeitungsgeschwindigkeiten.

Da die hydraulische Versorgungsenergie nur in besonderen Fällen, z.B. bei langsamen Kesselregelungen, zur Versorgung von Stellantrieben eingesetzt wird, sind hydraulische Signalträger nahezu ohne Bedeutung.

Abgesehen von der Versorgungsenergie ist es möglich, die Gesamtheit der in Automatisierungsanlagen verwendeten Signale in

natürliche Signale und
Einheitssignale

einzuteilen. Als Beispiel für ein natürliches Signal nennen wir das von einem Thermoelement abgegebene Spannungssignal. Es liegt im mV-Bereich und ist in seiner Höhe von der jeweils vorhandenen Temperaturdifferenz abhängig.

Einheitssignale sind im Standard TGL 22500/02 festgelegt. Durch die Fixierung von Einheitssignalen ist sichergestellt, daß bei der Informationsübertragung zwischen Funktionseinheiten, Geräten und Einrichtungen das Ausgangssignal der einen Einheit in seinem Pegel mit dem Einheitssignal der nachfolgenden Einheit übereinstimmt. Tafel 1 gibt eine Übersicht über die elektrisch-analoge Einheitssignale nach TGL 22500/02.

Tafel 1: Elektrisch-analoge Einheitssignale nach TGL 22500/02

Einheitssignal	Mindest- bürde	Anwendungs- bereich
Einheitsstrom- signal als ein- geprägter Gleichstrom	0 bis 1600 Ω	Informations- übertragung über größere Entfernungen
0 bis + 5 mA	0 bis 500 Ω	Informations- übertragung in Zweileitertechnik (life zero)
0 bis + 20 mA 4 bis + 20 mA		
- 5 bis + 5 mA -20 bis +20 mA		
		Informations- übertragung mit Vorzeichen der Wirkungsrichtung
Einheitsspannungs- signal als ein- geprägte Gleich- spannung	1000 Ω	Informations- übertragung in- nerhalb von Funk- tionseinheiten, Geräten und Einrichtungen
0 bis + 5 V + 1 bis + 5 V		
0 bis + 2,5V	-	
0 bis + 10 V - 10 bis + 10 V	2400 Ω	

5. Analoge lineare Regler

5.1. Proportional wirkende Regler (P-Regler)

Hauptbestandteil von P-Reglern ist, wie der Name schon sagt, ein P-Glied (Verstärker), d.h., bei $G_R(p)$ im Bild 1 handelt es sich um die Übertragungsfunktion eines P-Gliedes /2/.

Damit folgt für das dynamische Verhalten:

$$G_R(p) = K_R \quad (2)$$

bzw.

$$Y = -K_R \cdot X_W \quad (3)$$

Aus (3) ist ersichtlich, daß für das positive Eingangssignal (X_W) sich ein negatives Ausgangssignal (Y) ergibt. Um im Bild 5 eine positive Sprungantwort zu erhalten, wurde eine negative Änderung der Regelabweichung vorgegeben.

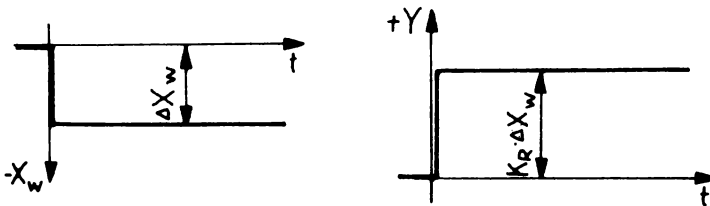


Bild 5: Sprungantwort eines P-Reglers

Das statische Verhalten eines P-Reglers soll an Hand seiner statischen Kennlinie erläutert werden. Zur qualitativen Entwicklung der statischen Kennlinie gehen wir von der Tatsache aus, daß der wesentliche Bestandteil eines P-Reglers ein Verstärker mit beiderseitiger Begrenzung des Ausgangssignals ist. Siehe dazu Bild 6.

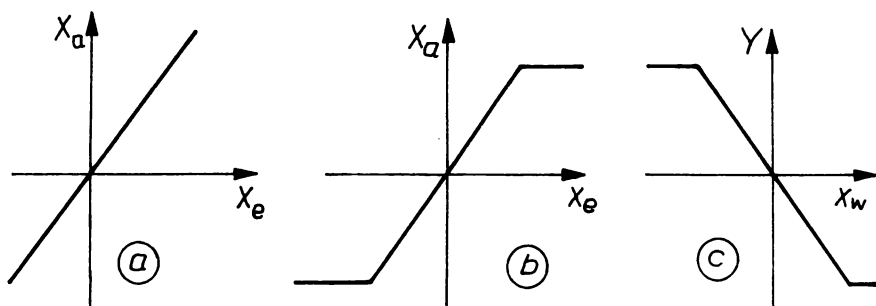


Bild 6: Zur Erläuterung der statischen Kennlinie eines P-Reglers

Bild 6a zeigt die statische Kennlinie eines Verstärkers (P_0 -Glieder, s. /2/)

Durch die Begrenzungseinrichtungen, die z.B. auf die Grenzwerte des Einheitsspannungsbereiches -10 V und $+10\text{ V}$ eingestellt sind, ergibt sich die im Bild 6b dargestellte Kennlinie.

Die Signalumkehr der Regeleinrichtung, Minuszeichen in (3), bedingt eine Negation der Kennlinie (Bild 6c).

Da man als statische Kennlinie eines P-Reglers den Zusammenhang $Y = f(X)$ bezeichnet, muß die im Bild 6c dargestellte Kurve entsprechend

$$X_w = X - W \text{ bzw. } X = X_w + W$$

noch um den Sollwert nach rechts verschoben werden (Bild 7).

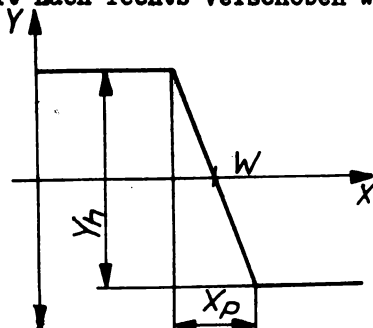


Bild 7: Statische Kennlinie eines P-Reglers

Aus den oben gemachten Ausführungen geht hervor, daß das Gefälle der statischen Kennlinie eines P-Reglers dem Übertragungsfaktor K_R direkt proportional ist.

Anstelle von K_R wird zur Beschreibung der Eigenschaften eines P-Reglers oft auch der Proportionalbereich X_p verwendet.

Der Proportionalbereich (P-Bereich) eines P-Reglers ist der Bereich, um den sich die Regelgröße bzw. ihr Signal ändern muß, um die Stellgröße über den Stellbereich Y_h zu ändern.

Es sei erwähnt, daß die statische Kennlinie eines P-Reglers, z.B. bei pneumatischen Signalen oder beim Einheitsstromsignal 0...5 mA, nur im ersten Quadranten liegt.

Als Beispiel für einen elektrischen P-Regler sei der RBS 03 aus dem System "ursamar 4000" vorgestellt. Der Baustein besteht aus einem geschützten Karteneinschub C2 nach TGL 25068/02 der Größe 20 mm x 120 mm x 240 mm mit Steckerleiste 304-58 nach TGL 29331/03 und ist damit ein Gefäß zweiter Ordnung des einheitlichen Gefäßsystems EGS.

Von der Frontplatte des Gerätes sind die vier vorhandenen Potentiometer (A_1 bis A_3 sowie ein Potentiometer zur Einstellung von K_R entsprechend Bild 9) zugänglich.

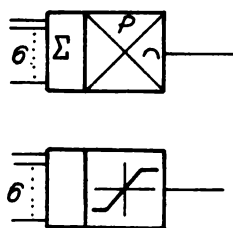


Bild 8: Symbole für Baugliedpläne des RBS 03-01

Der RBS 03 kann in der Variante RBS 03-01 zur stetigen Regelung verfahrenstechnischer Prozesse eingesetzt werden. Dabei stehen sechs Eingänge zur Aufrechterhaltung der Regel-, Führungs- und

Störgrößen zur Verfügung. Bild 8 zeigt die für Baugliedpläne zugelassenen Symbole für den Regler.
 Der prinzipielle Aufbau soll an Hand des Übersichtsschaltplanes (Bild 9) erläutert werden.

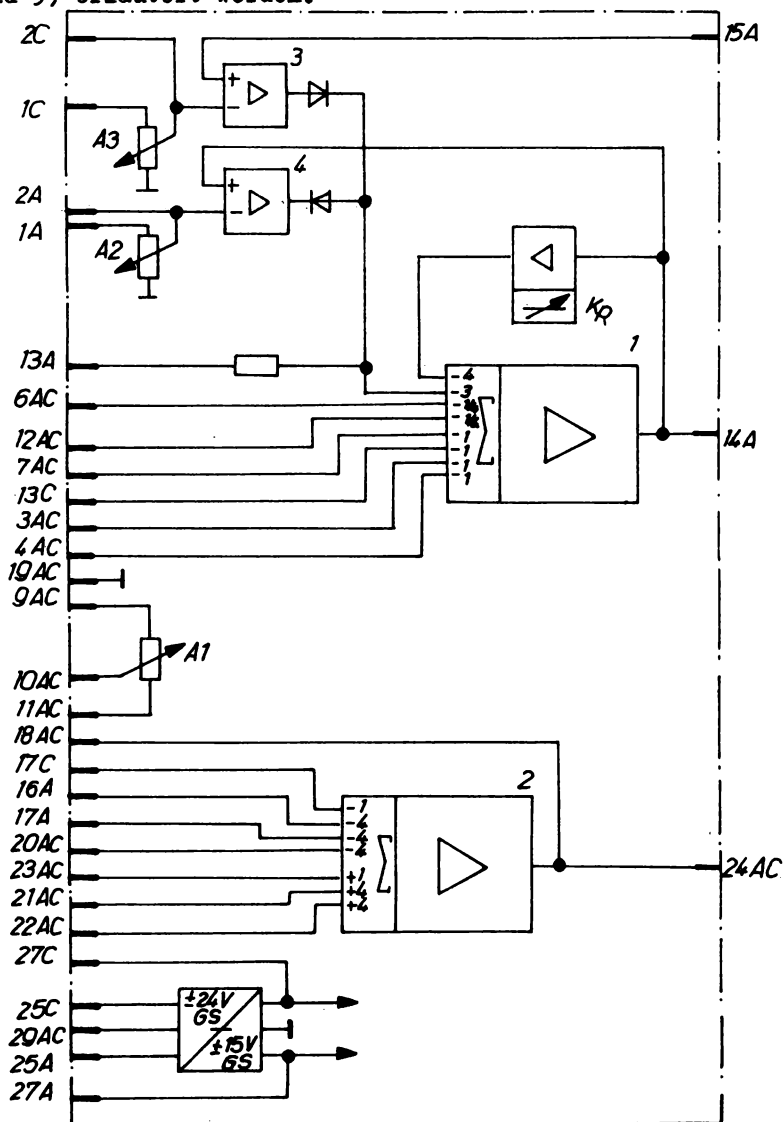


Bild 9: Übersichtsschaltplan des P-Reglers RBS 03-01

Der Baustein ist für eine unstabilisierte Versorgungsenergie ± 24 V Gleichspannung ausgelegt. Diese wird auf der Karte stabilisiert und auf die platineninterne Spannungsebene ± 15 V umgesetzt.

Hauptbestandteile des Gerätes sind zwei Verstärker, der Summierverstärker (1) und der Differenzverstärker (2). Zwei weitere Verstärker (3) und (4) sorgen für die Begrenzung der Ausgangsspannung des Summenverstärkers. Davon begrenzt der Verstärker (3) den Oberwert, der mit Hilfe des Potentiometers A_3 einstellbar ist. Verstärker (4) und Potentiometer A_2 beeinflussen den Unterwert. Der Summierungsverstärker besitzt eine einstellbare Gegenkopplung, die die Einstellung des Verstärkungsfaktors K_R zwischen 0,25 und 50 erlaubt.

Für das Übertragungsverhalten des Summationsverstärkers gilt:

$$U_{14A} = -K_R(U_{4AC} + U_{3AC} + U_{13C} + U_{7AC} + \frac{1}{4}U_{12AC} + \frac{1}{4}U_{6AC}) \quad (4)$$

Der Differenzverstärker ist bausteinintern nicht gegengekoppelt, d.h., er besitzt eine sehr hohe Verstärkung ($V \rightarrow \infty$), so daß sein Übertragungsverhalten nur durch die äußere Rückführung bestimmt wird. Damit wird gleichzeitig der Nennbereich der Ausgangsspannung festgelegt. Für das Übertragungsverhalten des Differenzverstärkers bei einer Brücke zwischen 17C und 18AC gilt:

$$U_{24AC} = -(4U_{17A} + 4U_{16A} + 4U_{20AC} - 4U_{21AC} - U_{23AC})$$

Der Nennbereich von U_{24AC} beträgt in diesem Fall ± 10 V. Liegt eine Brücke zwischen 18AC und 20AC so gilt für das Übertragungsverhalten des Differenzverstärkers:

$$U_{24AC} = -(\frac{1}{4}U_{17C} + U_{17A} + U_{16A} - U_{22AC} - U_{21AC} - \frac{1}{4}U_{23AC})$$

Der Nennbereich der Ausgangsspannung beträgt in diesem Fall $\pm 2,5$ V.

Ein Schaltungsbeispiel für einen P-Regler zeigt Bild 10.

