

## Versuchsbeschreibung

### Anwendung des Servo-Multiplizierers im Analogrechner

Neben der Anwendung rein elektronischer Mittel für die Multiplikation über Diodennetzwerke oder entsprechende integrierte Kreise, gibt es auch elektromechanische Mittel für die Multiplikation. Eines davon ist der Servo-Multiplizierer.

Die Arbeitsweise einer Servoeinrichtung ist folgende:  
 Der Antrieb erfolgt über einen Leistungsverstärker. Der Motor kann je nach Ausgangsspannung in beide Richtungen angetrieben werden. Die Ausgangsspannung ergibt sich aus der Summierung zweier Eingangsspannungen, wobei sich eine durch die Stellung eines vom Motor angetriebenen Potentiometers ergibt. Speist man das Potentiometer mit bekannten Spannungen, in diesem Fall mit den beiden Referenzspannungen, so stellt sich das Potentiometer auf einen Wert ein, der der angelegten unbekanntem Spannung entspricht. Diese wird also mit der Referenzspannung verglichen. Man könnte daran denken, die Referenzspannung abzunehmen, um sie zu messen, und hätte damit das Prinzip eines Kompensographen. Beim Servo-Multiplizierer geht man jedoch noch einen Schritt weiter, indem der Motor den Abgriff eines weiteren Potentiometers antreibt, das man als Meßpotentiometer bezeichnen kann. Legt man nun an die Anschlüsse des Potentiometers eine weitere unbekanntem Spannung, die man ebenfalls im "Gegentakt" zuführt, so ist die Stellung des Abgriffs einmal proportional der einen Spannung, die abgenommene Spannung aber auch noch abhängig von der zweiten Spannung. Beide hängen multiplikativ zusammen.

Bild 1 zeigt die Verhältnisse mit den beiden Eingangsspannungen  $u_1$  und  $u_2$  und den Potentiometern.

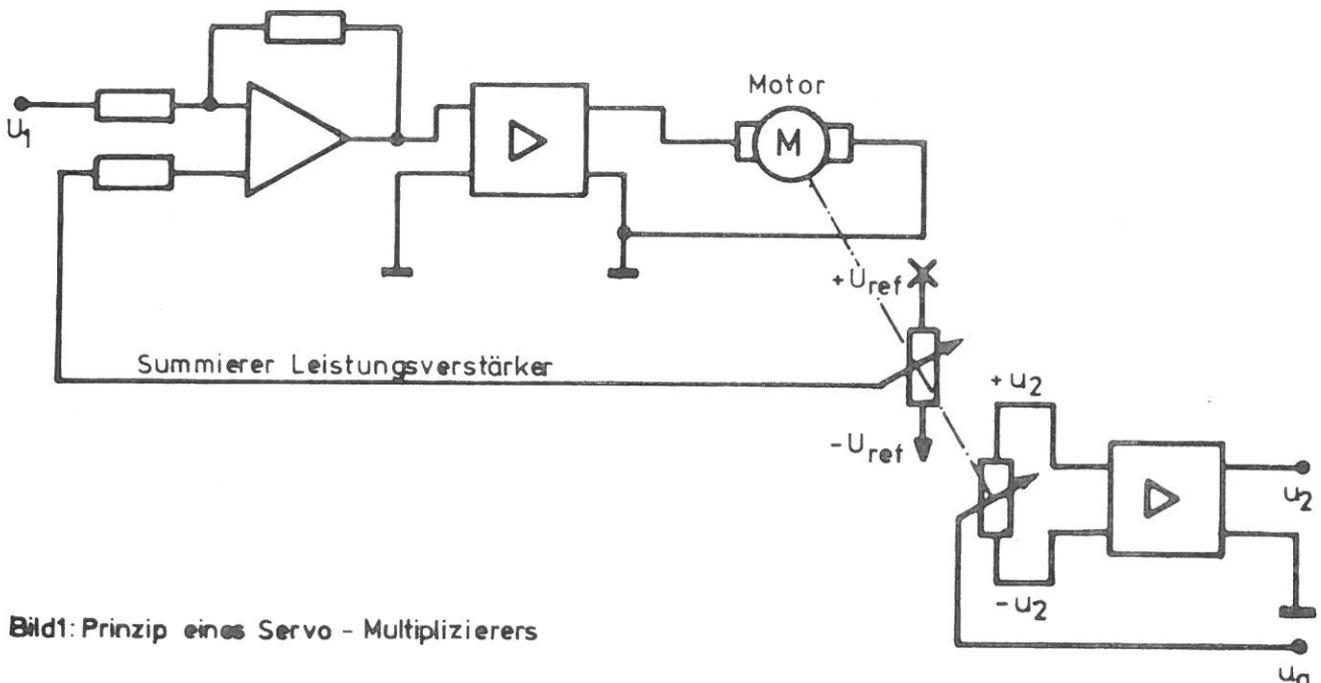


Bild1: Prinzip eines Servo - Multiplizierers

Die beiden Spannungen  $u_1$  und  $u_2$  multiplizieren sich am Ausgang auf.

Zur Richtigstellung der Dimension muß dieses Produkt durch eine Bezugsspannung von  $\bar{U} = 10 \text{ V}$  gestellt werden.

