

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 55 (1964)

Heft: 17

Artikel: Der elektronische Flexotronregler

Autor: Strohmeier, W.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-916765>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH)

Der Bericht über das Geschäftsjahr 1963 folgt in Heft Nr. 18.

Der elektronische Flexotronregler

Von W. Strohmeier, Riehen

621.55 : 628.8

Flexotron ist ein elektronisches Regelsystem, das sich für die Regelprobleme der Klima- und Lüftungstechnik sowie Industrieregelungen eignet. Der Artikel beschreibt die Konzeption des Systems, Aufbau, technische Eigenschaften und Anwendung.

Der elektronische Flexotronregler der Fr. Sauter AG, Basel, ist ein universeller Regler, der sich für alle Regelprobleme der Klima- und Lüftungstechnik, wie auch für anspruchsvolle Industrieregelungen eignet.

1. Entwicklung

Bei der Entwicklung des Flexotronsystemes wurde das Hauptgewicht auf Betriebssicherheit, Kombinationsmöglichkeit, Einfachheit der Bedienung und Wirtschaftlichkeit gelegt. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden folgende Bedingungen festgelegt.

1. Als Meßspannung muss eine stabilisierte Gleichspannung verwendet werden.
2. Der verwendete Verstärker muss einen Differentialeingang haben und das ganze Meßsystem erdfrei sein.
3. Alle Bedienelemente müssen übersichtlich angeordnet sein, zugänglich von der Frontseite des Apparates ohne Abnehmen der Frontplatte. Die Skalen für alle Einstellpotentiometer müssen geeicht sein.
4. Alle Messwertgeber müssen mit Dreileitermethode angeschlossen werden.
5. Als Temperaturmesswertgeber müssen Nickelwiderstandselemente verwendet werden. Alle andern physikalischen Größen werden mit Messwertgebern gemessen, die einen Ausgang von 0...200 Ω haben. 100-%-Bereich: 10...190 Ω .
6. Als Bauelemente dürfen nur industrielle Bauteile von hoher Betriebssicherheit verwendet werden.
7. Am Regelzusatz für Proportional-Integral-Regler müssen Nachstellzeit und Proportionalband stufenlos einstellbar sein.
8. Unterbruch oder tauschen von Messleitungen darf nicht zu Schäden am Regler führen.
9. Verstärker und Regelzusatz müssen Normaleinheiten und dadurch beliebig austauschbar sein.

Diese technischen Forderungen sind ausschlaggebend für den einfachen Einsatz und das einwandfreie Funktionieren der Geräte im Betrieb, sowie für eine einfache Lagerhaltung und Lösung des Serviceproblems.

Die Verwendung von Nickelwiderstandselementen garantiert die zeitliche Stabilität und die Austauschbarkeit der Messfühler. Die Beeinflussung des Meßsystems durch Wechselströme bei Verlegen der Mess- und Steuerleitungen in Kabelschächten wird eliminiert durch die Anwendung eines Differentialverstärkers, einer Messgleichspannung und eines erdfreien Systems. Das Anschließen der Messwertgeber mit drei Leitern ergibt für alle praktisch vorkommenden Fälle keine Beeinflussung durch den Leitungswiderstand der Anschlussdrähte. Die geeichten Skalen der Einstellwerte erlauben ein direktes Einstellen aller Werte und dadurch ergibt sich eine äußerst einfache Inbetriebnahme der Geräte.

2. Regleraufbau

Die Grundtypen sind nach ihrer Regelart unterschieden: P-I-Regler (Fig. 1), P-Regler und Zweipunkt-Regler. Die möglichen Variationen dieser Grundtypen unterscheiden sich durch

Le Flexotron est un système électronique qui permet de résoudre des problèmes de réglage d'installations de climatisation et de ventilation, ainsi que dans l'industrie. L'auteur décrit la conception du système, sa constitution, ses caractéristiques et ses applications.

ihre verschiedenen Temperaturbereiche in den Grenzen von $-60^{\circ}\text{C} \dots +180^{\circ}\text{C}$, Festwertregulierung oder Sollwertschiebung durch einen zweiten Fühler und die mögliche externe Montage des Sollwertpotentiometers. Die Gestaltung der Frontplatte gibt Aufschluss über den Aufbau der Regler.