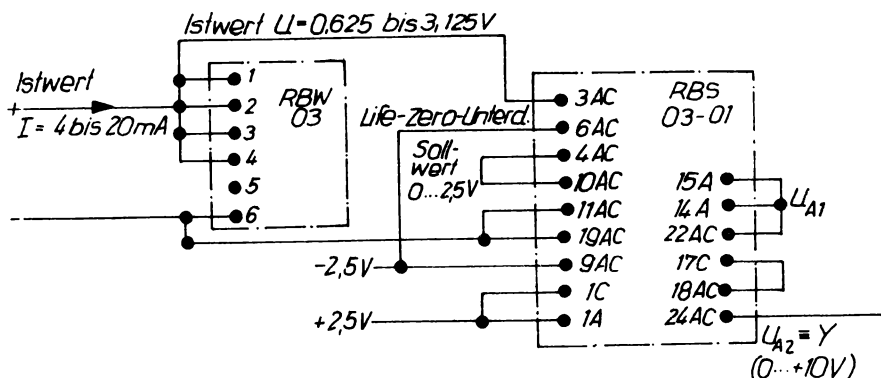


Bild 10: Schaltungsbeispiel für P-Regler

Es handelt sich dabei um die einfachste Ausführung ohne Leitgerät und Spannungskontrollbaustein.

Die Sollwerteinstellung erfolgt mit dem freibeschaltbaren Bewertungspotentiometer A_1 . Von einem stabilisierten Netzteil muß $\pm 2,5$ V gesondert für die Begrenzer und die Life-zero-Unterdrückung zugeführt werden.

Der dem P-Regler vorgeschaltete passive I/U Wandler enthält OHM-sche Widerstände und wandelt das Stromeinheitssignal 4 bis 20 mA in das systeminterne Spannungssignal 0,625 bis 3,125 V um. Zum besseren Verständnis der vorliegenden Schaltung (geräte-technische Betrachtung) ist im Bild 11 das dazugehörige Signalflußbild (funktionelle Betrachtung) dargestellt. Der U/I-Wandler bildet ein P_0 -Glied mit dem Übertragungsfaktor $1/R$. Von dem Summierverstärker sind außer dem intern verdrahteten Eingang für die Gegenkopplung zwei weitere Eingänge belegt. Der Eingang 3AC (Bewertungsfaktor -1) ist mit der Regelgröße X belegt. Der Eingang 4AC (Bewertungsfaktor -1) wird vom Bewertungspotentiometer A_1 (10AC) mit der negativen Führungsgröße beaufschlagt. Der Differenzverstärker wird durch äußere Beschaltung (18 AC-17 C) mit dem vollständigen Ausgangssignal gegengekoppelt, wodurch der Übertragungsfaktor $K = 1$ erreicht wird.

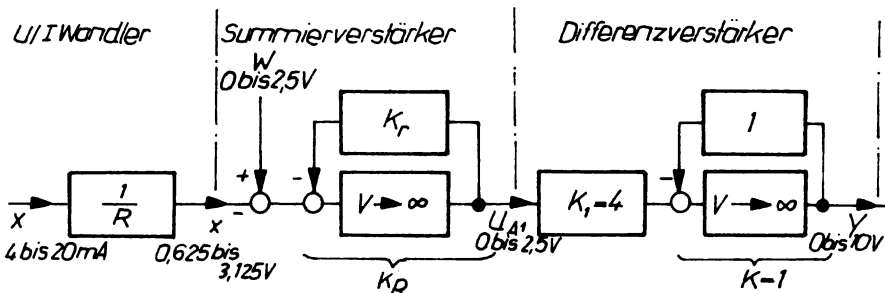


Bild 11: Signalflußbild zum P-Regler nach Bild 10

Das Ausgangssignal des Summervverstärkers ($U_{A1} = 0$ bis $2,5$ V) wird am Eingang des Differenzverstärkers mit dem Faktor 4 bewertet, wodurch sich am Ausgang des Differenzverstärkers ein Signal im Einheitssignalbereich 0 bis 10 V ergibt /6/.

Ü b u n g e n

Ü 1. Bei einem P-Regler wurde die Regelabweichung sprunghaft von 0 auf 5 mV verändert. Dabei ergab sich eine sprunghafte Änderung des Ausgangssignals von 0 auf 2 V. Bestimmen Sie die Reglerkonstante!

Ü 2. Skizzieren Sie qualitativ die statische Kennlinie eines P-Reglers.

- Wie verändert sich die Kennlinie, wenn K_R halbiert wird?
- Wie verändert sich die Kennlinie, wenn die Führungsgröße halbiert wird?

5.2. Integral wirkende Regler (I-Regler)

Hauptbestandteil von I-Reglern ist, wie der Name schon sagt, ein integral wirkendes Übertragungsglied (s. /2/). Daraus folgt für das dynamische Verhalten eines I-Reglers:

$$G_R(p) = \frac{K_I}{p} \quad (4)$$

bzw.

$$Y(p) = - \frac{K_I}{p} \cdot X_W(p) \quad (5)$$

Um die Sprungantwort im positiven Bereich darstellen zu können, geben wir wieder eine negative Regelabweichung an (Bild 12).

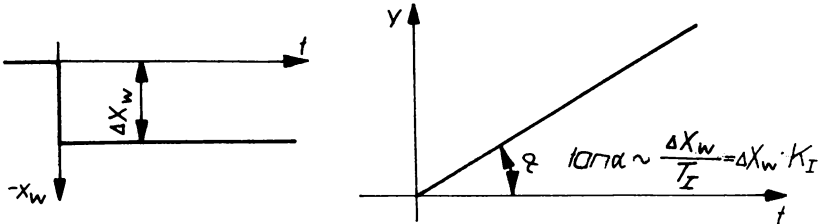


Bild 12: Sprungantwort von I-Reglern

Bei der Entwicklung der statischen Kennlinie des I-Reglers kann man methodisch in gleicher Weise vorgehen, wie es im Abschnitt 5.1. für den P-Regler dargestellt ist. Den Ausgangspunkt bildet jetzt aber die statische Kennlinie eines I-Gliedes (Bild 13a).

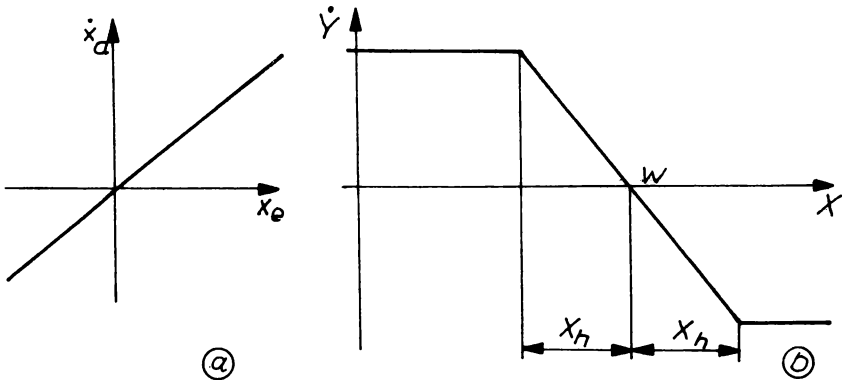


Bild 13: Statische Kennlinie der I-Regler

Zu beachten ist, daß bei dieser auf der Ordinate die Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgröße ($\dot{x}_a$) dargestellt ist. Daraus folgt, daß bei der statischen Kennlinie des I-Reglers auf der Ordinate die Änderungsgeschwindigkeit der Stellgröße ($\dot{y}$) aufzutragen ist. Zur Beschreibung der statischen Kennlinie bzw. der statischen Eigenschaften des I-Reglers dient der Laufbereich.

Der Laufbereich X_h einer I-Regleinrichtung ist der Bereich, um den sich die Regelgröße bzw. ihr Signal ändern muß damit sich die Geschwindigkeit der Stellgröße von Null auf ihren maximalen Wert ändert (Bild 13b).

Reine I-Regler werden, bedingt durch ihre wenig günstigen Regleigenschaften, nur in sehr geringem Umfang eingesetzt.

Eine Möglichkeit zur Realisierung eines I-Reglers besteht in der Verwendung des ölhydraulischen Reglerblocks (GRW), welcher aber bei Verwendung von entsprechenden Rückführungen auch als P- bzw. PI-Regler programmiert werden kann.

Eine weitere Möglichkeit zur Realisierung eines elektrischen I-Reglers ergibt sich aus der Verwendung des Integrators RBF 02-01 aus dem Bausteinsystem "ursamar 4000".

Der Baustein besteht aus einem geschützten Karteneinschub C2 nach TGL 25068/02 (60 mm x 120 mm x 240 mm) mit einer Steckerleiste 304-58 nach TGL 29331/03.

Für das Übertragungsverhalten eines I-Reglers im Zeitbereich gilt:

$$U_a(t) = K_I \int_0^t \sum U_e(t) \cdot dt + \sum u_0$$

Bild 14 zeigt den Übersichtsschaltplan des Integrators.

Der Eingangssummatör (1) bildet unter Berücksichtigung der Bewertungsfaktoren der Eingänge die Summe der zu integrierenden Eingangsspannungen. Die Summenspannung wird der Integrationsstufe zugeführt. Diese besteht aus dem Verstärker (3), der mit dem Integrationskondensator C gegengekoppelt ist, und dem im Wert umschaltbaren Widerstand (2). Die Schaltzustände der elektronischen Schalter (5), (6), (7) und (8) bestimmen den Betriebszustand. Die Ausgangsspannung der Integrationsstufe gelangt über den kurzschlußfesten Endverstärker (4) auf den Ausgang des Bausteines.

Die Integrationszeitkonstante

$$T_I = \frac{1}{K_I} = R \cdot C$$

wird auf elektronischem Weg durch Tastung des zeitbestimmenden

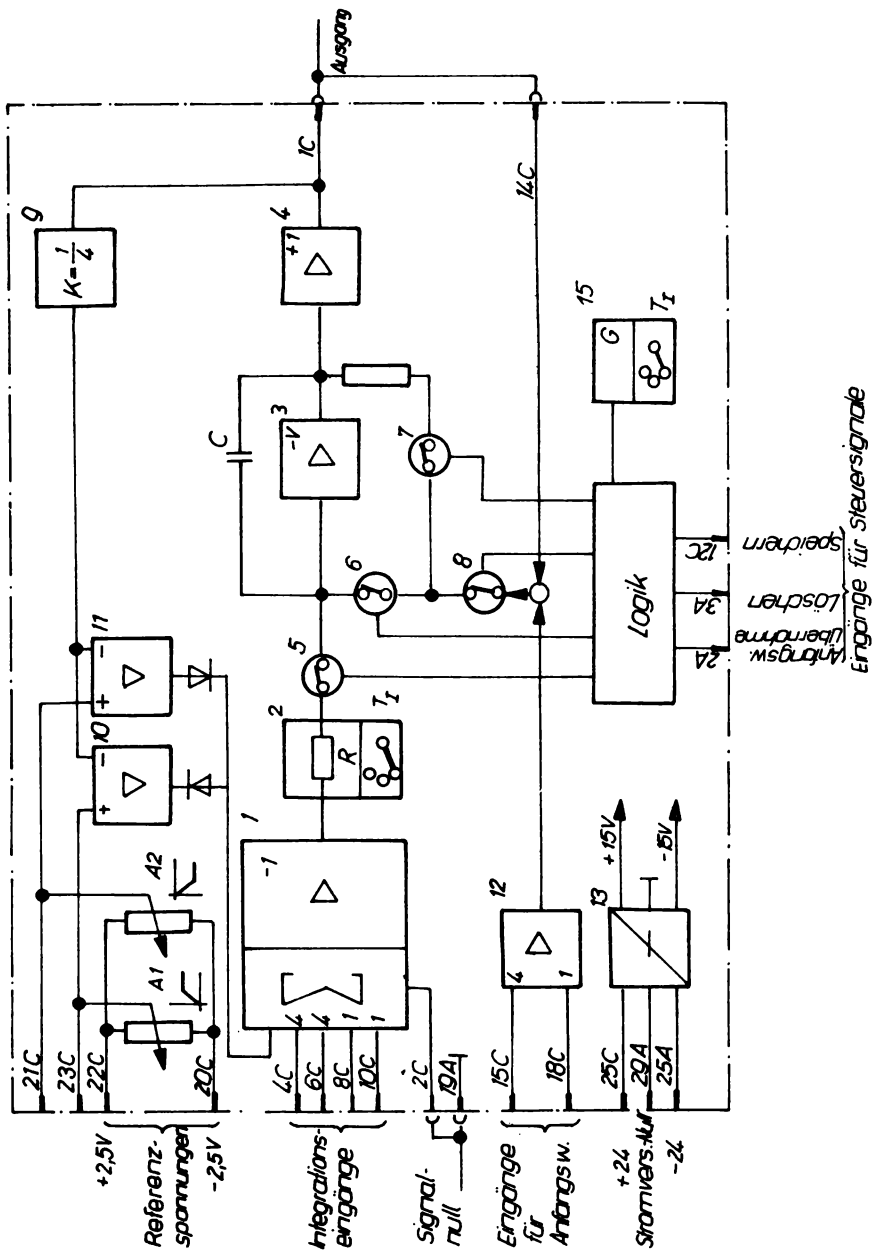


Bild 14: Übersichtsschaltplan des Integrators RBF 02-01

Widerstandes mittels des elektronischen Schalters (5), d.h. periodisches, verschieden langes Unterbrechen des dem Widerstand R durchfließenden Stromes, eingestellt. Die den elektronischen Schalter (5) steuernde Tastspannung, dessen Tastverhältnisse den effektiven Widerstand bestimmen, wird vom Tastgenerator (15) geliefert.