Auf der Platte 38507 sind die beiden Spannungen mit  $U_{E1}$  und  $U_{E2}$  angegeben. Die Darstellung der Differenzbildung ist fortgelassen, ebenso das entsprechende Potentiometer. Es ergibt sich die Formel für die Anwendung dieses Servo-Multiplizierers zu

$$U_a = \frac{U_{E1} \cdot U_{E2}}{10 \text{ V}}$$

Auf dem Programmierfeld sind für diesen ersten Servo-Multiplizierer SM 1 folgende Anschlüsse vorgesehen:

$U_{E1}$  ... a       $U_{E2}$  ... b       $U_A$  ... c

Die Referenzspannungen sind unmittelbar zugeführt und brauchen nicht programmiert zu werden.

Auf der gleichen Platte ist noch ein weiterer Servo-Multiplizierer SM 2 vorgesehen, der genau gleich aufgebaut ist, wie der beschriebene. Auf der vom Motor angetriebenen Achse befindet sich jedoch noch ein Sinus-Cosinus-Potentiometer. Dieses wird von der Referenzspannung gespeist. Man kann also an den beiden Abgriffen den Sinus- und Cosinus - Wert der Referenzspannung entsprechend dem eingestellten Winkel aus der Multiplikation abnehmen.

Zwischen der Referenzspannung und den Winkeln besteht dann ein fester Zusammenhang, der sich in nachstehender Tabelle 1 für einige Werte widerspiegelt:

Tabelle 1

Zusammenhang zwischen Referenzspannung und Winkeln

$U_{ref}$	-10	-5	0	+5	+10	Volt
$\alpha$	$0^\circ$	$90^\circ$	$180^\circ$	$270^\circ$	$360^\circ$	-

An den Ausgängen d und e können die Sinus- bzw. Cosinuswerte der Winkel abgenommen werden. Dem Wert 1 entspricht die Referenzspannung von 10 V (Maschinenspannung).

Da der Wert der Funktion von der Winkelstellung des Motorantriebes abhängt, besteht zwischen der Spannung  $U_{E1}$  und dem Winkel folgende Beziehung:

$$U_{E1} = \alpha \cdot \frac{20 \text{ V}}{360^\circ} - 10 \text{ V}$$

Mit dem Servo-Multiplizierer können auch Divisionen durchgeführt werden, wie die hier als Beispiel gewählte Aufgabenstellung und deren Lösung zeigen werden.

## 1. Aufgabe

Man entwerfe eine Rechenschaltung für die Durchführung einer Division:

$$u_a = \frac{u_1}{u_2} \cdot \bar{U} \quad (1)$$

worin  $\bar{U}$  = Bezugsspannung = 10 V

Man löse diese Aufgabe über die Rückführung eines Servomultiplizierers.

## 2. Meßschaltung

Die Meßschaltung läßt sich leichter entwerfen, wenn man die oben angegebene Gleichung so umwandelt, daß eine Multiplikation entsteht:

$$\bar{U} \cdot u_1 = u_2 \cdot u_a \quad (2)$$

Hierfür läßt sich die Blockschaltung leicht realisieren: Sie ist in Bild 2 dargestellt.

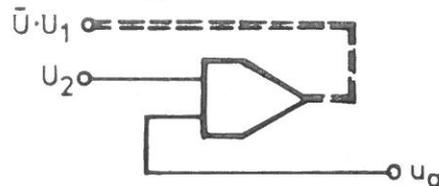


Bild 2  
Blockschaltung für Gleichung 2

Da man am Eingang eines Multiplizierers keine Ausgangsspannung abnehmen kann, benötigt man noch einen Addierer, um die erforderliche Rückführung vornehmen zu können. Es ergibt sich dann das endgültige Schaltbild nach Bild 3, in welches noch Potentiometer zur Einstellung beliebiger Werte eingefügt wurden.