Im oberen Teil des Reglers befindet sich die Messbrückeneinheit mit den Einstellpotentiometern für Sollwerteinstellung. Skalen geeicht in $^{\circ}\text{C}$ für Temperaturregler. Im Mittelteil des Reglers ist bei P-I-Reglern die Zeiteinheit mit entsprechenden Einstellpotentiometern montiert, bei P-Reglern das Potentiometer für die Proportionalbandeinstellung. Bei Reglern mit zwei Messfühlern für gleitende Sollwertregulierung ist das Einflusspotentiometer im Mittelteil links montiert. Diese Einstellungen sind nur mit Schraubenzieher verstellbar, da sie im Normalfall bei Inbetriebnahme einmal eingestellt werden.

Im Unterteil des Reglers ist der Messverstärker mit Sicherung und Einstellpotentiometer für neutrale Zone, bzw. Schalt-differenz. Der Anschluss des Reglers erfolgt von unten an einer 16poligen Klemmleiste.



Fig. 1
Ein P-I-Regler

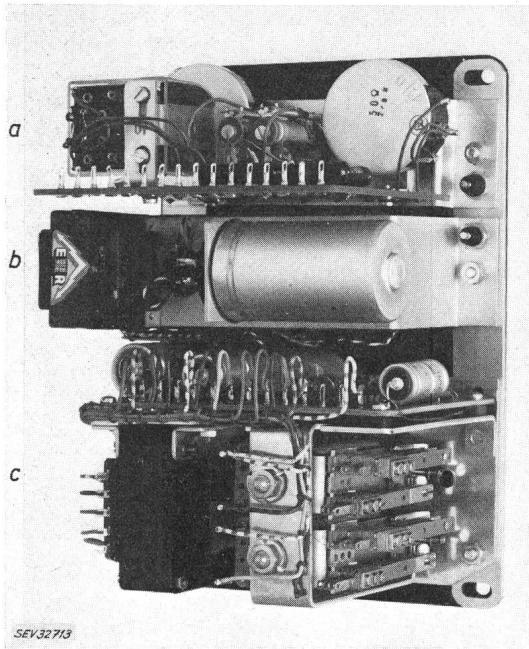


Fig. 2

Innenaufbau eines P-I-Reglers mit maximaler Bestückung
a Messbrücke; b Regelzusatz; c Verstärker

Fig. 2 zeigt den Innenaufbau des Reglers mit Ansicht von hinten. Der klare Aufbau des Reglers und der Baueinheiten führt zu einer äußerst rationellen und einfachen Montage der verschiedenen Reglertypen. Verstärker und Regelzusatz sind für alle Typen gleich. Die Anpassung an die verschiedenen Sollwertbereiche erfolgt durch Änderung der Brückenwiderstände in der Messbrücke.

3. Messbrücke

Die Messbrücke ist das variable Glied in allen Reglern. In der Messbrücke erfolgt die Anpassung des Reglers an die Messwertgeber und die Auslegung der Sollwertbereiche.

Die mathematischen Zusammenhänge für die Messbrücke in Fig. 3 lassen sich sehr leicht herleiten unter den vereinfachten Annahmen:

- Der Innenwiderstand R_i der Speisespannung ist kleiner als die Brückenimpedanz.
- Der Lastwiderstand R_L grösser als Brückenimpedanz.
- Das Potentiometer für Proportionalbereich R_p ist kleiner als das Rückführpotentiometer R_F .

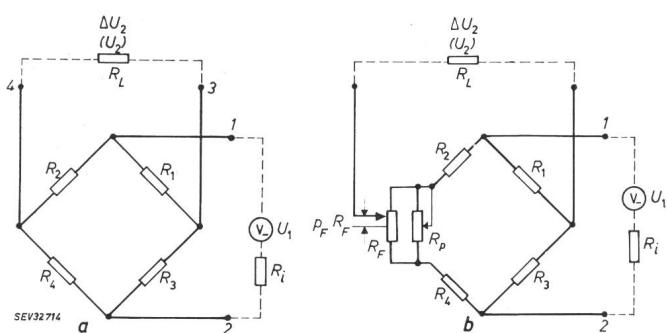


Fig. 3
Messbrückengrundtypen

- a für P-I- und Zweipunkt-Regler
 $R_1 \dots R_4$ Brückenwiderstände; U_1, U_2 Eingang - Ausgang; R_i Innenwiderstand der Quelle; R_L Lastwiderstand
b für Proportional-Regler
 R_F Rückführung; R_p Proportionalbandeinstellung