Die Begrenzung der Ausgangsspannung wird mit den beiden als Komparatoren arbeitenden Verstärkern (10) und (11) vorgenommen. In diesen wird die im Spannungsteiler (9) auf ein Viertel herabgeteilte Ausgangsspannung mit den Begrenzersollwerten verglichen, die an den Potentiometern A_1 und A_2 einstellbar sind. Erreicht die Spannung einen der eingestellten Grenzwerte, so liefert der jeweilige Komparatorausgang eine Gegenspannung in den fünften Summiereingang des Verstärkers (1), die sich so groß einstellt, daß der Integrationsvorgang zum Stehen kommt und die Integrationsausgangsspannung konstant auf dem eingestellten Wert stehenbleibt.

Der Signalbereich der Ausgangsspannung liegt zwischen -10 V und $+10\text{ V}$, und die Integrationszeitkonstante ist von $0,22$ bis 2200 s stufig einstellbar. $\sum U_e + \sum U_o$ darf den Eingangssignalbereich -10 V bis $+10\text{ V}$ nicht überschreiten! Auf diese Vorschrift ist auch die Begrenzung der statischen Kennlinie (Bild 13c) zurückzuführen /6/.

Ü b u n g

Ü 3. Die Regelabweichung eines I-Reglers springt zum Zeitpunkt t_1 auf den konstanten Wert ΔX_w und zum Zeitpunkt t_2 auf Null zurück.

Skizzieren Sie den qualitativen Verlauf von $y(t)$!

5.3. Proportional-integral wirkende Regler (PI-Regler)

Die PI-Regler wirken gleichzeitig proportional und integrierend. Die Hauptbestandteile eines PI-Reglers sind ein P- und ein I-Glied in Parallelschaltung. Daraus folgt:

$$G_R(p) = K_R + \frac{K_I}{p}$$

Um zu der nach TGL 14591 vorgegebenen Schreibweise zu kommen, erfolgt eine elementare Umformung:

$$G_R(p) = K_R \left(1 + \frac{K_I}{p \cdot K_R} \right)$$

Für den Quotient $K_R : K_I$ sieht TGL 14591 die Bezeichnung Nachstellzeit T_n vor:

$$G_R(p) = K_R \left(1 + \frac{1}{p \cdot T_n} \right) \quad (6)$$

Aus (6) ergibt sich nach kurzer Rechnung für den Zeitbereich:

$$y(t) = -(K_R \cdot X_W + \frac{K_R}{T_n} \int X_W dt)$$

Für $X_W = \Delta X_W = \text{const.}$ kann daraus die analytische Form der Sprungantwort bestimmt werden:

$$y(t) = -(K_R \cdot \Delta X_W + \frac{K_R}{T_n} \int \Delta X_W dt)$$

$$y(t) = \underbrace{-(K_R \cdot \Delta X_W)}_{Y_P \text{ (P-Anteil)}} + \underbrace{\frac{K_R \cdot \Delta X_W}{T_n} \cdot t}_{Y_I \text{ (I-Anteil)}}$$

Bild 15 zeigt die Sprungantwort als Summe von P- und I- Anteil.

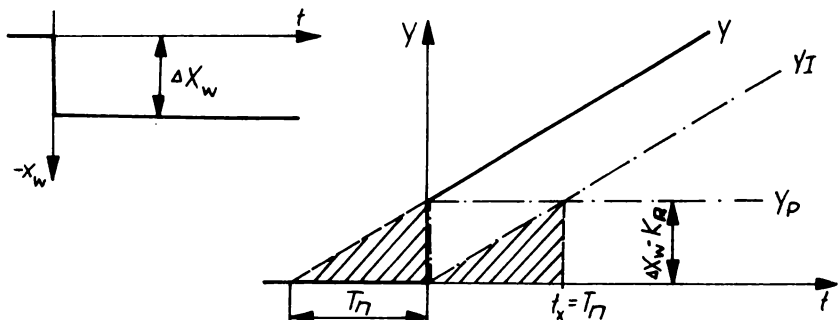


Bild 15: Sprungantwort von PI-Reglern

Bestimmt man die Zeit t_x , zu der der P- und I- Anteil den gleichen Beitrag zur Ausgangsgröße leisten, also gleich sind, ergibt sich:

$$K_R \cdot \Delta X_W = \frac{\Delta X_W}{T_n} \cdot K_R \cdot t_x$$

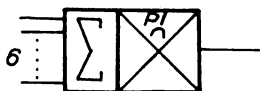
$$t_x = T_n$$

Daraus folgt als Verbaldefinition:

Die Nachstellzeit T_n eines PI-Reglers ist die Zeit, die nach einer sprungförmigen Änderung der Regelabweichung der I-Anteil benötigt, um die gleiche Stellgrößenänderung zu bringen, die der P-Anteil sofort gebracht hat.

Wurde die Sprungantwort experimentell ermittelt und soll daraus die Nachstellzeit bestimmt werden, so geschieht das günstigerweise durch rückwärtige Verlängerung des linearen Anstiegs. Die Strecke zwischen dem Schnittpunkt der rückwärtigen Verlängerung mit der Abszisse und dem Ursprung entspricht wegen der Deckungsgleichheit der im Bild 15 schraffierten Dreiecke der Nachstellzeit.

Als praktisches Beispiel für einen PI-Regler werde der Baustein RBS 01-01 aus dem System "ursamar 4000" betrachtet. Bild 16 zeigt das im Baugliedplan einzusetzende Symbol des Reglers.



Der Baustein besteht aus einem geschützten Kartenein Schub C2 nach TGL 25068/02 (80 mm x 120 mm x 240 mm) mit zwei Steckerleisten nach TGL 29331/03.

Bild 16: Baugliedplansymbol
des RBS 01-01

Bild 17 zeigt den Übersichtsschaltplan des Bausteins. Der Regler besitzt sechs Eingänge. Von diesen sind zwei mit höherer Summiergenauigkeit ausgestattet und vorzugsweise für den Soll-Istwert-Vergleich bestimmt.

Für den Fall, daß eine Eingangsspannung nicht mit der ihrem Wirkungssinn entsprechenden Polarität zur Verfügung steht, besitzt der Baustein einen frei beschaltbaren Inverter (12) zur Vorzeichenumkehr. Für die Bewertung von Eingangssignalen stehen drei frei beschaltbare Potentiometer A_2 bis A_4 zur Verfügung. Der Verstärkungsfaktor des Summierverstärkers (1) bestimmt die Proportionalverstärkung K_R . Der nachfolgende Verstärker (2) arbeitet durch entsprechende Brücken am Eingang zwischen den Punkten 1 bis 4 entweder invertierend oder nicht invertierend.

Anschließend erfolgt eine Aufteilung des Signalweges in einen Proportional- und einen Integralkanal. Beide Anteile werden im Endverstärker (7) zusammen mit anderen Hilfeingängen aufsummiert und bilden den Ausgang des Reglers.

Über zwei Verstärker (10) und (11) erfolgt eine Begrenzung der Reglerausgangsspannung, wenn die an den Potentiometern A_5 und A_6 eingestellte Spannung – mit dem Faktor 4 bewertet – über- bzw. unterschritten wird. Mit dem Grobschalter (3) wird die Integrationskonstante des Integriergliedes (5) dekadisch gestellt, während über den Feinschalter das Tastverhältnis eines astabilen Multivibrators (13) verändert wird. Dessen Ausgangsimpulse steuern die Torschaltung (4). Dadurch wird die Eigenzeitkonstante des Integriergliedes um den Faktor des reziproken Tastverhältnisses vergrößert.

Umschaltbefehle "Hand" bzw. "Automatik", die z.B. über die entsprechenden Taster eines Zeitgerätes ausgelöst werden können, werden im Speicher (15) eingespeichert. Dabei dominiert sowohl beim Einschalten der Versorgungsspannung als auch beim gleichzeitigen Anliegen beider Befehle der Befehl "Hand" über "Automatik". Die Stellung des Speichers wird über je einen Relaiskontakt gemeldet.

In Stellung "Hand" greift der Angleichverstärker (14) über die Torschaltungen (8 und 9) in den Regler ein. Er gleicht die Ausgangsspannung des Reglers bzw. eines eventuell dem Regler nachgeschalteten Gerätes an eine bestimmte Spannung – im Normalfall die Stellgröße – zur stoßfreien Hand-Automatik-Umschaltung an.

Eine Strukturumschaltung des Reglers auf P-Verhalten ist sowohl nur mit dem Grobschalter T_n (Stellung $T_n \rightarrow \infty$) als auch durch externes Umschaltsignal möglich. Dabei wird über die Torschaltungen (6) und (8) der Integrator (5) stark gegengekoppelt und der Integralanteil des Reglers zu Null gemacht. Die vorhandene Struktur wird über je einen Relaiskontakt gemeldet.

Weiterhin besteht bei dem Regler bei Ansteuerung des entsprechenden Eingangs die Möglichkeit der stoßfreien Umschaltung von PI- auf P-Struktur. Dabei behält der Integrator seinen letzten Spannungswert, den er vor der Umschaltung hatte, bei und wird nicht, wie bei der zuvor beschriebenen Strukturumschaltung, auf Null gesetzt. Diese Art der Strukturumschaltung ist nur kurzzeitig anzuwenden (maximal 2 h), da sich die Integrationsausgangsspannung mit der Zeit ändert wegen der unvermeidlichen Entladung des Integrationskondensators mit der Eigenzeitkonstante. Mittels eines zusätzlichen Bausteins ist eine externe Parameterfernverstellung möglich. Dazu ist ein L-Signal im Steuereingang der Parameterfernverstellung notwendig.

Ob die Parameterverstellung intern oder extern erfolgt, wird über je einen Relaiskontakt gemeldet /6/.

Das K_R des PI-Reglers ist zwischen 0,25 und 50 einstellbar. Der Einstellbereich der Nachstellzeit beträgt

intern 0,22 bis 2200 s und

extern 0,13 bis 3300 s.

Ü b u n g

Ü 4. Skizzieren Sie die Sprungantwort eines PI-Reglers.

Wie würde sich die Sprungantwort verändern, wenn bei gleichen Reglerkennwerten die Sprunghöhe der Regelabweichung halbiert würde?

5.4. Proportional-differenzierend wirkende Regler (PD-Regler)

Die PD-Regler wirken gleichzeitig proportional und differenzierend. Die Hauptbestandteile eines PD-Reglers sind ein P- und ein D-Glied in Parallelschaltung. Daraus folgt:

$$G_R(p) = K_R + p \cdot K_D$$

Um zu der nach TGL 14591 vorgegebenen Schreibweise zu kommen, erfolgt eine elementare Umformung:

$$G_R(p) = K_R \left(1 + p \cdot \frac{K_D}{K_R} \right)$$

Für den Ausdruck K_D/K_R sieht der oben genannte Standard die Bezeichnung Vorhaltzeit T_V vor:

$$G_R(p) = K_R (1 + p \cdot T_V) \quad (7)$$

Aus (7) ergibt sich nach kurzer Rechnung für den Zeitbereich:

$$y(t) = - \left(K_R \cdot X_W + T_V \cdot K_R \cdot \frac{dX_W}{dt} \right)$$

Bild 18 zeigt die Sprungantwort des idealen PD-Reglers. Aus ihr kann die eingestellte Vorhaltzeit nicht ermittelt werden.

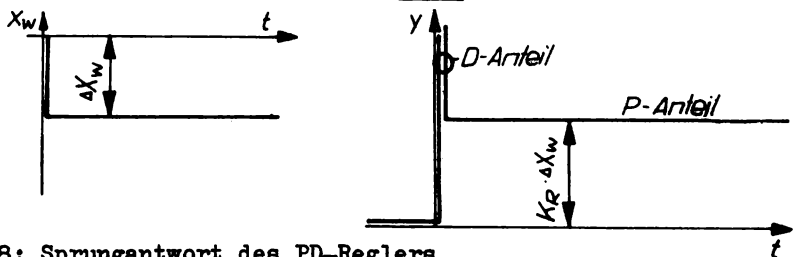


Bild 18: Sprungantwort des PD-Reglers

Soll die Vorhaltszeit eines PD-Reglers experimentell bestimmt werden, ist von der Geschwindigkeitsantwort auszugehen, d.h.

$$X_W(t) = K \cdot t \quad \text{bzw.} \quad X_W(p) = \frac{K}{p^2} \quad (8)$$

Aus (1), (7) und (8) folgt:

$$Y(p) = -G_R(p) \cdot X_W(p)$$

$$Y(p) = -K_R (1 + p T_V) \cdot K \cdot \frac{1}{p^2}$$

$$Y(t) = \underbrace{-(K_R \cdot K \cdot t)}_{Y_P(\text{P-Anteil})} + \underbrace{\frac{K_R \cdot K \cdot T_V}{p}}_{Y_D(\text{D-Anteil})}$$

Bild 19 zeigt die Geschwindigkeitsantwort als Summe aus P- und D-Anteil.

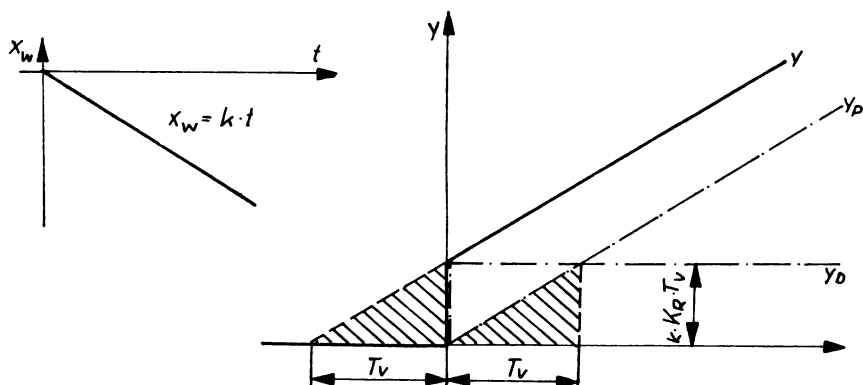


Bild 19: Geschwindigkeitsantwort aus PD-Anteil

Bestimmt man die Zeit t_x , zu der P- und D-Anteil den gleichen Beitrag zur Ausgangsgröße leisten, also gleich sind, so ergibt sich:

$$K_R \cdot K \cdot t_x = K_R \cdot K \cdot T_v$$

$$t_x = T_v$$

=====

Daraus folgt als Verbaldefinition:

Die Vorhaltzeit T_v eines PD-Reglers ist die Zeit, die nach einem von Null ausgehenden linearen Anstieg der Regelabweichung der P-Anteil benötigt, um die gleiche Stellgrößenänderung zu bringen, die der D-Anteil sofort gebracht hat.