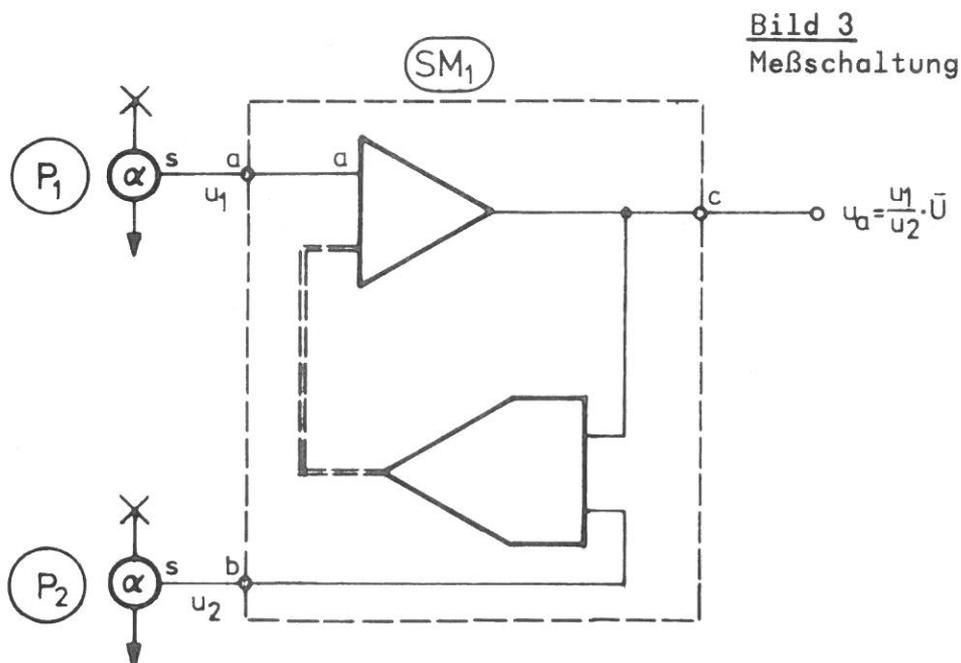


Bild 3  
Meßschaltung

### 3. Geräte

1 Stromversorgung	Typ 36013
1 Potentiometer	Typ 38501
1 Summierer I	Typ 38502
1 Programmierfeld	Typ 38506
1 Servo-Multiplizierer	Typ 38507
1 Meßinstrument	Typ 38508
1 Bedienung und Steuerung	Typ 38509

### 4. Versuchsdurchführung

#### 4.1 Schaltungsbeschreibung

Die beiden Spannungen, entsprechend der Größen  $U_1$  und  $U_2$ , werden mit Hilfe zweier Potentiometer der Einfachheit halber aus den Referenzspannungen gewonnen und sind so zu jedem beliebigen Wert wählbar.

Die eine Spannung wird dem Summierer S 1 zugeführt, die andere an den Eingang a des Servo-Multiplizierers. Der Ausgang des Summierers ist gleichzeitig mit dem Eingang b des Servo-Multiplizierers zu verbinden und dient als Abnahme für die Ausgabe des Quotienten  $u_a$ .

- 4.2 Man stelle nacheinander die in nachstehender Tabelle 1 angegebenen Werte für  $U_1$  und  $U_2$  (Gleichspannungen) ein, und messe die sich an den Verbindungspunkten der Schaltung ergebenden Spannungen. Man berücksichtige, daß die sich am Ausgang des Servo-Multiplizierers ergebende Spannung als durch 10 V dividiert betrachtet werden muß.

Tabelle 1

$U_1$	+10	+5	0	-5	-10	+10	+5	0	-5	-10
$U_2$	+10	+10	+10	+10	+10	-10	-10	-10	-10	-10
$U_a$										

Alle Spannungen in Volt

- 4.3 Man ändere die Schaltung so um, daß sich eine Radizierung ermöglichen läßt, wobei  $u_1 = u_2 = u_3$  zu setzen ist.

Man zeichne die so gefundene Schaltung auf.

- 4.4 Man mache wiederum eine Messung und stelle die gefundenen Werte in nachstehender Tabelle 2 zusammen.

Tabelle 2

$u_e$	+10	+9	+6	+5	+2,5	$\pm 0$
$u_a$						

Alle Spannungen in Volt

Versuchsanleitung

Aufbau und Wirkungsweise eines PID-Reglers

Allgemeines

Für die Ausgabe der Rechenergebnisse ist an sich ein X-Y-Schreiber vorgesehen, der auf der Platte 38509 angeschlossen werden kann. Er benötigt keine Zeitbasis, da diese durch den Integrierer 4 bereits im Rechner vorhanden ist. Die Ablaufzeit der Rechnung läßt sich auf der Platte 38503 in 4 Grobstufen (5, 10, 20, 40 sec.) einstellen und geringfügig fein verändern.

Soll statt des X-Y-Schreibers ein Oszillograf angeschlossen werden, so ist dies nur sinnvoll, wenn der Rechenvorgang genügend oft wiederholt werden kann, daß sich ein stehendes Bild auf dem Schirm ergibt. Für dieses automatisch sich wiederholende Rechnen ist die Betriebsart "Automatisch" vorgesehen. In dieser Betriebsart schaltet ein freilaufender astabiler Multivibrator dauernd zwischen den zwei Betriebsarten "Einstellen" und "Rechnen" um. Während der Rücklaufzeit des Strahles steht der Rechner auf "Einstellen" der Anfangswerte, während der Hinlaufzeit auf "Rechnen". Der Oszillograf läßt sich an Stelle des Schreibers auf der Platte 38509 anschließen. Um den Rücklauf nicht auf dem Schirm zu sehen, ist eine Rücklaufverdunkelung bzw. eine Hinlauferhellung vorgesehen, die ebenfalls auf der Platte 38509 gesteckt werden kann. Dazu muß der Oszillograf jedoch einen Eingang für externe Helligkeitsmodulation besitzen. Beim PEK Typ 2002 befindet sich dieser Eingang auf der Rückseite des Gerätes. Für diese Betriebsart muß der Zeitbasis-Geber auf 0,1 gestellt werden. Die Wiederholfrequenz beträgt somit 10 Hz.

1. Aufgabe

PID-Regler an einer Regelstrecke 2. Ordnung.