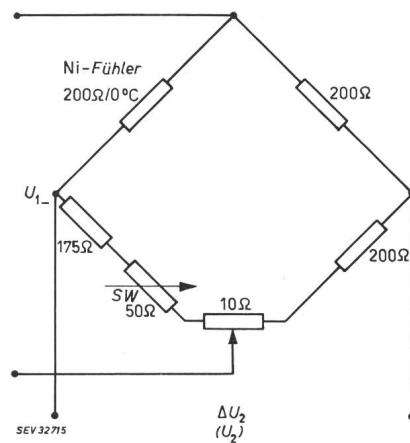


Fig. 4
Messbrücke mit 200 Ni/0 °C und Sollwertbereich —23,5...+22 °C
Fühlerwerte: —23,5 °C, 175 Ω, +22 °C, 225 Ω
Koeffizient: 1,1 Ω/°C
 U_1 Speisespannung; U_2 Ausgangsspannung

Für die Messbrücke nach Fig. 3a ergeben sich folgende Werte:

$$U_2 = \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{(R_1 + R_3)(R_2 + R_4)} U_1 \quad (1)$$

U_2 Ausgangsspannung

daraus ist die Abgleichbedingung für $U_2 = 0$:

$$R_1 R_4 = R_2 R_3 \quad (2)$$

Die Ausgangsspannung U_2 für kleine Verstimmung und symmetrische Brücke ist:

$$\left. \begin{array}{l} R_1 = R + \Delta R \\ R_2 = R_3 = R_4 = R \end{array} \right\} U_2 = \frac{\Delta R}{4R} U_1 \quad (3)$$

Die Gl. (1)...(3) geben in dieser vereinfachten Form die notwendige Information zur Berechnung einer Messbrücke.

Als Beispiel seien in Fig. 4 die Daten einer Messbrücke zur Temperaturmessung mit einem Nickelfühlerelement von 200 Ω/0 °C und einem Sollwertbereich von —22,5...+22 °C aufgeführt.

Das Potentiometer SW dient der Sollwerteinstellung, Potentiometer P dem Feinabgleich zur Kompensation von Widerstandstoleranzen.

Die Ausgangsspannung der Messbrücke für eine Verstimmung von 0,25 °C bei 12 V Speisung ergibt folgenden Wert:

$$\Delta U_2 = \frac{0,275 \cdot 12}{4 \cdot 200} = 4,1 \text{ mV}$$

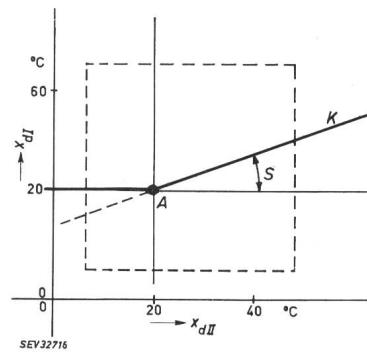


Fig. 5
Einstellmöglichkeit an Kombinationsmessbrücke für Sollwertschiebung
 x_{dI} Einstellwert I; x_{dII} Einstellwert II; A Umschaltpunkt;
K Leitgerade; S Steilheit

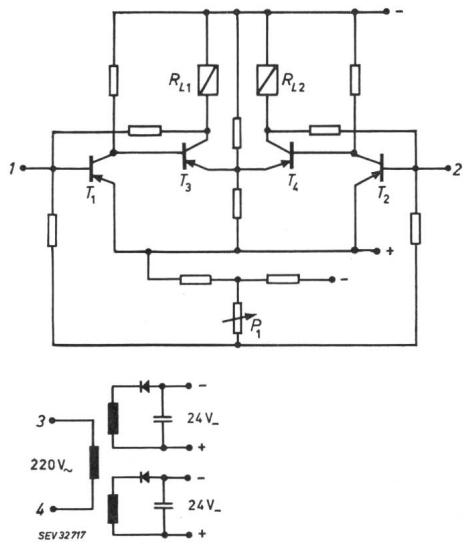


Fig. 6

Prinzipschaltbild eines Messverstärkers

1, 2 Eingang; $T_1 \dots T_4$ Transistoren; R_{L1}, R_{L2} Ausgangsrelais; P_1 Neutrale Zone, Pot. Einstellung

Für die in der Klima- und Lüftungstechnik häufig vorkommenden Probleme der Sollwertschiebung einer Regelgröße durch eine Variable, z. B. Aussentemperatur, wurde eine besondere Kombinationsmessbrücke entwickelt.