Da der industrielle Einsatz von PD-Reglern relativ selten ist, wird hier auf die Vorstellung einer gerätetechnischen Realisierung verzichtet.

Übung

Ü 5. Die Regelabweichung eines PD-Reglers springt zum Zeitpunkt t_1 auf den konstanten Wert Δx_w und zu Zeitpunkt t_2 auf Null zurück.

Skizzieren Sie den qualitativen Verlauf von $y(t)$!

5.5. Proportional-integral-differenzierend wirkender Regler (PID-Regler)

Analog zum PI- und PD-Regler vereinigt der PID-Regler einen P-, einen I- und einen D-Anteil.

$$G_R(p) = K_R + \frac{K_I}{p} + p \cdot K_D$$

Wird der Faktor K_R aus der vorstehenden Formel ausgeklammert, können auch hier die Parameter Vorhaltzeit und Nachstellzeit eingeführt werden.

$$G_R(p) = K_R \left(1 + \frac{K_I}{p \cdot K_R} + p \cdot \frac{K_D}{K_R} \right)$$

$$G_R(p) = K_R \left(1 + \frac{1}{pT_n} + pT_v \right) \quad (9)$$

Mit Hilfe der Beziehungen (1) und (9) ergibt sich für die Stellgröße im Bildbereich:

$$Y(p) = -G_R(p) \cdot X_W(p)$$

$$Y(p) = -K_R \left(1 + \frac{1}{pT_n} + pT_v \right) \cdot X_W(p)$$

Nach Rücktransformation in den Zeitbereich erhält man:

$$y(t) = \underbrace{-(K_R \cdot x_w(t))}_{\text{P-Anteil}} + \underbrace{\frac{K_R}{T_n} \int x_w(t) dt}_{\text{I-Anteil}} + \underbrace{K_R \cdot T_v \cdot \frac{dx_w(t)}{dt}}_{\text{D-Anteil}}$$

Bild 20 zeigt die Sprungantwort eines idealen PID-Reglers.

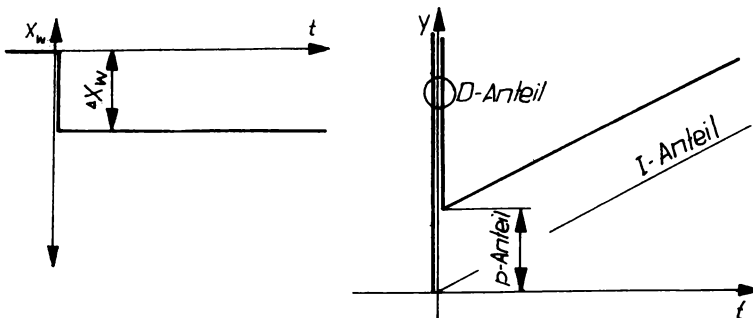


Bild 20: Sprungantwort eines idealen PID-Reglers

Innerhalb des Bausteinssystems "ursamar 4000" werden stetige PID-Regler durch einen PI-Regler realisiert, zu dem ein DT_1 -Glied parallel geschaltet wird.

Der Baustein RBF 01-01 (DT-Glied) besteht aus einem geschützten Karteneinschub C 2 nach TGL 25068/02 (40 mm x 120 mm x 240 mm) mit einer Steckerleiste nach TGL 29331/03. Bild 21 zeigt den Übersichtsschaltplan des Bausteins.

Der Eingangssummator bildet die Summe der Eingangsspannungen. Das Summensignal wird anschließend in Differenzierteil (2), der DT_1 -Verhalten besitzt, differenziert. In beiden Stufen erfährt das Signal jeweils eine Vorzeichenumkehr. Im Differenzierteil wird das Signal um den Faktor K_v verstärkt und dann dem Ausgangssummator (4) zugeführt.

Die Zeitkonstante des Differenzierteils

$$T_D = C \cdot R_{\text{eff}}$$

wird auf elektronischen Wege durch Tastung (d.h. durch periodisch unterschiedlich langes Ein- und Ausschalten) des Widerstandes des zeitbestimmenden RC-Gliedes eingestellt. Die Tastspannung, deren Tastverhältnis den effektiven Widerstand R_{eff} bestimmt, wird bei bausteininterner Einstellbarkeit der Zeitkonstante vom Tastgenerator (5) geliefert, bei externer Einstellbarkeit über 9 C eingespeist. Die Umschaltung von interner auf externe T_D -Verstellung erfolgt durch das Relais K 100, welches über den Binärverstärker (7) durch das von außen zugeführte Tastsignal erregt wird.

In der Betriebsart "Bereitschaft" ist das Zeitverhalten des Bausteins unwirksam. Diese Betriebsart kann, z.B. bei Einfahrarbeiten direkt am Baustein, durch Umschaltung auf den Bereichsfaktor "0" oder z.B. bei automatischen Anfahrvorgängen durch ein Steuerungssignal eingestellt werden. Die Umschaltung wird in beiden Fällen durch das Relais K 101 vorgenommen. Das ODER-Glied (6) verknüpft internes und externes Umschaltsignal. Die Übertragungsfunktion des DT_1 -Gliedes RBF 01-01 lautet:

wobei für interne Parametereinstellung gilt:
 $0,22 \text{ s} < T_D < 2200 \text{ s}.$

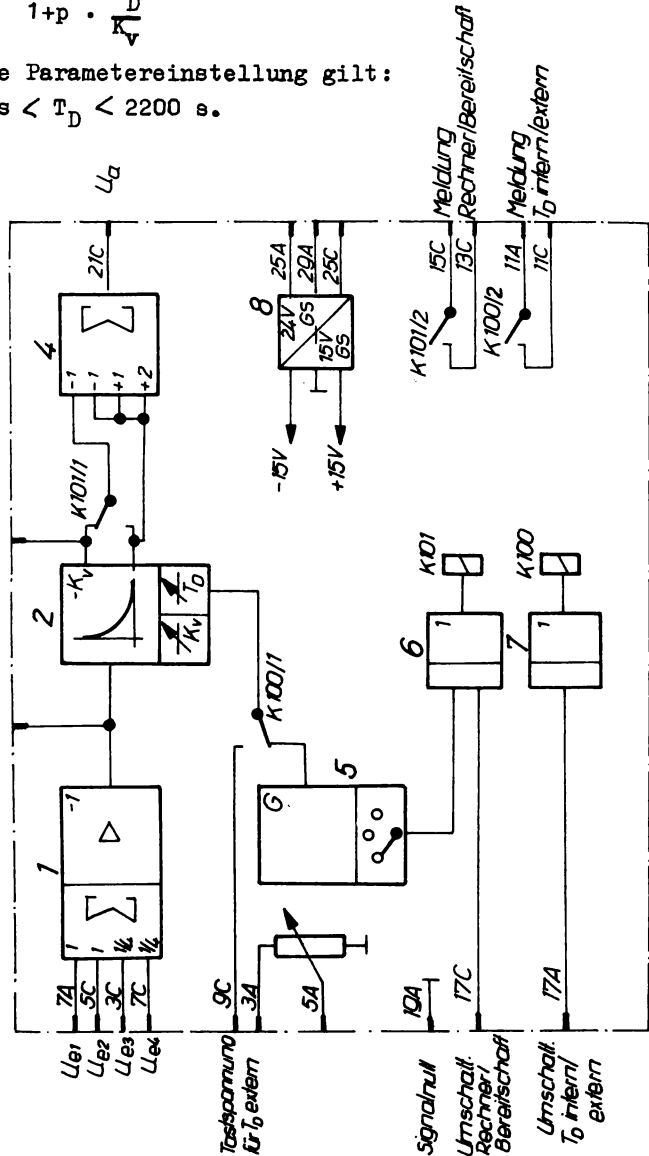


Bild 21: Übersichtsschaltplan des DT₁-Bausteins RBF 01-01

Die prinzipielle Zusammenschaltung der Bausteine RBS 01 (PI) und RBF 01-01 (DT_1) zum PID (T_1)-Regler zeigt Bild 22.

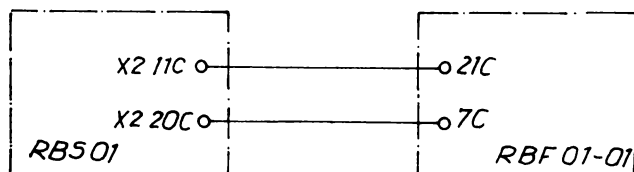


Bild 22: Realisierung des PID-Verhaltens durch die Bausteine RBS 01 und RBF 01-01

Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Bilder 21 und 17, so erkennt man, daß das DT_1 -Glied parallel zum I-Glied (5) vor dem Endverstärker (7) (Bild 17) liegt, woraus sich eine unabhängige Einstellmöglichkeit des P-, I- und D-Anteils ergibt. Bild 23 zeigt die Sprungantwort des realen PID-Reglers.

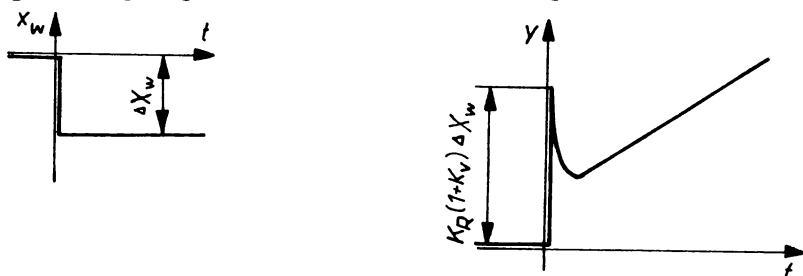


Bild 23: Sprungantwort des PID-Reglers nach Bild 22

Bild 20 läßt erkennen, daß sich bei der kurz betrachteten Realisierung zwei Besonderheiten ergeben:

- 1) Die Sprunghöhe des D-Anteils ist nicht wie beim idealen PID-Reglers unendlich, sondern von der Höhe der Regelabweichung abhängig, sie beträgt

$$K_R(1+K_V) \cdot \Delta x_w$$

- 2) Der Übergang vom D-Anteil zum I-Anteil ist verschliffen, wobei der Grad der Verschleifung der Zeitkonstante T_D direkt

und K_D umgekehrt proportional ist.

Die Übertragungsfunktion des aus den Bausteinen RBS 01 und RBF 01-01 realisierten $PIDT_1$ -Reglers lautet:

$$G_R(p) = K_R \left[1 + \frac{1}{pT_n} + \frac{pT_D}{1+p \frac{T_D}{K_V}} \right]$$

Ü b u n g

Ü 6. Von einem PID-Regler soll experimentell T_v , T_n und K_R bestimmt werden.

Geben Sie an, wie Sie bei der Messung vorgehen!

5.6. Gerätetechnischer Aufbau einer analogen linearen Regleinrichtung mit PID-Verhalten

Soll eine PID-Regleinrichtung mit Hilfe des Bausteinregelsystems "ursamar 4000" realisiert werden, werden neben den im Abschnitt 5.3. bis 5.5. bereits behandelten Bausteinen

RBS 01-01 und

RBF 01-01

weiterhin folgende Bausteine benötigt:

RKL 01 (Leitgerät),

ABQ 01 (elektromotorischer Speicher),

Stellungsregler Notrep und

Stellantrieb Modact.

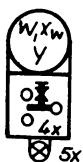


Bild 24: Baugliedplansymbol
des Leitgerätes RKL 01

Das Leitgerät RKL 01 dient zur manuellen Bedienung von Regelkreisen. Es besteht konstruktiv aus den EGS-Einbaugehäuse C2, das sich aus dem Tafel-einbaugehäuse und dem

Geräteeinschub zusammengesetzt. Um eine Unterbrechung von Stromsignalen beim Herausziehen des Einschubs zu verhindern, sind die zur I/U-Wandlung benötigten Widerstände fest im Gehäuse montiert.

Die Leitungen, die beim Herausziehen des Einschubes getrennt werden, sind im Übersichtsschaltplan (Bild 25) durch $\times$ gekennzeichnet.