Es soll eine Regelung untersucht werden, deren Strecke folgender Gleichung unterliegt:

$$x''(t) + 0,3 x'(t) + 0,8 x(t) = y(t)$$

Die Lösung für x ist eine gedämpfte Schwingung. Zum Anstossen der schwingungsfähigen Regelstrecke dient der Z-Sprung. Die Aufgabe soll Stück für Stück aufgebaut werden, beginnend bei der reinen Regelstrecke, weitergehend über einen einfachen P-Regler mit einstellbarer Verstärkung über PI- und PD-Regler bis schließlich zum PID-Regler.

## 2. Geräte

Für diese Aufgabe ist der vollständig aufgebaute Analogrechner mit allen Platten Typ 38501 bis 38509, sowie Netzplatte Typ 36013/A3 einzusetzen.

Für die Darstellung der Funktionen ist ein X-Y-Schreiber zu verwenden. Für schnellere Vorgänge wird ein Elektronenstrahl-Oszilloscop eingesetzt. Hierfür eignet sich besonders PEK-Typ 2002. Passend zu dem Analogrechner kann das Gerät "Analog-Digital-Display) Typ 35970 angeboten werden, welches ebenfalls im Format DIN A 3 (hier 2x A3) aufgebaut ist.

## 3. Schaltungsbeschreibung

Bild 1 zeigt die Prinzip-Schaltung der Aufgabe. Darin stellen die beiden Integrierer I und II die Regelstrecke dar. In diese wird auch die Störgröße  $Z$  eingegeben. Die resultierende Größe (Lösung) wird auf den Y-Verstärker des Schreibers bzw. Oszilloscopes gegeben. Mit  $w$  kann eine Führungsgröße vorgegeben werden, die in Verbindung mit der Größe  $x$  über den Regler auf die Regelstrecke einwirkt.

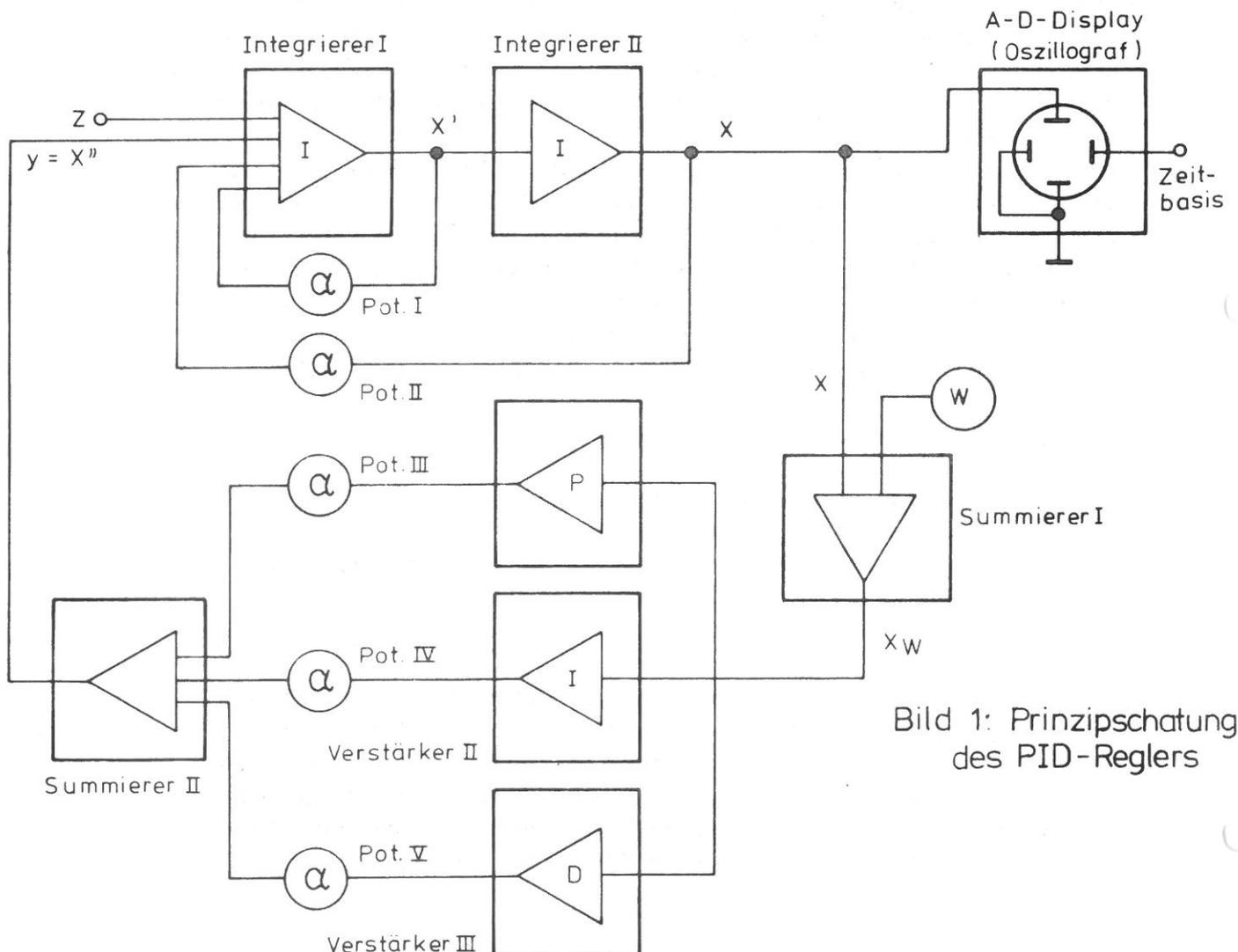


Bild 1: Prinzipschaltung des PID-Reglers

Die Schaltung besteht ferner aus einem Summierer I, der die Größe  $x$  mit der Führungsgröße  $w$  summiert. Es folgen in einer Parallelschaltung drei "Verstärker", die man als Proportional-Verstärker, Differenzierglied und Integrator schaltet. Sie werden am Ausgang in einem Summierer II wieder zusammengeführt. Die Werte können in den Potentiometern P 1 bis P 5 geteilt werden.