Das Diagramm in Fig. 5 zeigt die Einstellmöglichkeiten der Kombinationsmessbrücken. X_{dI} , z. B. Raumtemperatur, ist die Regelgröße deren Sollwert von X_{dII} , z. B. Aussentemperatur, geschoben wird. Der Bezugspunkt A kann im ganzen umrandeten Feld durch die zwei Sollwertpotentiometer X_{dI} und X_{dII} beliebig eingestellt werden. Für die Einstellung der Steilheit S der Leitgeraden K sorgt kontinuierlich das Steilheitspotentiometer im Bereich 10...90%. Der Einfluss des zweiten Messwertgebers kann mit einem extern angebrachten Schalter oder Thermostaten im Bezugspunkt A abgeschaltet werden. Für

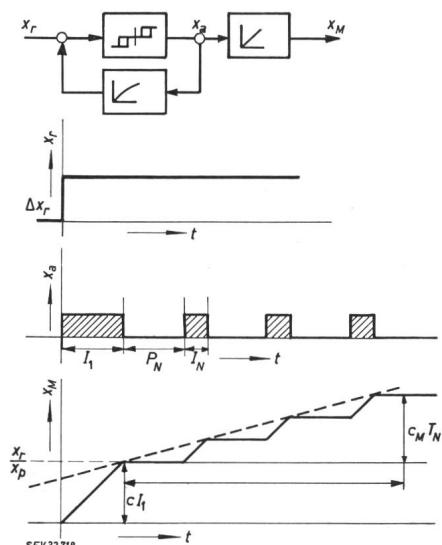


Fig. 7

Blockschatzbild und Übergangsfunktion eines Dreipunktreglers mit Rückführung und nachgeschaltetem Stellmotor

x_r Regelgröße; x_a Stellgröße des Verstärkers; x_m Stellgröße des Motors; x_p Proportionalband; I_1 Proportionalimpuls; P_N Intervallzeit; I_N Nachstellzeit; c Stellgeschwindigkeit; c_M mittlere Stellgeschwindigkeit; t Zeit

tiefere Temperaturen von X_{dII} erfolgt somit eine Festwertregelung.

Die Berechnung dieser einfachen Messbrücken, vor allem der kombinierten Messbrücken für zwei Messwerte, wird sehr umfangreich, wenn von den gemachten Vereinfachungen abgesehen wird. Der rechnerische Aufwand wurde auf einem Minimum gehalten durch Programmieren der Gleichungssysteme mittels eines elektronischen Rechengerätes. Das Berechnen der Messbrücken unter Berücksichtigung aller Toleranzen wurde dadurch auf das Eingeben von verschiedenen Zahlenwerten in den Rechner reduziert.

4. Messverstärker

Die wichtigsten Merkmale des Verstärkers sind aus Fig. 6 ersichtlich. Transistor T_1 und T_2 bilden eine Differentialverstärkerstufe zur Vorverstärkung des im mV-Bereich liegenden Eingangssignal. T_1 und T_2 sind Siliziumtransistoren, die im normalen Anwendungsbereich von 0...40°C eine sehr hohe Alterungsbeständigkeit aufweisen.

Die Rückkopplungswiderstände bewirken ein eindeutiges Schalten der zwei Relais RL_1 und RL_2 . Die Empfindlichkeit, d. h. die Neutrale Zone ist einstellbar an Potentiometer P_1 . Die zwei im Netzteil erzeugten Gleichspannungen dienen der Speisung des Verstärkers und der Messbrücke.

5. Regelzusatz für P-I-Regler

Für die Erzielung einer hohen Regelgüte ist nicht nur die Neutrale Zone des Verstärkers massgebend, sondern vor allem auch die Möglichkeit, das Zeitverhalten des Reglers in weiten Grenzen einzustellen zu können. Dadurch kann der Regler der Regelstrecke angepasst werden.

Wie der Name P-I bereits aussagt, ist diese Art Regler eine Kombination von Proportional- und Integralregler. Der P-I-Regler stellt wie der P-Regler den Wert der Stellgröße proportional der Regelabweichung ein und addiert zu diesem einen weiteren Wert, der wie beim I-Regler dem Zeitintegral der Regelabweichung entspricht.