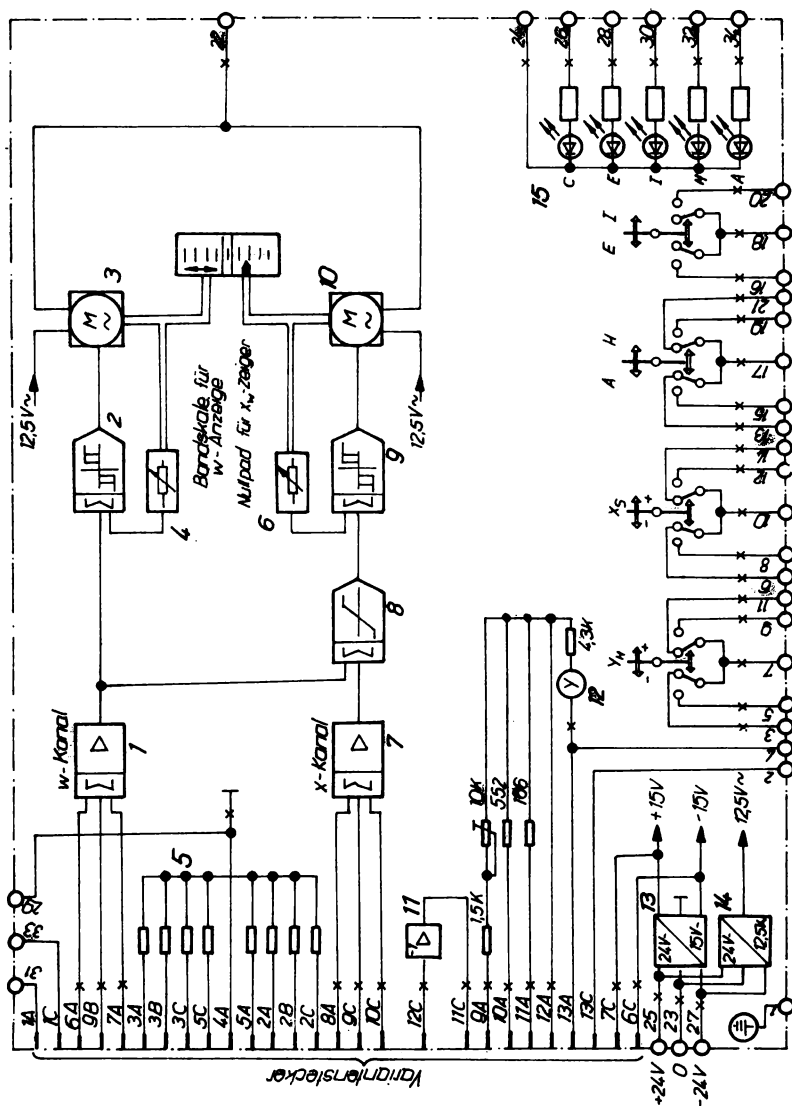


Bild 25: Übersichtsschaltplan des Leitgerätes RKL 01

Zur Anzeige der Führungsgröße W dient eine Bandskala. Sie wird mit Hilfe eines internen Motorkompensators in Abhängigkeit vom Eingangssignal verstellt. Der unter dem Nullstrich des grünen Nullpfades stehende Skalenwert ist der Anzeigewert.

Der Eingang dieses Anzeige kanals ist für Eingangssignale mit gegen Signall null negativer Polarität ausgelegt.

Mittels Spannungsteiler, der Bestandteil des Verstärkers (1) ist, bei Spannungssignal und OHM-schen Widerständen (5) als I/U-Wandler bei Stromsignal sowie zusätzlicher Nullpunktunterdrückung bei Signalen mit lebenden Nullpunkt (life zero), wird das Eingangssignal auf einheitlich 0 bis 2,5 V abgebildet und anschließend durch den Verstärker (1) auf den inneren Verarbeitungspegel verstärkt. Dieses Signal wird dem Motorkompensatorsystem (2, 3, 4) zugeführt.

Dort wird im Eingang des Dreipunktgliedes (2) das vom Stellungsgeber (4) abgegebene und der Stellung der Bandskala proportionale Rückführsignal mit der verstärkten Eingangsspannung verglichen. Bei Abweichung zwischen beiden gibt das Dreipunktglied solange Steuerbefehle an den die Bandskala verstellenden Stellmotor, einen Wechselstrommotor, ab, bis verstärktes Eingangssignal und Rückführsignal übereinstimmen. Bei Übereinstimmung entspricht die Anzeige dem Eingangssignal.

Beim zweiten Anzeigesystem dient zur Anzeige ein roter Zeiger. Dieser wird mit Hilfe eines zweiten internen Motorkompensators durch die Regelabweichung verstellt. Nullpunkt für den Zeiger ist der Nullstrich des Nullpfades.

Bei Regelabweichung Null befindet sich daher der rote Zeiger hinter dem transparenten grünen Nullpfad, der auf Grund der Überlagerung der beiden Farben nur schwarz sichtbar ist.

Auf eine Regelabweichung wird das Bedienpersonal sofort durch Sichtbarwerden des roten Zeigers aufmerksam gemacht. Dabei entspricht die Stellung oberhalb und unterhalb des Nullpfades der Richtung und der Abstand von ihm dem Betrag der Regelabweichung. Der Anzeigebereich der Regelabweichungsanzeige ist so gewählt, daß die Stellung des roten Zeigers die Regelgröße x auf der Bandskala anzeigt. Dem Anzeige kanal wird als Eingangssignal die

Regelgröße (Istwert) x als Strom oder Spannung zugeführt. Der Eingang ist für Eingangssignale mit gegen Signallnull positiver Polarität ausgelegt. Die Signalwandlung und Verstärkung im Verstärker (7) entspricht der des 1. Anzeigekanals.

Im Summiereingang des Begrenzers (8) wird durch Differenzbildung aus dem verstärkten w -Signal und dem verstärkten x -Signal die Regelabweichung x_w gebildet, anschließend verstärkt und bei zu großer Regelabweichung begrenzt sowie dann dem aus (6), (9) und (10) bestehenden Motorkompensator zugeführt, der den x_w -Zeiger verstellt. Seine Wirkungsweise ist die gleiche wie bereits beim 1. Anzeigesystem beschrieben, nur daß anstelle der Bandskala der Zeiger verstellt wird.

Die Begrenzung bewirkt, daß bei Regelabweichungen, die den x_w -Anzeigebereich von $\pm 20\%$ überschreiten, der Kompensator eingangsseitig nicht übersteuert werden kann.

Zur Anzeige der Stellgröße Y werden die verschiedenen Einheits-signale mittels Spannungsteiler bzw. OHM-scher Widerstände auf einheitlich 0 bis 2,5 V abgebildet und an einem Zeigerinstrument mit Drehspulsystem (12) zur Anzeige gebracht.

Ein Inverter (11) dient zur Vorzeichenumkehr eines Spannungseinheitssignals. Er ermöglicht es, wahlweise das w - oder x -Signal entgegengesetzt zu der für den zugehörigen Anzeigekanal vom Hersteller festgelegten Polarität aufzuschalten.

Die Leuchtdioden (15) dienen zur optischen Signalisierung des Betriebszustandes des Reglers. Sie werden von den Meldekontakten des Reglers und des Speichers oder einer übergeordneten Steuerung angesteuert.

Die Lage der Bedienelemente ist aus Bild 26 ersichtlich. Über diese werden Sprungkontaktschalter für die Dauer der Betätigung ein- bzw. umgeschaltet. Nach der Betätigung kehren die Bedienelemente in ihre Nullstellung zurück. Die impulsförmigen Kontaktgaben dienen im Falle der Führungsgrößeneinstellung zur inkrementalen Verstellung des Speichers (RBQ 01), der als Sollwertgeber arbeitet, und bei Handfahrweise des Regelkreises zur inkrementalen Verstellung des Stellgliedes. Die impulsförmigen Befehle für die Umschaltung auf "HAND" oder "AUTOMATIK" werden im

Regler RBS 01, die für die Umschaltung der Führungsgröße auf "intern" oder "extern" im Speicher RBQ 01 gespeichert.

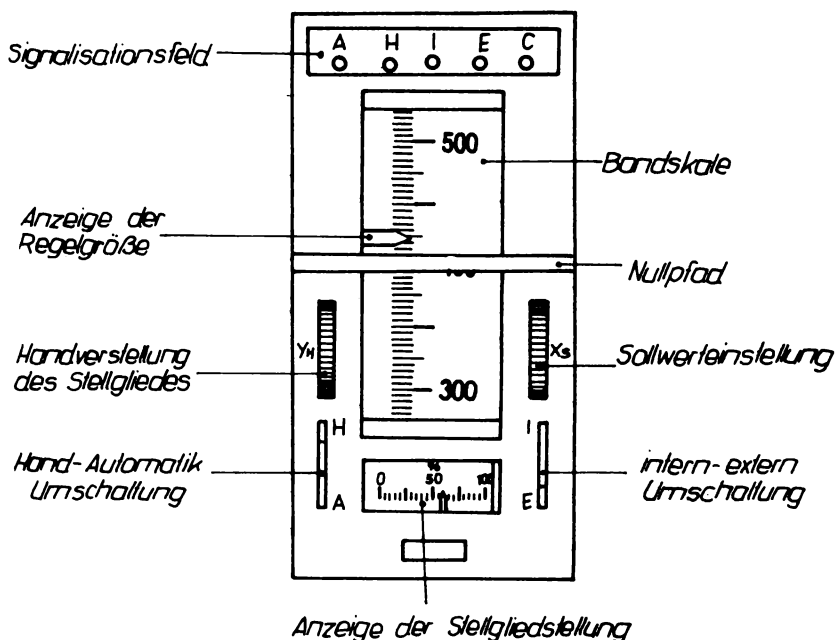


Bild 26: Frontansicht des Leitgerätes RKL 01

Bild 27 zeigt das Symbol des elektromotorischen Speichers RBQ 01.

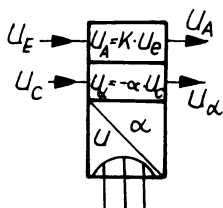


Bild 27: Baugliedplansymbol des elektromotorischen Speichers RBQ 01

In dem hier zu betrachteten Einsatzfall dient er als Sollwertspeicher. Dabei wird die zu speichernde Sollwertspannung über ein Potentiometer erzeugt, das z.B. über zwei Inkrementalkanäle von dem Sprungkontaktschalter des Leitgerätes

aus verstellt werden kann. Der Baustein RBQ 01 ist als geschützter Karteneinschub C2 nach TGL 25068/02 (60 mm x 120 mm x 240 mm)

mit einer Steckerleiste nach T&L 29331/03 aufgebaut. Bild 28 zeigt den Übersichtsschaltplan.

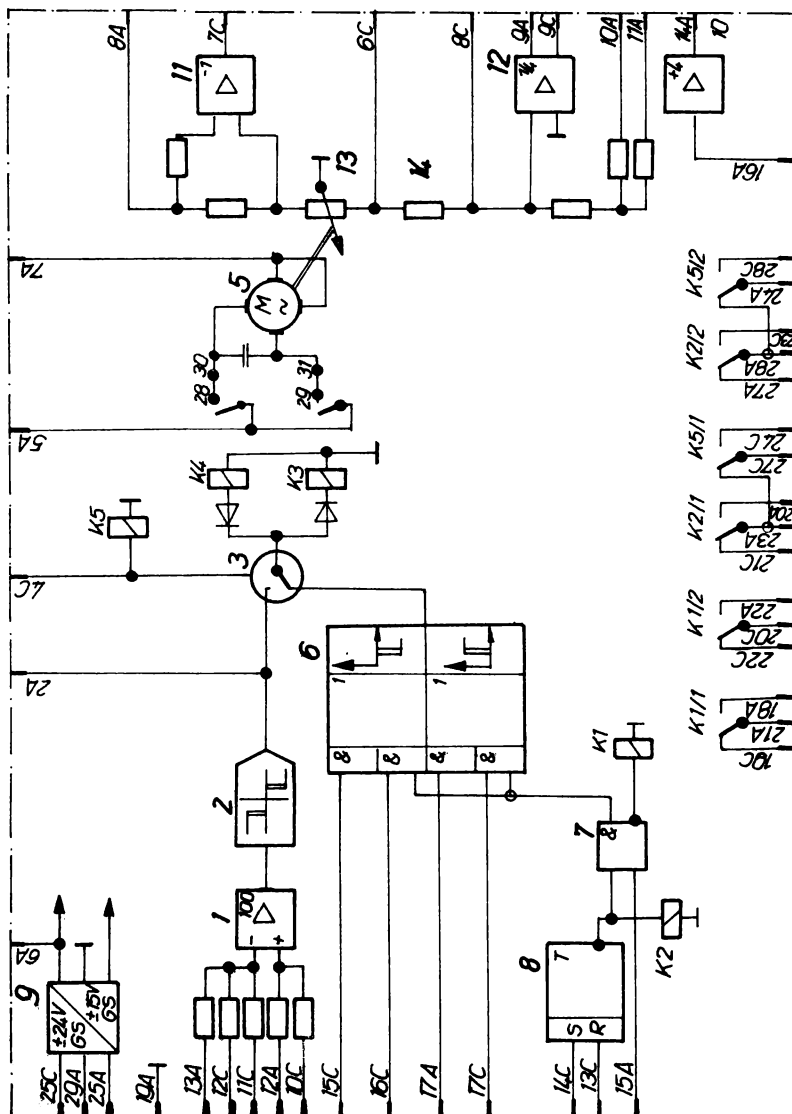


Bild 28: Übersichtsschaltplan des elektromotorischen Speichers
RBQ 01

Das Gerät enthält einen Synchronmotor (5), der über ein Getriebe ein 10-Gang-Potentiometer (13) antreibt. Der Motor wird mit einer von außen anzulegenden Wechselspannung betrieben. Ein Schaltverstärker schaltet den Motor über die Relais K 3 und K 4 entsprechend der geforderten Drehrichtung ein und aus.

Die Schleiferstellung des Potentiometers (13) wird über zwei Operationsverstärker (11) und (12) abgefragt.

