Regelungsschaltungen

1) Mechanisches Beispiel:
Roboter-Greifarm mit Fernsteuerung

Übertragungskennlinie:

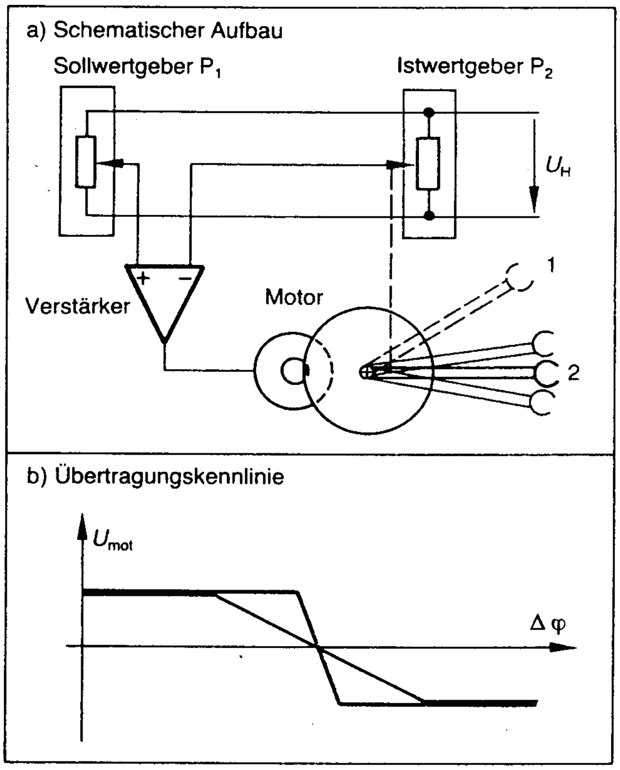


Bild 10-4. Greifarm mit Antrieb.

Problem:

System kann auf Grund **interner Trägheit** über das “Ziel” hinausschießen und damit die Regelung umkehren. Abhängig von der **internen Dämpfung** kann diese Schwingung bestehen bleiben oder gedämpft mehr oder weniger schnell abklingen.

Regelung ist der Gegenkopplung sehr ähnlich.

Vergleiche Ausgangsgröße mit einer Steuergröße und bringe Differenz auf kleinstmöglichen Wert.

Korrektur durch den Regelkreis muß der **Abweichung entgegenwirken**.

Elemente im Regelkreis enthalten normalerweise **Energiespeicher,** deren geregelte Ausgangsgrößen der Steuergröße **nicht trägheitslos** folgen.

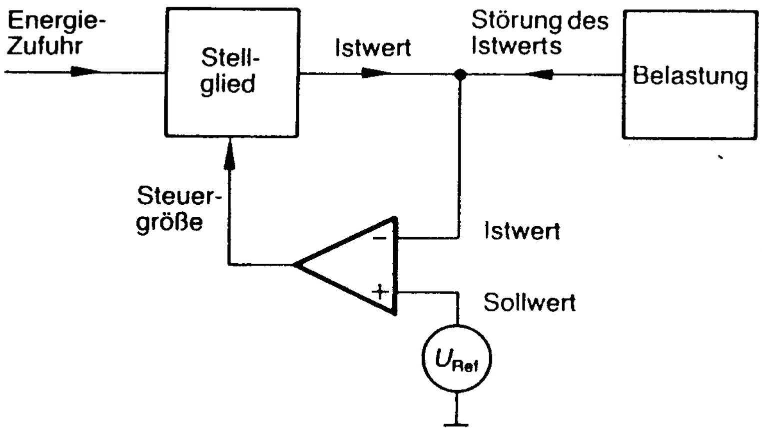


Bild 10-3. Einfacher Regelkreis.

➔ Korrektur kann mit **richtiger Größe** zur **falschen Zeit** oder mit **falschen Vorzeichen** zur **richtigen Zeit** erfolgen.

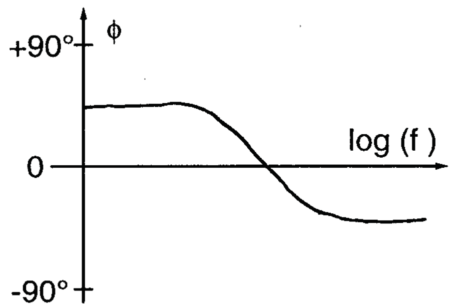
➔ Abweichung wird nicht verkleinert, sondern vergrößert!

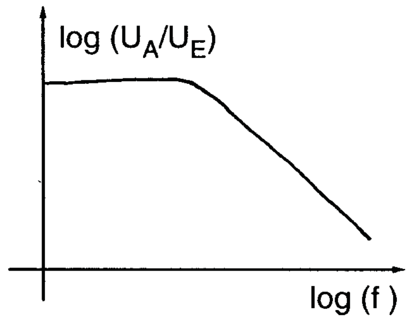
➔ Regelung **schwingt** !

➔ Stabiler Regelkreis kann dadurch erreicht werden, dass man das zeitliche Verhalten **aller Größen** im Kreis mathematisch (mit Differentialgleichungen) beschreibt und dann die einzelnen Glieder des Regelkreises danach bestimmt.

