

**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. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 16.03.2025

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

## 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 Industrieregulierungen eignet. Der Artikel beschreibt die Konzeption des Systems, Aufbau, technische Eigenschaften und Anwendung.*

*Le Flexatron 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.*

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 Industrieregulierungen eignet.

### 1. Entwicklung

Bei der Entwicklung des Flexotronsystèmes 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  $\Omega$  haben. 100-%-Bereich: 10...190  $\Omega$ .
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 Meßsystemes durch Wechselströme bei Verlegen der Mess- und Steuerleitungen in Kabelschächten wird eliminiert durch die Anwendung eines Differentialverstärkers, einer Messgleichspannung und eines erdfreien Systemes. 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

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. Schaltdifferenz. Der Anschluss des Reglers erfolgt von unten an einer 16poligen Klemmleiste.



Fig. 1  
Ein P-I-Regler

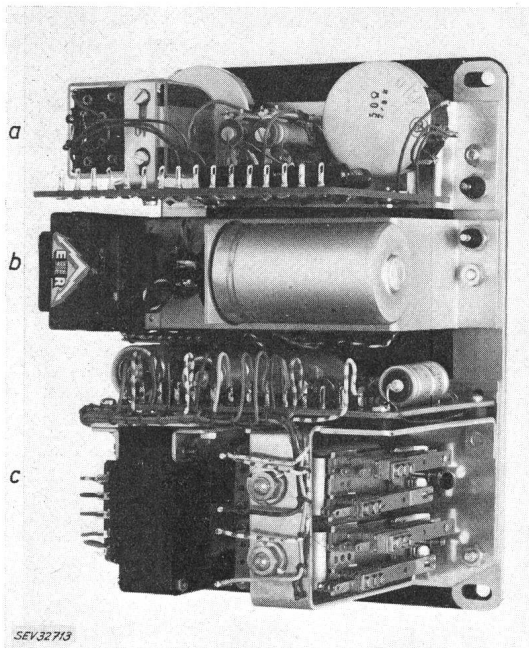


Fig. 2  
Innenaufbau eines P-I-Reglers mit maximaler Bestückung  
a Messbrücke; b Regelzusatz; c Verstärker

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 vereinfachenden 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  $R_F$ .

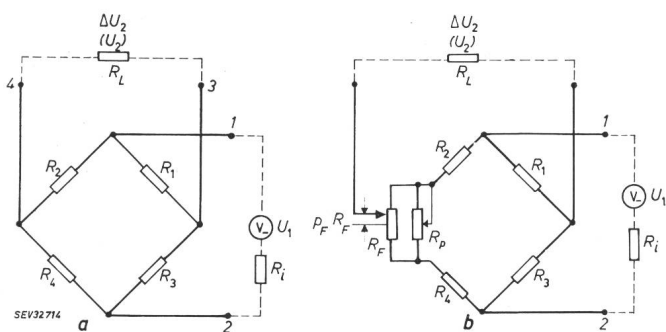


Fig. 3  
Messbrückengrundtypen

- 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

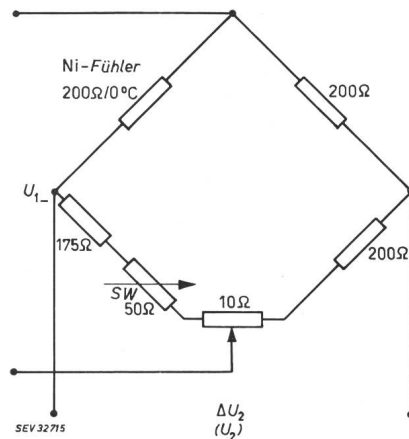


Fig. 4  
Messbrücke mit 200 Ni/0 °C und Sollwertbereich  $-23,5...+22$  °C  
Fühlerwerte:  $-23,5$  °C, 175 Ω,  $+22$  °C, 225 Ω  
Koeffizient: 1,1 Ω/°C  
 $U_1$  Speisespannung;  $U_2$  Ausgangsspannung

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:

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

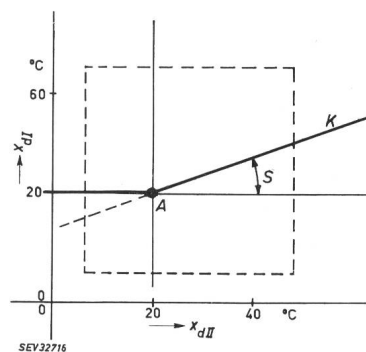


Fig. 5  
Einstellmöglichkeit an Kombinationsmessbrücke für Sollwertverschiebung  
 $x_{dI}$  Einstellwert I;  $x_{dII}$  Einstellwert II; A Umschalt-  
punkt; K Leitgerade; S Steilheit