Von außen erzeugt der Operationsverstärker (11) mit Hilfe einer von außen anzulegenden Konstantspannung U_e eine der Schleiferstellung α proportionale Spannung, die vorzugsweise zur Anzeige der Schleiferstellung bestimmt ist. Der Operationsverstärker (12) dient dazu, eine an seinem Eingang angelegte Spannung U_e mit einem Bewertungsfaktor $K(\alpha)$ zu bewerten. Dieser Faktor ist durch externe Brücken wählbar, er beträgt entweder $K(\alpha) = \alpha$, d.h. $K(\alpha) = 0$ bis 1 oder $K(\alpha) = 0,5 + 1,5 \alpha$, d.h. $K(\alpha) = 0,5$ bis 2. Das zu bewertende Signal kann den Bereich 0 bis $\pm 2,5$ V oder 0 bis ± 10 V besitzen. Zur Anpassung an den jeweiligen Signalbereich dient ein weiterer Operationsverstärker (10), der über externe Brücken bei 2,5 V-Signalen vor und bei 10 V-Signalen hinter den Operationsverstärker (12) geschaltet wird.

Im vorgesehenen Beispielfall erfolgt die Motorverstellung über zwei Inkrementalkanäle. Welcher der beiden Inkrementalkanäle in der Logikschaltung (6) freigegeben wird, bestimmt der Speicher (8), der z.B. über die Tasten "intern" oder "extern" des Leitgerätes RKL 01 gesetzt werden kann. Inkrementkanal II ist über eine UND-Verknüpfung (7) mit einem Freigabesignal verriegelt. Als Stellantrieb soll im vorliegenden Beispiel der MODACT-Variant-Antrieb eingesetzt werden, dessen Steuerung über den Stellungsregler NOTREP erfolgt. Bild 29 zeigt die Symbole für beide Bauglieder.

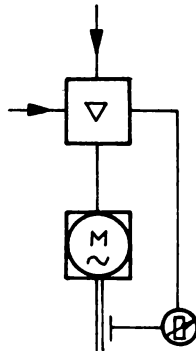


Bild 29: Baugliedplansymbol MODACT/NOTREP

Der Antriebsmotor des Schubantriebes MODACT-Variant ist ein Wechselstrommotor, dessen Klemmenbelegung aus dem Anschlußschema (Bild 30) ersichtlich ist.

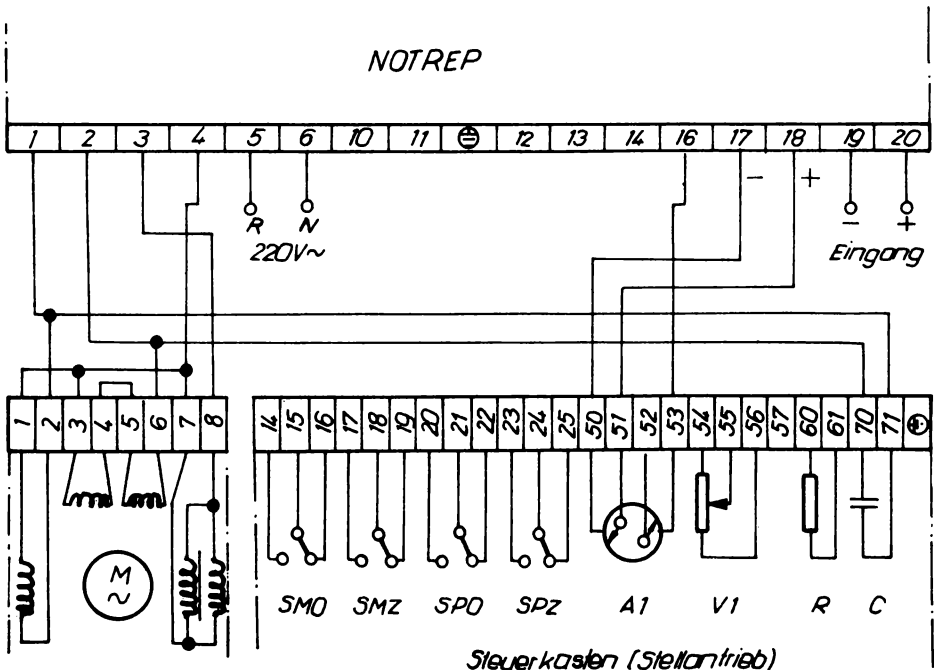


Bild 30: Anschlußbelegung von NOTREP (Stellungsgröße) und MODACT (Stellantrieb)

Bei Ausfall der Versorgungsenergie spricht eine elektromechanische Bremse an, die durch das Getriebe bedingte Selbstsperrung des Antriebes zusätzlich sichert.

Der Stellantrieb kann durch ein Handrad in jedem Betriebszustand betätigt werden.

Für die Meldung von beliebigen Ventilspindelstellungen sind zwei lagerabhängige Signalschalter SPO und SPZ vorhanden. Zwei kraftabhängige Schalter SMO und SMZ sind auf die Nennstellkraft eingestellt. Mit ihnen können Endstellungen bei Festanschlag oder Betriebsstörungen des Ventils gemeldet werden.

Der Rückführgeber ARIPOT (A1) dient der Meldung der Stellung an den Stellungsregler NOTREP. Durch Parallelabgriff an den MODACT-Anschlüssen 52/53 (oder auch an 50/51) kann eine der Stellung proportionale Spannung (Signalpegel 0 bis 10 V) zur Stellungsmeldung im Leitgerät abgenommen werden.

Der Einfachwiderstandferngeber V 1 kann ebenfalls für die Stellungsmeldung genutzt werden, muß aber extern gespeist werden.

Der Widerstand R dient zur Beheizung des Antriebs.

Der Stellungsregler NOTREP arbeitet auf Thyristorbasis und formt die stetigen Ausgangssignale der Regler in Eingangssignale für den Stellantrieb um.

Bild 31 zeigt den Baugliedplan eines aus Bausteinen des Systems "ursamar 4000" aufgebauten PID-Reglers mit Stellantrieb.

Die detaillierte Verdrahtung und konstruktive Anordnung der Bausteine stellen Probleme dar, die dem Lehrgebiet "Entwurf von Automatisierungsanlagen" zuzuordnen sind.

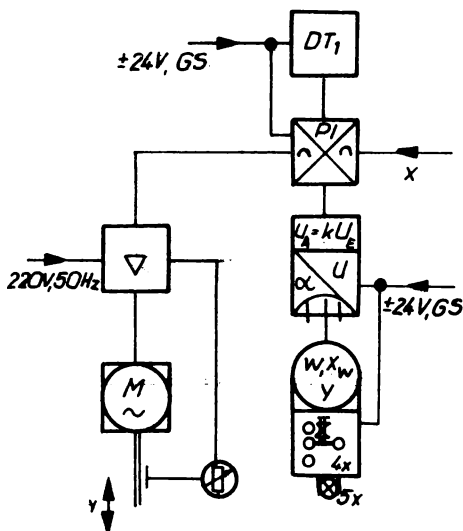


Bild 31: Baugliedplan eines PID-Reglers mit Stellantrieb

6. Mehrpunktregler

6.1. Zweipunktregler

Den einfachsten Vertreter der Mehrpunktregler (Bild 3) stellt der Zweipunktregler dar, bei dem die Stellgröße nur 2 Werte annehmen kann. Die Einfachheit des gerätetechnischen Aufbaus hat ihm ein weites Anwendungsgebiet gesichert.

Wir finden den Zweipunktregler z.B. als

- Bimetallregler in Bügeleisen und Heizkissen,
- Stabausdehnungsregler in Warmwasserboilern,
- Kontaktthermometer in Aquarien.

Bild 32 zeigt die statische Kennlinie eines Zweipunktreglers. Wird die Regelgröße von Null beginnend langsam gesteigert, so besitzt zuerst die Stellgröße ihren maximalen Wert ($Y_{\max}$). Erreicht x den Wert w_1 , so ändert sich die Stellgröße sprunghaft von $Y_{\max}$ auf $Y_{\min}$ (hier mit Null angenommen).

Wird nun die Regelgröße wieder langsam verkleinert, so kehrt die Stellgröße erst bei $x = w_2$ in ihre Ausgangslage zurück. Diese Schalthysterese oder Schaltdifferenz (h oder ebenfalls 2ε)

$$h = w_2 - w_1 = 2\varepsilon$$

ist in der Regel konstruktiv bedingt.

Für bestimmte Anwendungsfälle hat die Schaltdifferenz ebenfalls funktionelle Bedeutung, die darin besteht, daß bei zu kleiner Schaltdifferenz die Schalthäufigkeit des Stellgliedes zu hoch wird.

Bild 33 zeigt das Signalflußbild einer Regeleinrichtung mit Zweipunktregler.

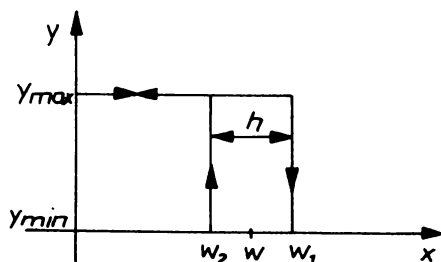


Bild 32: Statische Kennlinie
des Zweipunktreglers

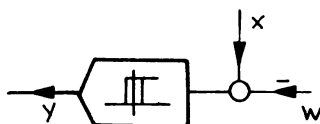


Bild 33: Signalflußbild der
Zweipunktregelein-
richtung

Innerhalb des Systems "ursamar 4000" kann der Grenzwertmelder RBG 01 als Zweipunktregler Verwendung finden. Im Bild 34 ist sein Übersichtsschaltplan dargestellt. Er ist als geschützter Karteneinschub C2 nach TGL 25068/02 (20 mm x 120 mm x 240 mm) mit einer Steckerleiste nach TGL 29331/03 aufgebaut.

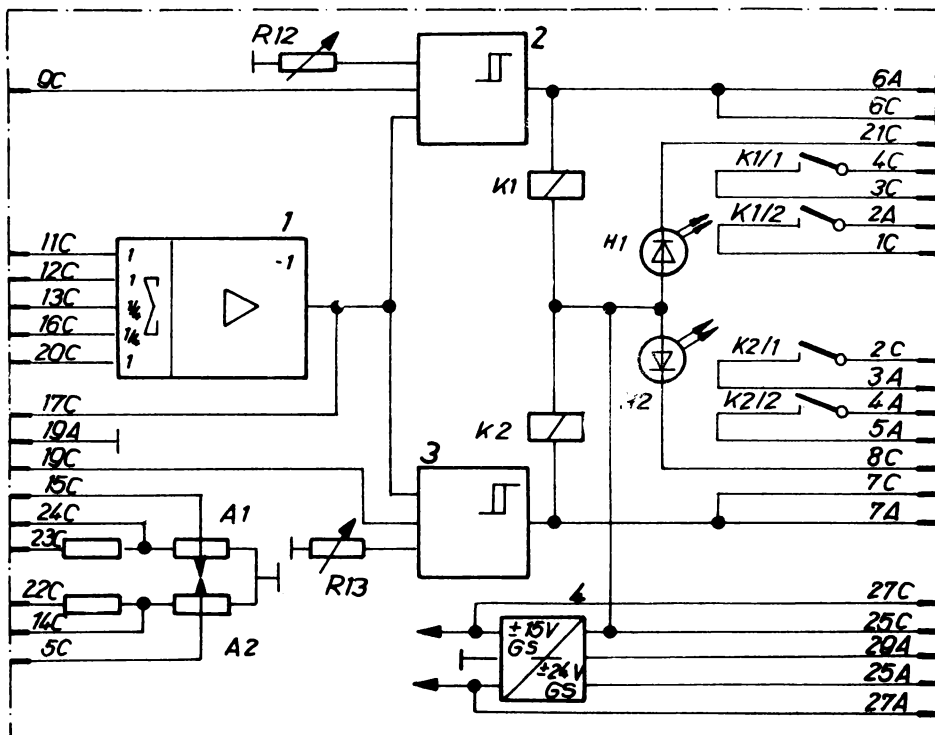


Bild 34: Übersichtsschaltplan des Grenzwertsignalisators RBG 01

Der Eingangssummiervverstärker besitzt 5 Eingänge unterschiedlicher Bewertung. Die negative Summenspannung

$$-U_S = U_{11C} + U_{12C} + 1/4 U_{13C} + 1/4 U_{16C} + U_{20C}$$

steht am Anschluß 17C zur Verfügung.

Die Auswerteschaltung ist zweifach aufgebaut. Damit ist es möglich, die Summenspannung U_S auf 2 Grenzwerte (Oberwert und Unterwert) zu überwachen. Die Grenzwertüberwachung erfolgt mittels der Komparatoren (2) und (3). Diese besitzen zwei Eingänge.

Der Schaltpunkt des Komparators ist erreicht, wenn die Summe der beiden Eingangsspannungen den Wert Null annimmt. An einem Eingang des Komparators ist die zu überwachende Summenspannung als invertierte Größe ($-U_S$) fest angeschlossen. Der zweite Eingang ist der Vergleichseingang zur Vorgabe des Schaltpunktes (oder Sollwertes).

Die Komparatoren besitzen eine Schaltdifferenz (Hysterese), die unabhängig von den Schaltpunkten einstellbar ist. Der Schaltzustand der Komparatoren wird an der Frontplatte mittels der Lumineszenzdioden H 1 und H 2 angezeigt.

Zur Auswertung der Grenzwertüberschreitungen stehen entweder Kontaktausgänge oder binäre Spannungsausgänge zur Verfügung. Das Schaltverhalten der Spannungsausgänge ist die Negation der Kontaktausgänge. Im Bild 35 ist die Beschaltung des Bausteins RBG 01 als Zweipunktregler dargestellt.