Im folgenden werden nun die einzelnen Aufgaben angegeben.

## 4. Versuchsdurchführung

### 4.1 Aufbau einer Regelstrecke

In Bild 2 ist der Aufbau der Regelstrecke gezeigt. Durch Verändern der Dämpfungsbeiwerte  $P_4$  und  $P_5$  läßt sich die Schwingung beeinflussen, ebenso läßt sich die Schwing-Amplitude mit  $P_6$  einstellen.

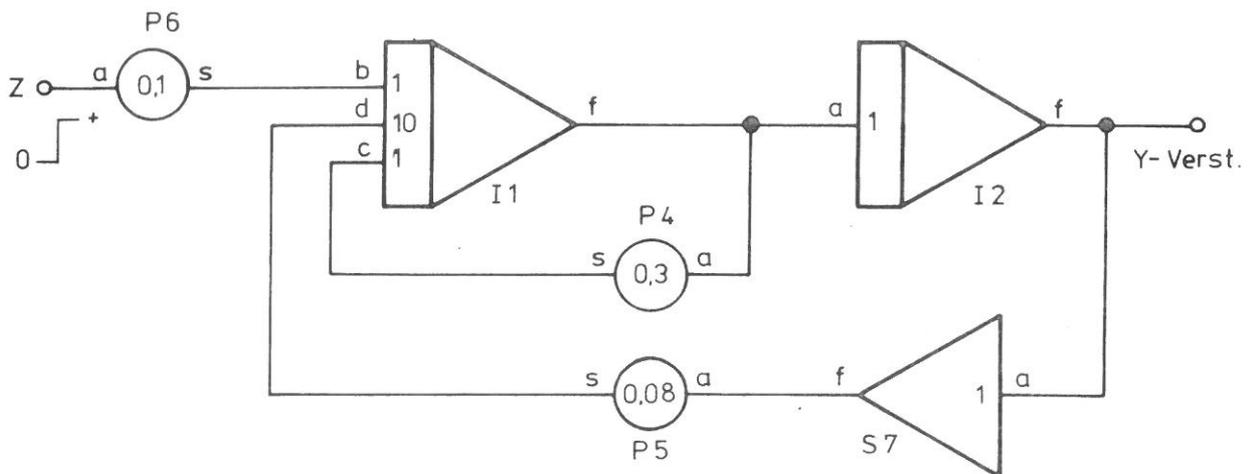


Bild 2: Schaltung für abklingende Schwingung mit einstellbarer Dämpfung.

Die Verbindungen werden auf dem Programmierfeld hergestellt. Die Kurven der gedämpften Schwingungen sollen mit dem Oszilloskop oder X-Y-Schreiber aufgenommen werden.

## 4.2 Regelstrecke mit Proportional-Regelung

In Bild 3 ist an die bereits aufgebaute Regelstrecke, die durch sämtliche weiteren Aufgaben immer gleich bleibt, der proportionale Regelzweig angeschlossen. Die Führungsgröße  $w$  wird am Anfang mit 0 eingestellt. Bei der Messung sollte sie dann zweckmäßig zu 0,15 gewählt werden. Für den Rechenverstärker  $S_{12}$  ist ein Typ gewählt worden, dessen Rückführung von außen gesteckt werden muß. Es ist deshalb der Widerstand ( $220\text{ k}\Omega$ ) getrennt im Schaltbild eingezeichnet. Mit diesem Widerstand ergibt sich der eingezeichnete Verstärkungsfaktor 10. Mit P 8 läßt sich der Koeffizient des P-Reglers einstellen. Im Bereich zwischen 0,3 und 0,7 ergibt sich eine deutliche Änderung des Regelverhaltens.