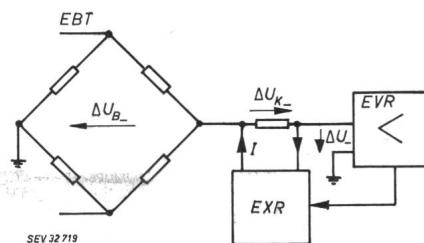
Die charakteristischen Größen des P-I-Reglers sind:

Proportionalband X_p [°C/min]
Nachstellzeit T_i [min]

Im Gegensatz zum P-Regler ist beim P-I-Regler die Stellgeschwindigkeit c mitbestimmend für das P-Band. P-Bereiche der Flexotronregler sind für Laufzeiten der Antriebe von 1 min angeschriften.

Die Nachstellzeit T_i hat folgende Definition:

$$T_i = \frac{I_1}{I_N} (P_N + I_N) \quad (4)$$

Fig. 8
Prinzipschaltung eines P-I-Reglers

EVT	Messbrücke	EXR	Regelzusatz
EVR	Verstärker		ΔU Resultierende Fehlerspannung
ΔU_B	Fehlerspannung	ΔU_K	Kompensationsspannung
	Messbrücke		

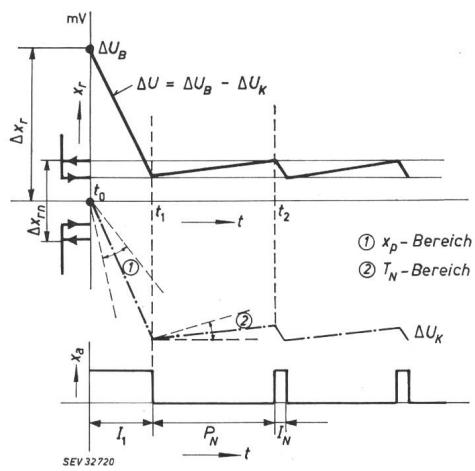


Fig. 9
P-I-Regler

Spannungs- und Zeitdiagramm zu Fig. 8
 Δx_{rn} neutrale Zone
Weitere Bezeichnungen siehe Fig. 7 und 8

T_i ist die Zeit, die verstreicht, bis die Summe aller I_N Stellimpulse gleich der Länge des Proportionalimpulses I_1 ist.
Fig. 7 gibt die verschiedenen Zusammenhänge für eine offene Regelstrecke bei einem Sollwertsprung ΔX_r .

Der erste Regelimpuls I_1 ist im linearen Teil der Rückführung proportional zu ΔX_r . Die Stellgrösse X_M hat den Wert

$$X_M = \frac{\Delta X_r}{X_P c} \quad (5)$$

wobei c für eine bestimmte Anlage einmal festgelegt wird und konstant ist. X_M ist nach der Zeit t_1 erreicht und der Integralanteil wird wirksam:

$$X_M = \frac{\Delta X_r}{X_P c} \left(1 + \frac{t}{T_i} \right) \quad (6)$$

für $t > t_1$

Gl. (6) hat Gültigkeit bei Annahme einer mittleren Stellgeschwindigkeit, d. h. Linearisierung der Impulsfolge. Sie zeigt, dass die Ausgangsgrösse des Stellmotors X_M in Grösse und Zeitverlauf durch X_P und T_i kontrolliert wird, die beide am Regelzusatz EXR kontinuierlich einstellbar sind. In Fig. 8 ist die prinzipielle Schaltung des P-I-Reglers dargestellt und Fig. 9 zeigt dessen Funktion.

Wird in Zeitpunkt t_0 (siehe Fig. 9) der Sollwert der Messbrücke um einen bestimmten Betrag verstellt, so entsteht an der Messbrücke die Fehlerspannung ΔU_B . Ist ΔU_B grösser als die Ansprechempfindlichkeit des Verstärkers ($\Delta X_{rn}/2$), so spricht der Verstärker an. Das Ausgangsrelais des Verstärkers gibt einen Stellbefehl X_n auf den Motor und zugleich ein Freigabesignal an den Regelzusatz EXR. Der Ausgang des Regelzusatzes ist eine Stromquelle, deren Strom I sich mit dem geschalteten Relais vergrössert, über dem Widerstand R im Messkreis resultiert die Spannung ΔU_K . Die Polarität von U_K ist so festgelegt, dass sie U_B entgegenwirkt und die Summe ΔU mit t kleiner wird. Im Zeitpunkt t ist die Summe kleiner als die Ansprechspannung des Verstärkers und das Relais fällt ab. Dadurch wird der Regelzusatz gesperrt, der Strom I verkleinert sich und die Spannung U_K strebt gegen null. Die resultierende Summenspannung wächst und im Zeitpunkt t_2 wenn $\Delta U = \Delta X_{rn}/2$ schaltet das Relais von neuem und der Motor erhält den Nachstellimpuls I_N .