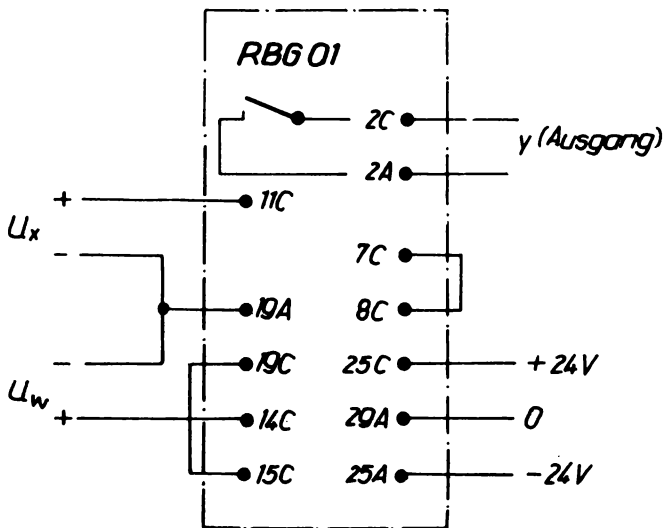


Bild 35: Beschaltung des Bausteins RBG 01 als Zweipunktregler

Wird an die Anschlüsse 5C/19A eine konstante Spannung von 2,5 V angelegt, so kann mit dem Potentiometer A 2 auf der Frontplatte der Sollwert festgelegt werden /6/.

6.2. Dreipunktregler

Bild 36 zeigt die statische Kennlinie des Dreipunktreglers.

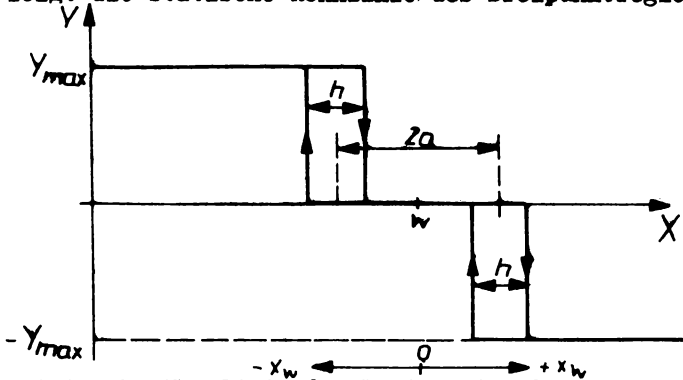


Bild 36: Statische Kennlinie des Dreipunktreglers

Man kann sich diese aus 2 statischen Kennlinien von Zweipunktreglern, davon eine mit negativer Polarität, zusammengesetzt denken, die um die doppelte Ansprechempfindlichkeit ($2a$) gegeneinander verschoben sind. Gerätetechnisch kann ein Dreipunktregler ebenfalls durch zwei Zweipunktregler realisiert werden, z.B. durch Nutzung des im Baustein RGB 01 (s. Abschnitt 6.1.) vorhandenen zweiten Komparators. Für weitergehende Ansprüche sollte jedoch der Baustein RBU 02 (s. Abschnitt 6.3.) Verwendung finden.

In vielen technischen Anwendungsfällen arbeitet der Dreipunktregler mit einem elektromotorischen Stellglied zusammen (z.B. innerhalb des Leitgerätes RKL 01, Bild 24). Das Signalflußbild einer derartigen Anordnung zeigt Bild 37.

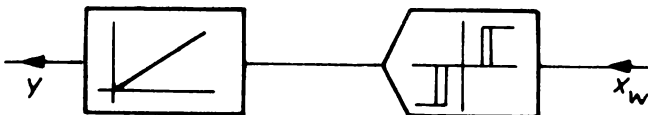


Bild 37: Zweilaufregler

Oft wird für eine derartige Konfiguration auch der Begriff "Zweilaufregler" verwendet. Dieser Zweilaufregler kennt 3 Zustände:

$$-(a + \frac{h}{2}) < x_w < + (a + \frac{h}{2}) : \text{Motor läuft nicht,}$$

$$x_w < - (a + \frac{h}{2}) : \text{Rechtslauf und}$$

$$x_w > a + \frac{h}{2} : \text{Linkslauf.}$$

6.3. Dreipunktregler mit Rückführung (Schrittregler)

Dreipunktregler mit Rückführung werden in der Regel als PI-Regler strukturiert, wobei prinzipiell zwei Realisierungsmöglichkeiten bestehen:

Dreipunktglied mit nachgeschalteten integralen Stellglied und nachgebender Rückführung über beide. Der Nachteil dieser Struktur ist, daß am Stellglied ein zusätzlicher Rückführgeber angebracht werden muß, die bei der nachstehend beschriebenen Realisierung entfällt.

Verwendung eines Dreipunktgliedes mit einer verzögerten Rückführung nur über das Dreipunktglied und nachgeschaltetes integrales Stellglied. Bild 38 zeigt das Signalflußbild.

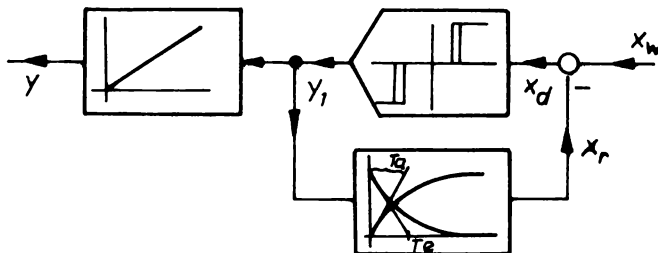


Bild 38: Signalflußbild des PI-ähnlichen Schrittreglers

Als Vorteil dieser Ausführung ist neben der Einsparung des Rückführgebers auch die Möglichkeit der Zusammenfassung von Dreipunktglied und Rückführung zu einer Baueinheit zu werten. Bild 39 zeigt prinzipiell den schaltungsmäßigen Aufbau der verzögerten Rückführung.

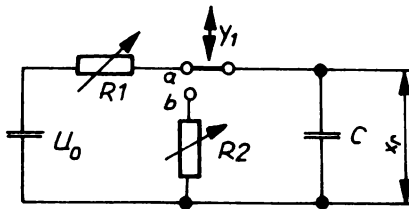


Bild 39: Rückführung eines Schrittreglers

Es ist zu erkennen, daß die Aufladung des Kondensators C bei erregtem Dreipunktglied über den Widerstand R1 erfolgt, während zur Entladung (bei abgefallenem Dreipunktglied) der Widerstand R2 vorgesehen ist. Daraus folgt, daß im all-

gemeinen Fall davon auszugehen ist, daß T_a ungleich T_e ist. Diese Tatsache hat zwei Konsequenzen. Einmal sind Nachstellwert und Proportionalbereich nicht "unabhängig voneinander einstellbar".

Wesentlicher ist aber, daß der Zahlenwert T_a/T_e das Regelverhalten maßgeblich bestimmt. Man spricht von

linearen Regelverhalten, wenn $T_a/T_e = 1$,
nichtlinearen $\left\{ \begin{array}{l} \text{degressiven Regelverhalten, wenn } T_a/T_e > 1, \\ \text{progressiven Regelverhalten, wenn } T_a/T_e < 1 \text{ ist.} \end{array} \right.$

Degressiv bzw. progressiv bedeutet, daß der proportionale Übertragungsfaktor in Abhängigkeit von der Regelabweichung kleiner oder größer wird. Das heißt, bei einem degressiven Regelverhalten ist K_R der Regelabweichung umgekehrt und bei progressiven direkt proportional. Ein Regler mit progressivem Verhalten greift als z.B. bei kleinen Störungen sehr wenig, bei sehr großem Betrag der Regelabweichung stark ein.

An Hand der Bilder 36 und 38 soll die Wirkungsweise eines Schrittreglers qualitativ etwas näher betrachtet werden.

Bei Auftreten einer sprungförmigen Regelabweichung (Bild 40)

$$x_w > a + \frac{h}{2}$$

spricht das Dreipunktglied an und liefert einen positiven Stellimpuls y_1 . Neben der Einschaltung des Stellantriebes bewirkt dieser ebenfalls die Aufladung des Rückführkondensators über den Widerstand R1.

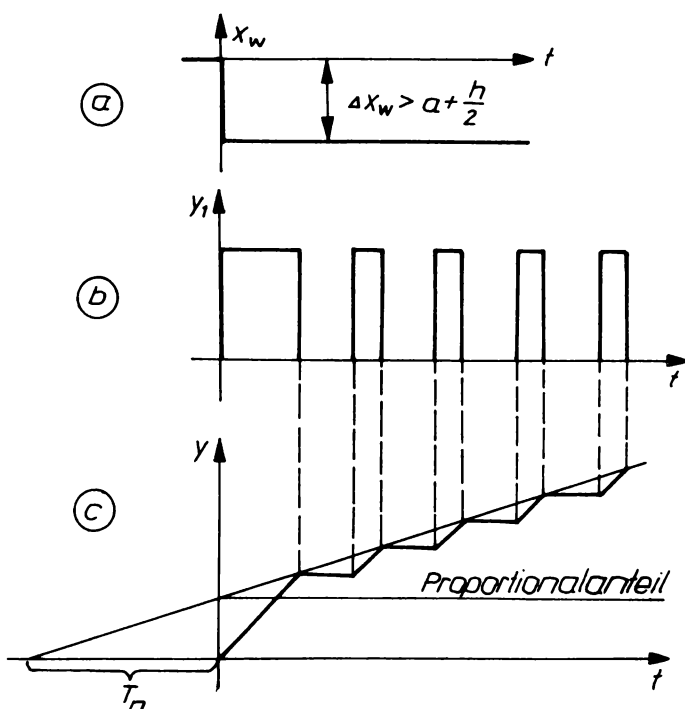


Bild 40: Wirkungsweise des PI-ähnlichen Schrittreglers

Die allmählich ansteigende Rückführspannung x_r wirkt der Regelabweichung entgegen. Wird die Differenz von Regelabweichung und Rückführspannung

$$x_d = x_w - x_r < a - \frac{h}{2}, \text{ so}$$

geht das Dreipunktglied in die Nullstellung zurück. Nunmehr kann sich der Kondensator über den Widerstand R_2 entladen, wodurch die Spannung x_r sich verkleinert. Erreicht die Differenzspannung den Wert

$$x_d = a + \frac{h}{2}$$

spricht das Dreipunktglied erneut an, und der Vorgang wiederholt sich wie oben beschrieben. Es entsteht das im Bild 40 dargestellte Impulsdigramm, bestehend aus einem ersten längeren

Stellimpuls, der von einer gleichmäßigen Folge kürzerer Impulse abgelöst wird.

Durch den integral wirkenden Stellantrieb erfolgt eine Integration des Signals y_1 zum Stellweg y (Bild 40 c). Vergleicht man diese Sprungantwort mit der des PI-Reglers (Bild 15) wird das angenäherte PI-Verhalten des aus Dreipunktglied mit verzögerter Rückführung und integralen Stellantrieb gebildeten Schrittreglers deutlich.

Innerhalb des Bausteinreglersystems "ursamar 4000" stellt der Baustein RBU 01-01 die Realisierung eines Dreipunktgliedes mit nachgebender Rückführung dar.

Er ist als geschützter Karteneinschub C 2 nach TGL 25069/02 (60 mm x 120 mm x 240 mm) mit einer Steckerleiste nach TGL 29331/03 aufgebaut.

Bild 41 zeigt den Übersichtsschaltplan des RBU 01-01. Der eingangsseitige Summierverstärker (1), der u.a. zur Realisierung des Soll-Istwert-Vergleiches genutzt werden kann, ist für 7 Eingangssignale ausgelegt. Das Ausgangssignal des Verstärkers (1) wird am Eingang des Dreipunktgliedes (2) mit dem internen gegensinnigen Rückführsignal summiert. Voraussetzung dafür ist die externe Brücke 1 C - 16 C. Wird diese Brücke nicht realisiert, so arbeitet der Baustein als Dreipunktregler.

Ist die Brücke 1 C - 16 C geschlossen und wird außerdem ein integral wirkendes Stellglied verwendet, so hat die Regeleinrichtung angenähertes PI-Verhalten.