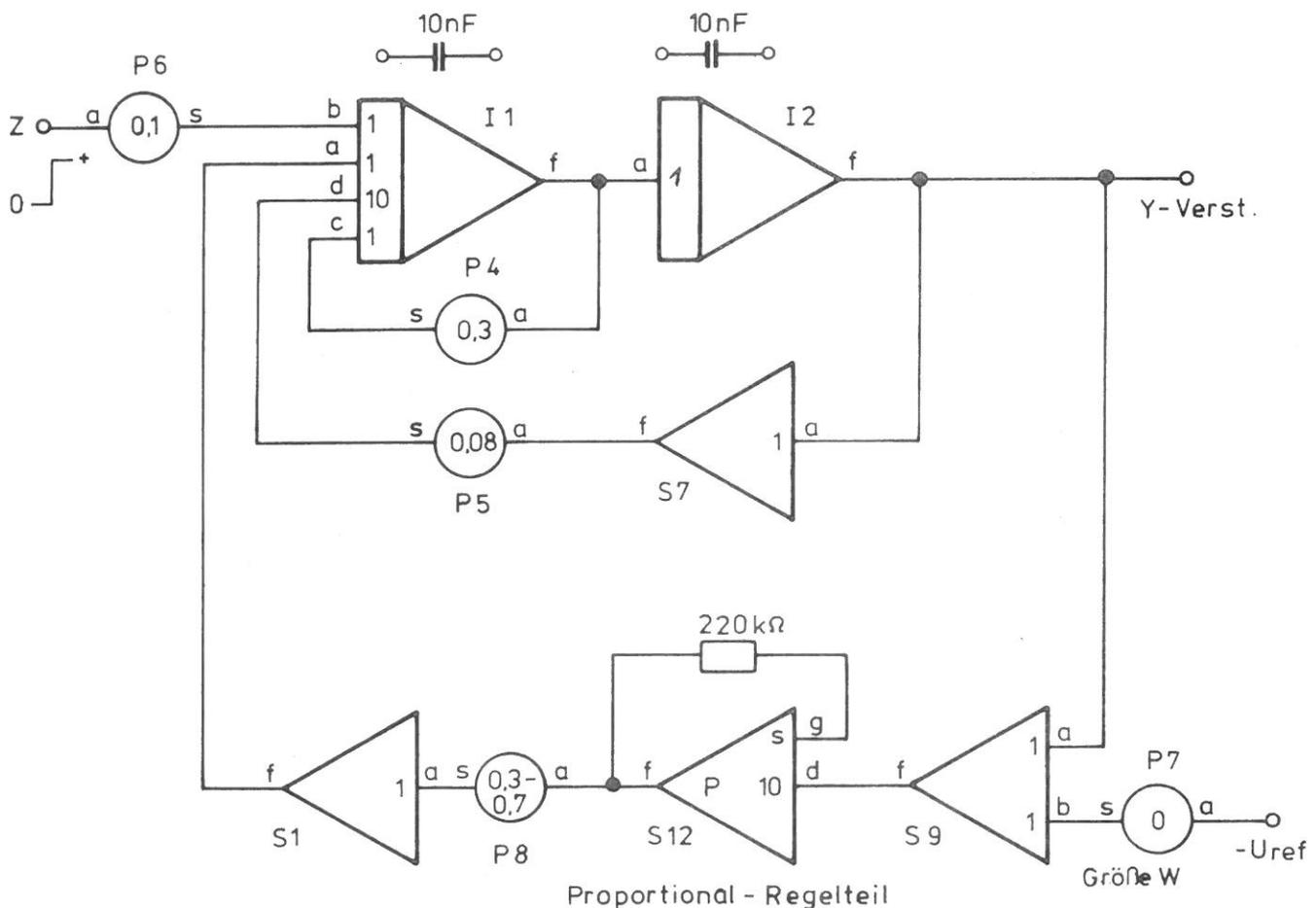


Bild 3: P-Regler an Strecke 2.Ordnung



#### 4.4. Regelstrecke mit PI-Regelung

In Bild 5 ist statt des D-Anteiles ein I-Anteil angeschlossen. Die Folge davon ist, daß die bleibende Regelabweichung des reinen P-Reglers fast zu 0 wird, der Endzustand jedoch nur durch häufiges Schwingen erreicht wird.