➔ ➔ ➔ ➔ ➔ **Sehr aufwendiges Verfahren**

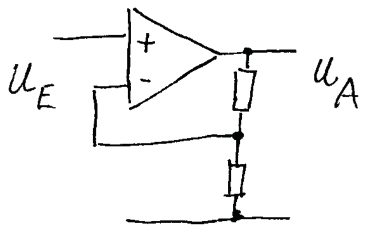
Statt dessen: Analyse der Regelung mit “Bode-Diagramm”;
Aufteilung des Regelkreises in **funktionale Blöcke**.

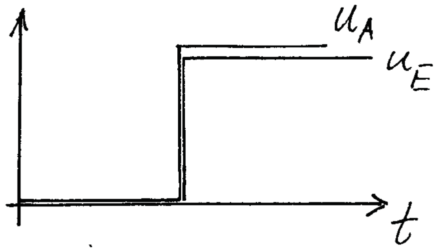




Einfache Beispiele für funktionale Blöcke im Regelkreis:

1) **Proportionalglied**



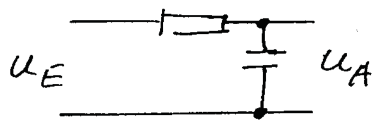


"Sprungantwort"

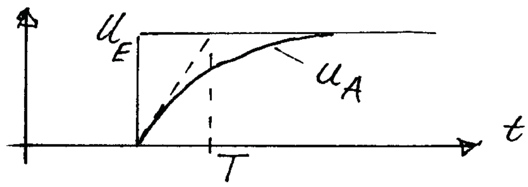
Übertragungsfunktion:

$$F(\omega) = \frac{U_A(\omega)}{U_E(\omega)} = K \qquad \text{"Phase"} = 0$$

2) **Verzögerungsglied 1. Ordnung**

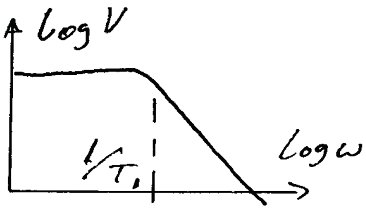


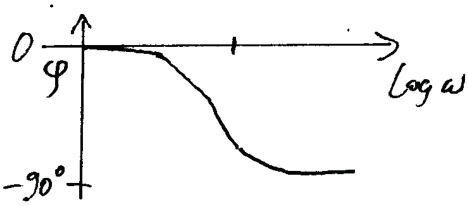
$$T_1 \cdot \frac{d\,U_A(t)}{dt} + U_A(t) = K \cdot U_E(t)$$



Übertragungsfunktion:

$$F(\omega) = \frac{K}{1 + j\omega RC}$$





Kombination aus funktionalen Blöcken ergeben Kombinationen aus Bode-Diagrammen !

Stabilitätsbetrachtung:

Die **Korrekturgröße** muss der Abweichung stets **entgegenwirken**! "Verzögerungs-glieder" im Regelkreis können unter Umständen dazu führen, dass das Korrektursignal fälschlicherweise **falsche Polarität** aufweist und damit die Regelung in die falsche Richtungläuft.