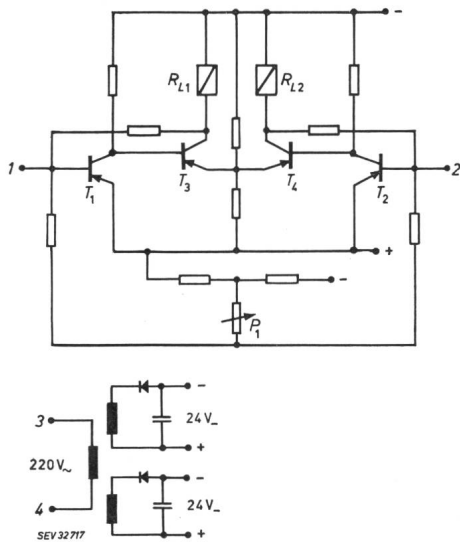


Fig. 6

**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

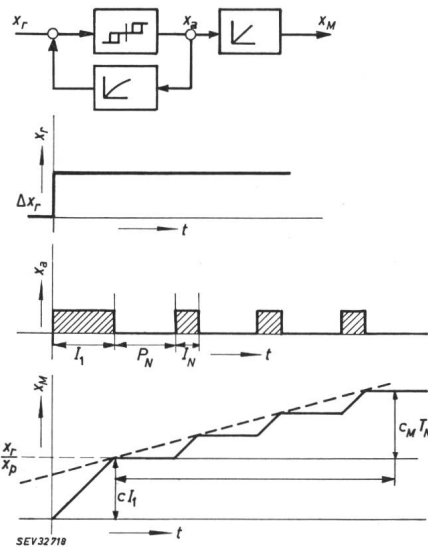


Fig. 7

**Blockschaltbild 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;  $I_N$  Nachstellimpuls;  $T_N$  Nachstellzeit;  $c$  Stellgeschwindigkeit;  $c_M$  mittlere Stellgeschwindigkeit;  $t$  Zeit

tieferen Temperaturen von  $X_{dII}$  erfolgt somit eine Festwertregulierung.

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 Rechengengerätes. 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 Siliciumtransistoren, die im normalen Anwendungsgebiet 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 einstellen 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 angeschrieben.

Die Nachstellzeit  $T_i$  hat folgende Definition:

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

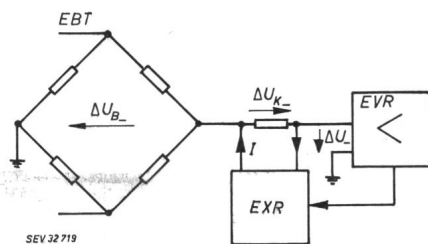


Fig. 8

**Prinzipschaltung eines P-I-Reglers**

$EBT$ Messbrücke	$EXR$ Regelzusatz
$\Delta U_B$ Verstärker	$\Delta U$ Resultierende Fehlerspannung
$\Delta U_K$ Fehlerspannung	$\Delta U_K$ Kompensationsspannung
Messbrücke	

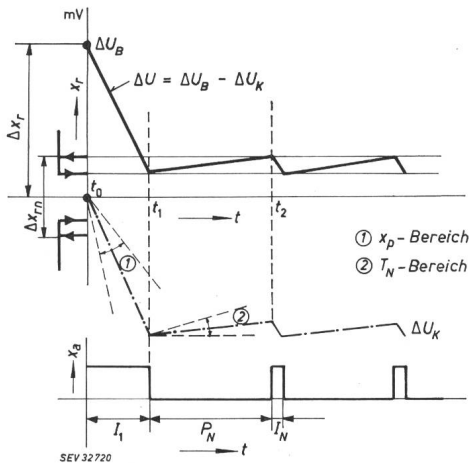


Fig. 9

**P-I-Regler**

Spannungs- und Zeitdiagramm zu Fig. 8  
 $\Delta x_{rn}$  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  $\Delta X_r$ .

Der erste Regelimpuls  $I_1$  ist im linearen Teil der Rückführung proportional zu  $\Delta X_r$ . 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  $\Delta U_B$ . Ist  $\Delta U_B$  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  $\Delta U_K$ . Die Polarität von  $U_K$  ist so festgelegt, dass sie  $U_B$  entgegenwirkt und die Summe  $\Delta U$  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  $I_N$ .

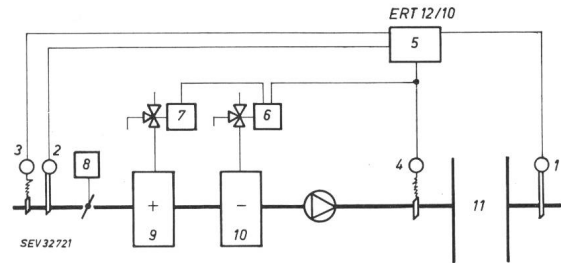


Fig. 10

**Raumtemperaturregulation mit Sollwertschiebung**

1 Ablufttemperaturfühler; 2 Frischlufttemperaturfühler; 3 Sommer-Winter-Umschaltthermostat; 4 Zuluft-Minimum-Temperaturbegrenzung; 5 Regler für gleitende Raumtemperatur; 6 Kühlventil; 7 Vorwärmventil; 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  $\Delta U_K$ , das Intervall  $P_N$  dem Abfall von  $\Delta U_K$ . Die Richtung der Kompensation erfolgt je nach der Polarität der Fehlerspannung  $\Delta U_B$ .

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 Raumtemperaturregulation. Der Sollwert der Raumtemperatur wird durch den Frischlufttemperaturfühler 2 nach der Aussentemperatur 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.

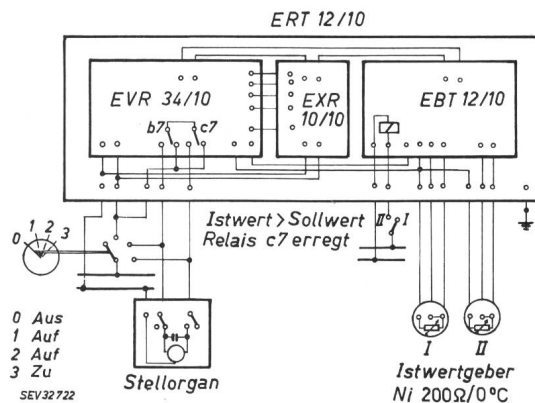


Fig. 11

**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.