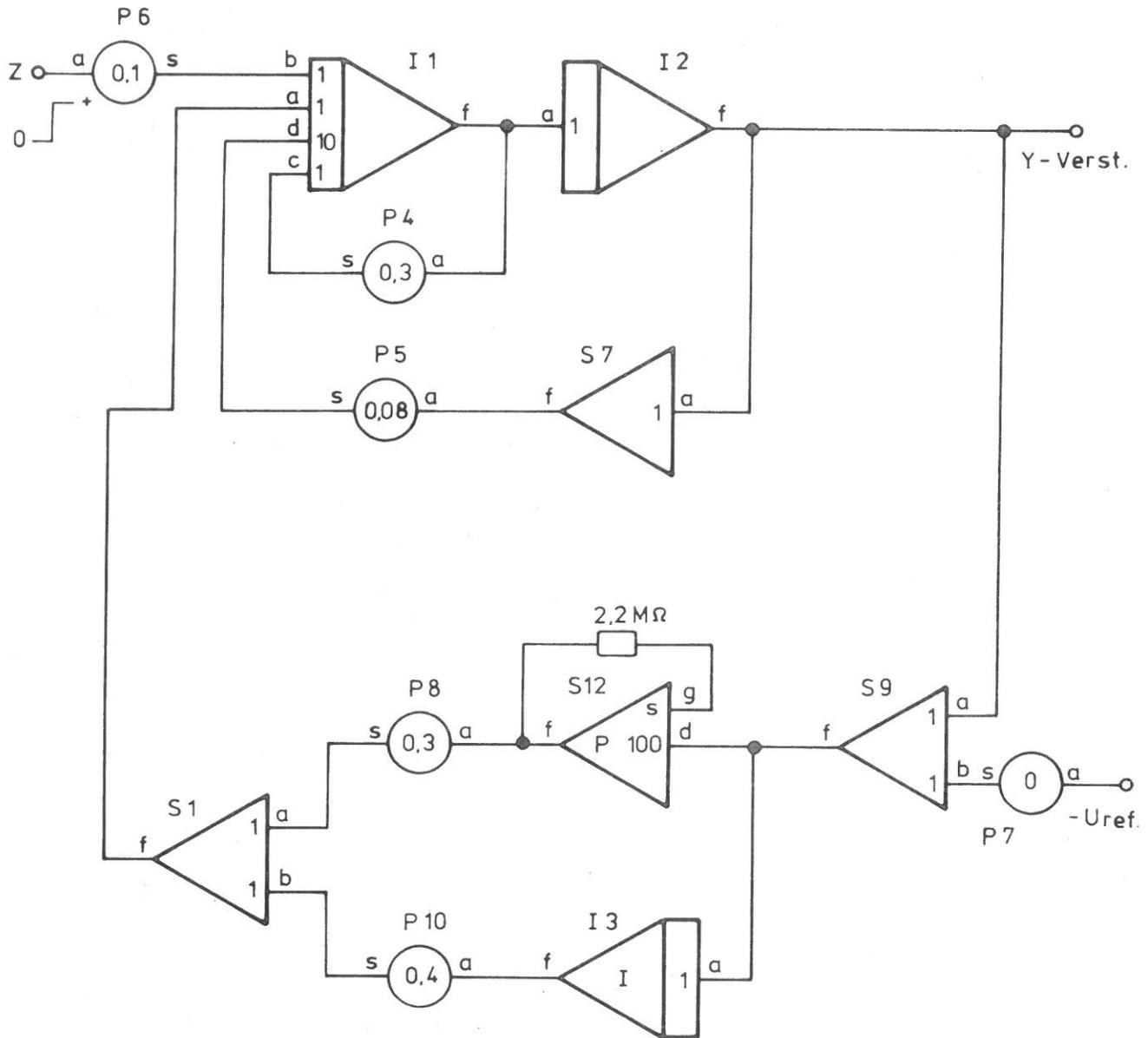


Bild 5: PI Regler an Strecke 2. Ordnung

## 4.5 Regelstrecke mit PID-Regelung

In Bild 6 ist die optimale Lösung des Problems dargestellt mit allen drei Komponenten P, I und D. In der gezeigten Anordnung ist die Ausregelung der Störung in kurzer Zeit bis auf ein geringes Restmaß möglich.