Es sei angenommen, zum Zeitpunkt $t = 0$ trete infolge einer Regelabweichung am Eingang des Dreipunktgliedes (2) eine sprungförmige Eingangsspannung U_g auf, deren Betrag den oberen Schalterpunkt überschreitet. Je nach Vorzeichen des Eingangssprunges nimmt das Dreipunktglied einen der beiden Sättigungswerte an und löst über das zugehörige Ausgangsrelais (K1 und K2) den Stellbefehl aus. Beginnend mit dem Einschalten des Dreipunktgliedes wird über das Potentiometer (4) und den geschlossenen elektronischen Schalter S1 der Integrationskondensator (3a) aufgeladen, dessen Spannung zeitlinear ansteigt. Die Kondensatorspannung wird auf den zweiten Eingang des Dreipunktgliedes (2)

zurückgeführt und dem Signal der Regelabweichung zuaddiert. Da beide Spannungen entgegengesetztes Vorzeichen besitzen, wird durch die steigende Kondensatorspannung das Eingangssignal des Dreipunktgliedes immer geringer bis der untere Schaltpunkt erreicht ist und das Dreipunktsignal Null wird. Der elektronische Schalter S 1 öffnet und beendet damit die Kondensatoraufladung. Von diesem Zeitpunkt an wird der Integrationskondensator (3a), mit Hilfe des elektronischen Schalters S 2 über einen Widerstand (5) getastet, entladen. Durch die nach einer Exponentialfunktion abfallende Kondensatorspannung steigt das Eingangssignal des Dreipunktgliedes wieder soweit an, daß der obere Schaltpunkt erreicht wird und das Dreipunktglied erneut einschaltet. Damit beginnt wieder der Vorgang der Kondensatoraufladung, bis die Eingangsspannung des Dreipunktgliedes den unteren Schaltpunkt erreicht und das Dreipunktglied ausschaltet. Der Vorgang beginnt von neuem. Die Länge des ersten Impulses, des sogenannten Proportional-Impulses, ist proportional der Größe der Regelabweichung. Es stellt den P-Anteil der Regeleinrichtung dar. Die nachfolgenden Impulse, die Integral-Impulse, haben eine konstante Länge und Frequenz. Sie bilden den I-Anteil der Regeleinrichtung. Die Länge der Pausen zwischen den einzelnen I-Impulsen nimmt mit steigendem Betrag der Regelabweichung ab. Die Integrationszeitkonstante ist veränderbar, sie bestimmt den Proportionalbereich X_p des Reglers. X_p läßt sich mittels des Potentiometers (4) und des Bereichsschalters (4a) einstellen. Die Entladezeitkonstante ist über das Tastverhältnis t_1 des Tastgenerators (6) veränderbar und bestimmt direkt die Nachstellzeit T_n des Reglers. Die Bereichseinstellung ist mittels des Bereichsumschalters (5) vorzunehmen. Die Schalterstellung "∞" entspricht einer Strukturumschaltung als Dreipunktregler. Die Umschaltung "Hand/Automatik" erfolgt dynamisch über die Eingänge 13c/12c. Der hierzu notwendige Speicher (8) ist so ausgelegt, daß sich nach dem Einschalten der Versorgungsspannung der Handzustand einstellt, falls kein anderes Steuerungssignal vorhanden ist. Die Meldung über die angesteuerten bzw. eingenommenen Zustände des Reglers nach außen erfolgt über Relaiskontakte:

K 1	Ausgangsrelais	- Stellausgang +
K 2	Ausgangsrelais	- Stellausgang -
K 3	Melderelais	- "Hand/Automatik"
K 4	Melderelais	- "PI-Regler/Dreipunktregler"
K 5	Melderelais	- "interne/externe Parameter- verstellung"

6.4. Gerätetechnischer Aufbau einer Regeleinrichtung mit PI-Schrittregler

Zur Realisierung einer Reglereinrichtung mit PI-Schrittregler finden neben dem Baustein

RBU 01-01

(Abschnitt 6.3.)

die bereits im Abschnitt 5.7. vorgestellten Bausteine

RBQ 01 (elektromotorischer Speicher) und

RKL 01 (Leitgerät)

Verwendung.

Der wesentliche Unterschied der hier zu betrachtenden Einrichtung zu der im Abschnitt 5.7. dargestellten besteht darin, daß der RBU 01-01 ein diskretes (3wertiges) Ausgangssignal besitzt. Damit kann hier ein Stellglied mit diskreten Eingangssignalen verwendet werden, d.h., der Stellungsregler NOTREP ist überflüssig!

Der Stellantrieb der Wahl für den RBU 01-01 ist der elektronische Schubantrieb KLIMACT. Bild 42 zeigt die Anschlußbelegung des Stellantriebes.

Der mit einem Einphasenkondensatormotor mit konstanter Drehzahl ausgerüstete Antrieb ist selbsthemmend. Er wird in den Endlagen moment- bzw. lageabhängig abgeschaltet. Zur Stellungsfernanzeige ist ein Widerstandsferngeber eingebaut. Für die Signalisierung bestimmter Ventilspindelstellungen sind die Stellantriebe mit zwei lageabhängigen Signalschaltern (SO und SZ) ausgerüstet. Der Anschluß des Stellantriebes an den Regler erfolgt durch Verbindung der Klemmen 12 und 19 (Stellantrieb) mit 6 A und 9 A (Regler). Die Klemmen 5 A und 8 A sind zu brücken und mit

der Ausgangsspannung des Motors zu belegen.

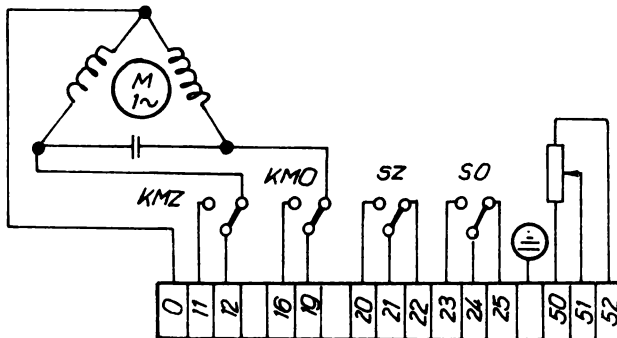


Bild 42: Anschlußbelegung des Schubantriebs KLIMACT

Der Baugliedplan des PI-Schrittreglers einschließlich Leitgerät und Stellantrieb ist im Bild 43 dargestellt.

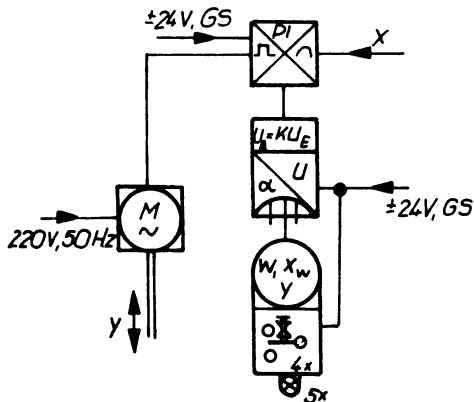
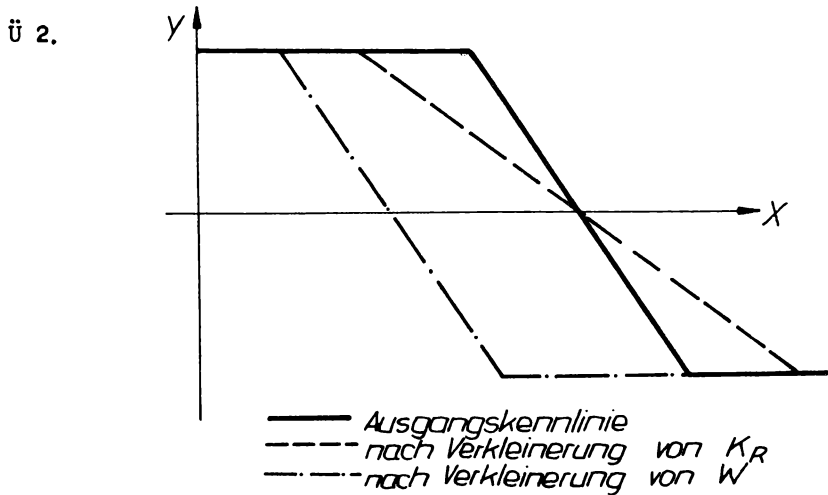


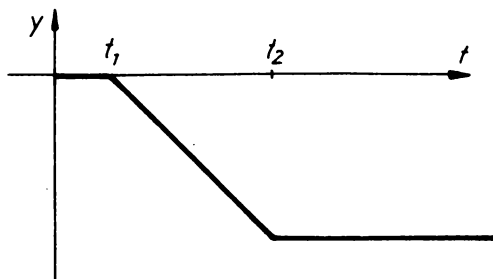
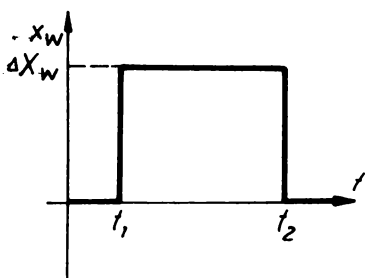
Bild 43: Baugliedplan eines PI-Schrittreglers mit Stellantrieb

Lösungen der Übungen

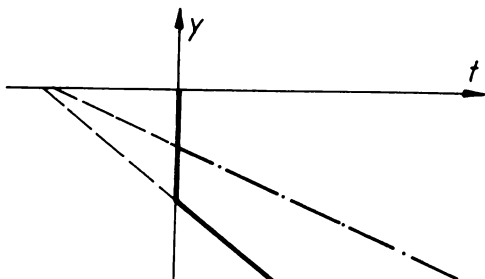
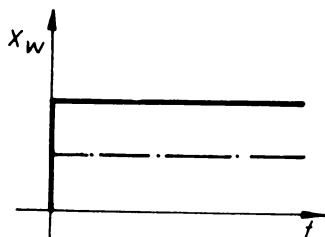
Ü 1. $K_R = \frac{Y}{X_W} = \frac{2V}{5mV} = 400$

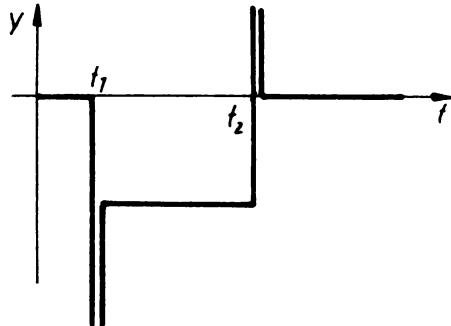
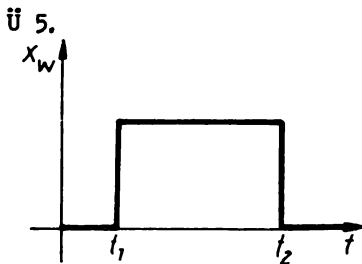


Ü 3.



Ü 4.





- Ü 6 1. Messung: Regler als PI-Regler einstellen ($T_v = 0$). Sprungförmige Änderung von x_w eingeben. Entsprechend Bild 15 K_R und T_n bestimmen.
2. Messung: Regler als PD-Regler einstellen ($T_n \rightarrow \infty$). Regelabweichung linear ansteigend ändern. Entsprechend Bild 19 T_v bestimmen. (K_R kann auch hier nochmals ermittelt werden. Ergebnis müßte mit Messung 1 übereinstimmen.)

Literaturverzeichnis

- /1/ TGL 14591 Automatische Steuerungen.
Begriffe, Kurzzeichen.
- /2/ Kirmse, P.: Beschreibungsverfahren für lineare Glieder.
Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR,
Bestell-Nr. 03 1001 011 (Lehrbriefreihe Steuer- und
Regelungstechnik).
- /3/ Kirmse, P.: Regelkreise.
Karl-Marx-Stadt: Institut für Fachschulwesen der DDR,
Bestell-Nr. 03 1001 020 (Lehrbriefreihe Steuer- und
Regelungstechnik).
- /4/ Autorenkollektiv: brockhaus abc automatisierung.
Leipzig: VEB F.A. Brockhaus Verlag 1975.
- /5/ Autorenkollektiv: Regelungstechnik für Verfahrenstechniker.
Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1973.
- /6/ Katalog-Automation-Bauteile.
Teltow: VEB Geräte- und Regler-Werke Teltow.

Funktionsbeschreibung am Beispiel der Abfrage des Eingangs 5:
 Erreicht der Adressenzähler der Zentrale die betreffende Programmspeicherzelle, so wird der darin enthaltene Befehl "UE 5" ausgelesen.
 Der Parameter "5" wird über die Adressdecoder erkannt und gibt die entsprechend codierte Funktionseinheit (Eingangs-BG, Ausgangs-BG, Merkspeicher, Zeit oder Zahlfunktion) frei. Der Operationsdecoder erkennt aus dem Bitmuster für den Buchstaben E, daß ein Eingang angesprochen ist. Der Operationsdecoder steuert über den Steuerbus den Adressdecoder, der die Adresse des Eingangs ermittelt und damit der Eingang 5 spezifiziert und kann abgefragt werden.
 Aus dem Bitmuster für den Buchstaben U erkennt der Operationsdecoder, daß das Abfrageergebnis im Sinne einer UND-Funktion mit dem Ergebnis des vorher bearbeiteten Befehls im Operationenwerk zu verknüpfen ist.
 Nun wird der Adressenzähler um +1 weitergeschaltet und die nächste Anweisung von der Zentrale bearbeitet.

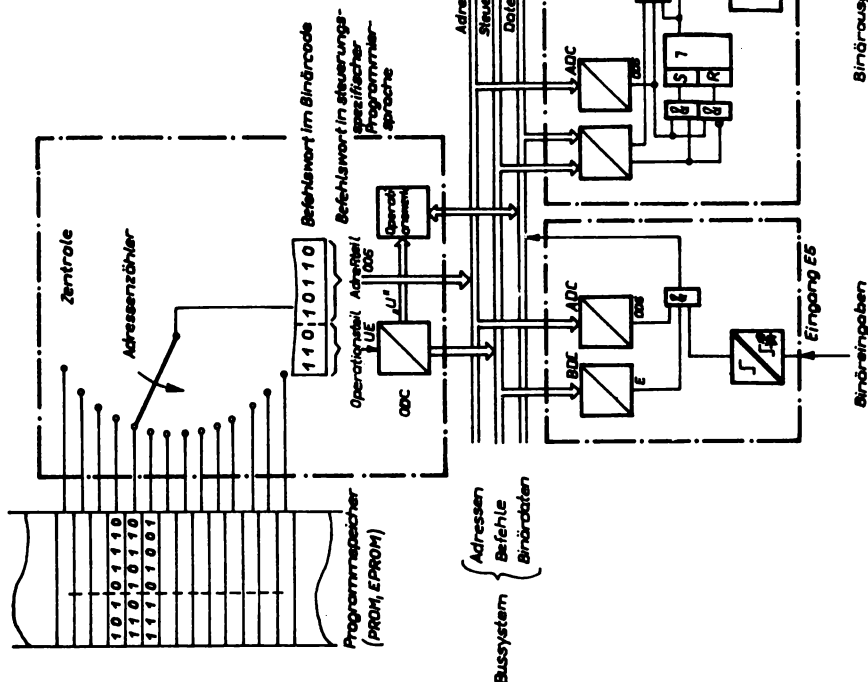


Bild 14: Aufbau und Wirkungsweise einer speicherprogrammierten Steuereinrichtung