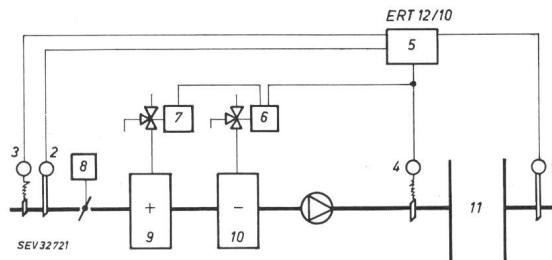


Fig. 10
Raumtemperaturregulierung mit Sollwertschiebung

1 Ablufttemperaturfühler; 2 Frischlufttemperaturfühler; 3 Sommer-Winter-Umschaltthermostat; 4 Zuluft-Minimum-Temperaturlbegrenzung; 5 Regler für gleitende Raumtemperatur; 6 Kühlventil; 7 Vorwärmerventil; 8 Frischluftklappe; 9 Vorwärmer; 10 Kühler; 11 Raum

Im aufgeschnittenen Regelkreis bleibt der aufgedrückte Regelfehler E konstant und es resultiert eine kontinuierliche Impulsfolge I_N-P_N . Die Länge des Proportionalimpulses I_1 ist proportional dem Anstieg der Spannung ΔU_K , das Intervall P_N dem Abfall von ΔU_K . Die Richtung der Kompensation erfolgt je nach der Polarität der Fehlerspannung ΔU_B .

Die Grössen I_1 und P_N werden durch Variieren der Auflade- bzw. Entladezeitkonstanten eines RC -Gliedes kontrolliert.

6. Anwendung

Der Rahmen des Artikels erlaubt es nicht, auf die Vielfalt der Anwendungsmöglichkeiten des Flexotrons einzugehen. Als Beispiel einer Anwendung zeigt Fig. 10 einen Regler in einer Raumtemperaturregulierung. Der Sollwert der Raumtemperatur wird durch den Frischlufttemperaturfühler 2 nach der Aussen temperatur geschoben. Sollwerttemperatur, Schiebungseinfluss und Anpassung an die Parameter der Regelstrecke erfolgt durch die Einstellung der entsprechenden Grössen am Regler.

In Fig. 11 sind die notwendigen Aussenverdrahtungen zum Regler ersichtlich. Handschalter, Stellorgan und Umschalter für Festwertregulierungen sind nur prinzipiell eingezeichnet und können beliebig festgelegt werden.

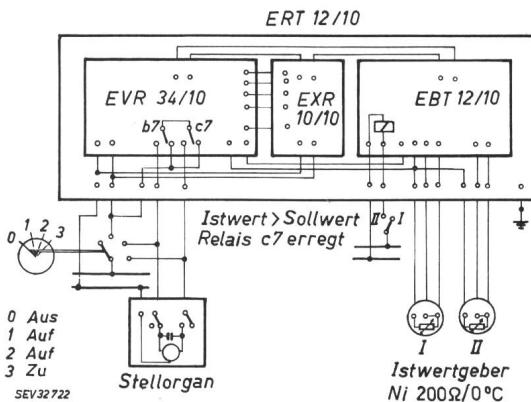


Fig. 11
Anschlussschema für Flexotronregler in Fig. 10

Literatur

- [1] Oppelt W.: Kleines Handbuch technischer Regelvorgänge 3. Auflage, Verlag Chemie, Weinheim, 1960.
- [2] Böttcher W.: Vergleich von Dreipunktreglern mit einem linearen kontinuierlichen P-I-Regler. Regelungstechnik 3(1962), S. 114...119.
- [3] Schleuning, P.: Die Wirkung des progressiven dynamischen Verhaltens von Impulsreglern. Regelungstechnik 2(1962), S. 71...77.

Adresse des Autors:

W. Strohmeier, Fr. Sauter AG, Basel.