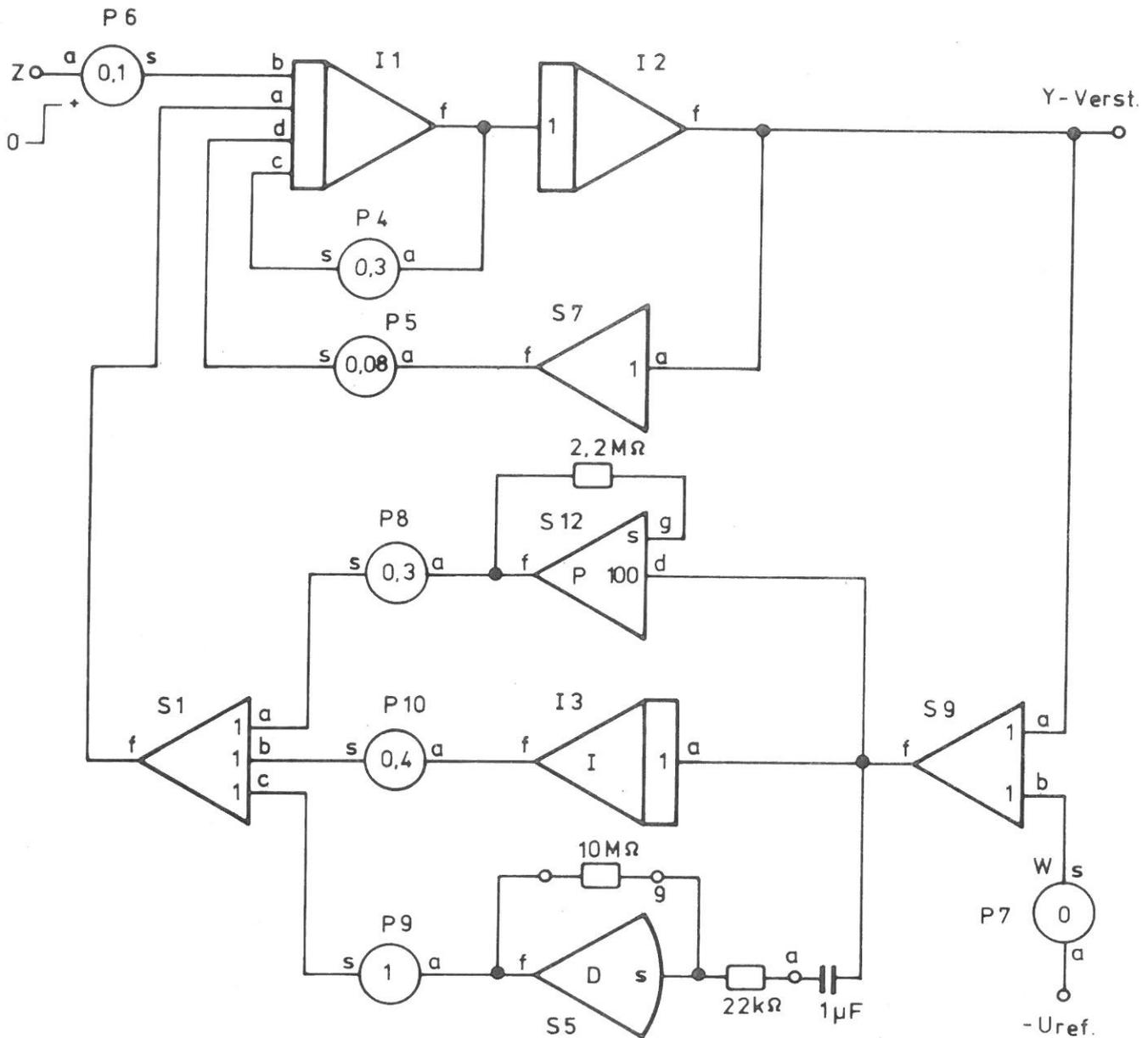


Bild 6: PID-Regler an Strecke 2. Ordnung

#### 4.6 Darstellung der Funktionen.

Die mit dem X-Y-Schreiber aufgenommenen Funktionen sind nunmehr auf ein Millimeterblatt einzutragen. Es sind jeweils die Extremwerte aufzuzeichnen.

#### 4.7 Schaltung für eine aufklingende Schwingung

Mit einer kleinen Änderung läßt sich eine Variante des Aufbaues darstellen. Durch Invertieren der Rückführung von I1 wird aus der Schaltung für eine abklingende Schwingung eine solche für eine aufklingende Schwingung. Die Störung muß für diesen Fall sehr viel kleiner gemacht werden, damit die Schaltung nicht zu schnell übersteuert wird.

Die Schaltung, die nunmehr zu programmieren ist, zeigt Bild 7

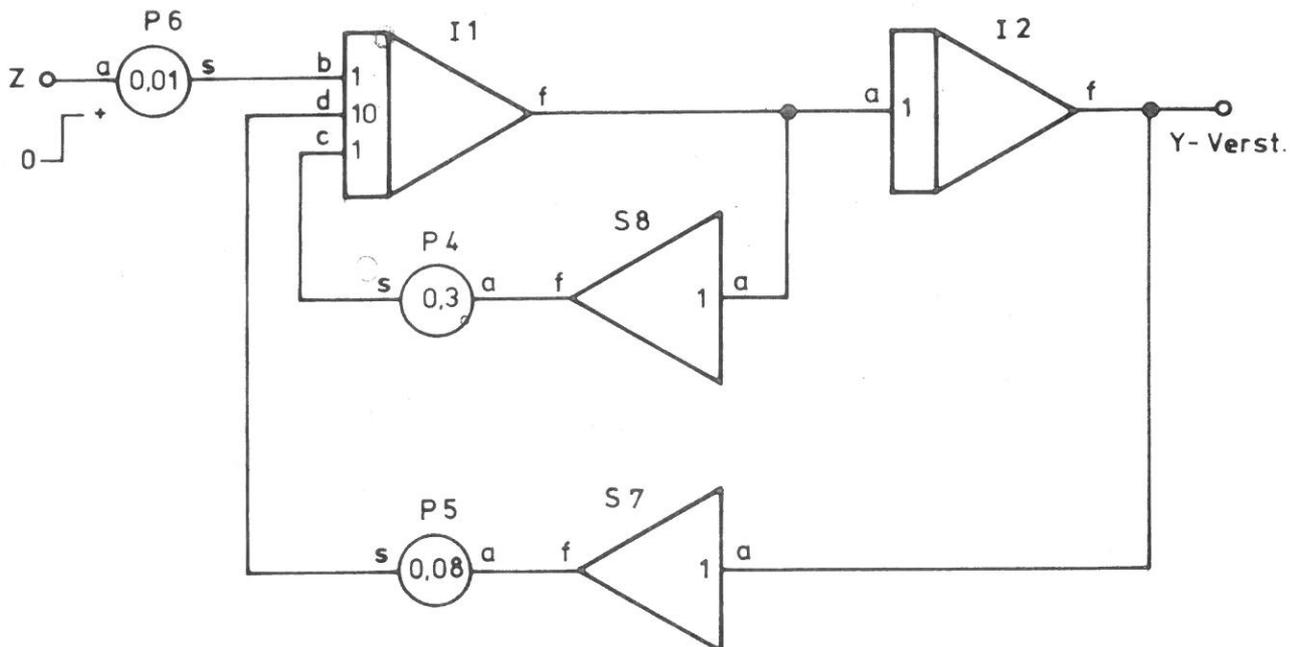


Bild 7: Schaltung für aufklingende Schwingung mit einstellbarer negativer Dämpfung.

#### 4.8 Darstellung der Funktion

Die mit dem X-Y-Schreiber aufgenommene Funktion ist auf Millimeterpapier DIN A 4 aufzuzeichnen.