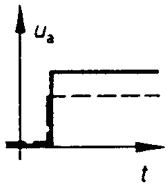
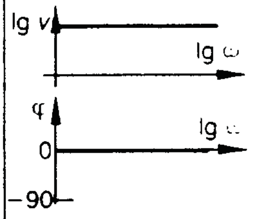
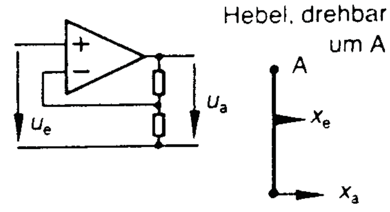
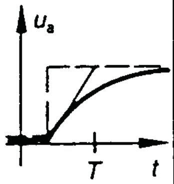
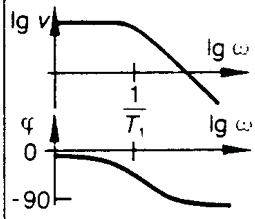
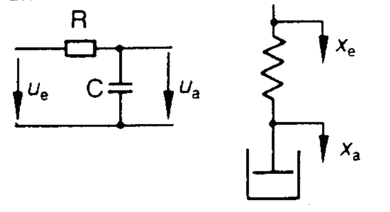
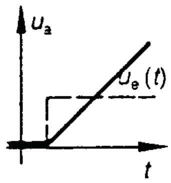
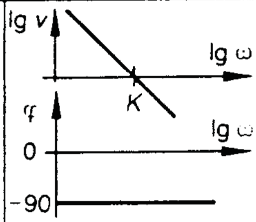
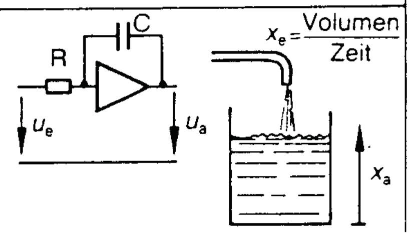
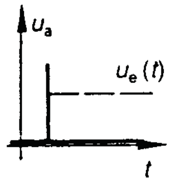
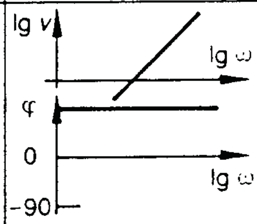
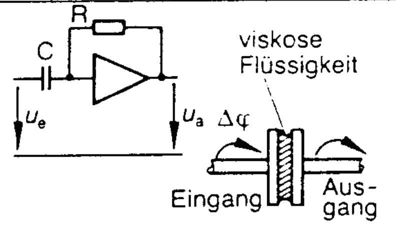
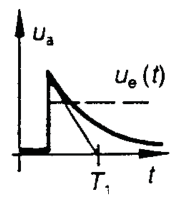
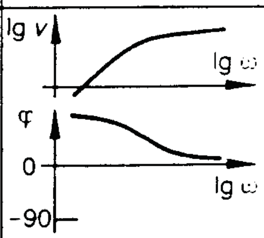
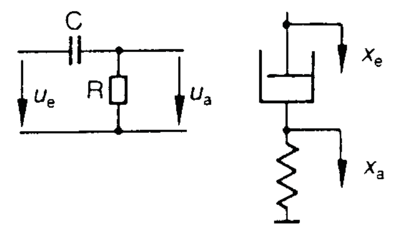
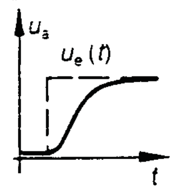
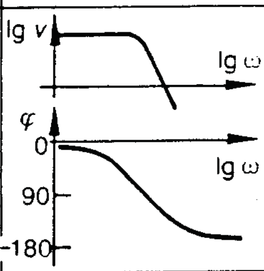
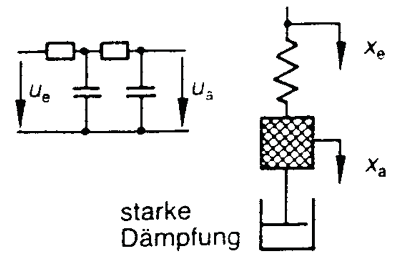
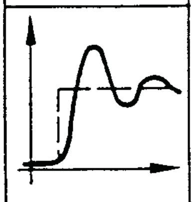
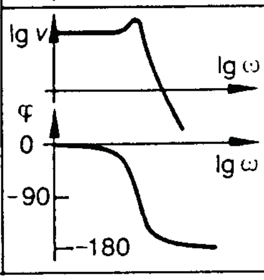
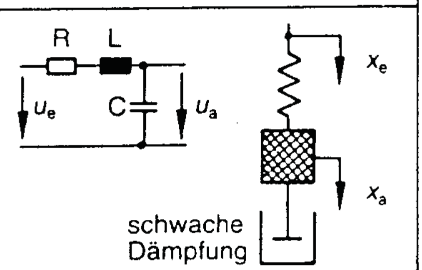
Regelglied	Differentialgleichung	Sprungantwort = Symbol des Regelgliedes	Übertragungsfunktion	Bode-Diagramm Verstärkung (ω) Phase (ω)	Beispiel elektrisch mechanisch
P Proportionalglied	$u_a(t) = K\,u_e(t)$		$F(\omega) = \frac{u_a(\omega)}{u_e(\omega)} = K$ $F(s) = \frac{u_a(s)}{u_e(s)} = K$		
T_1 Verzögerungsglied 1. Ordnung	$T\,\frac{d\,u_a(t)}{d\,t} + u_a(t) = K u_e(t)$		$F(\omega) = \frac{K}{1 + j\omega T_1}$ $F(s) = \frac{K}{1 + sT_1}$		
I Integrierglied	$u_a(t) = K\int u_e(t)\,d\,t$		$F(\omega) = \frac{K}{j\omega}$ $F(s) = \frac{K}{s}$		
D Differenzierglied	$u_a(t) = \frac{d\,u_e}{d\,t}\cdot K$		$F(\omega) = j\omega K$ $F(s) = sK$		
D, T_1 Differenzierglied mit Verzögerung	$T_1\,\frac{d\,u_a(t)}{d\,t} + u_a(t) = K\,\frac{d\,u_e(t)}{d\,t}$		$F(\omega) = \frac{j\omega K}{1 + j\omega T_1}$ $F(s) = \frac{sK}{1 + sT_1}$		
T_2 Verzögerungsglied 2. Ordnung <u>aperiodisch</u>	$T_2\,\frac{d^2 u_a(t)}{d\,t^2} + T_1\,\frac{d\,u_a(t)}{d\,t} + u_a(t) = K\,u_e(t)$	 <u>$D \geq 1$</u>	$F(\omega) = \frac{K}{1 + j\omega T_1 - \omega^2 T_2^2}$ $F(s) = \frac{K}{1 + sT_1 + s^2 T_2^2}$		
<u>periodisch</u>	$D = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{T_1}{K T_2}}$	 <u>$0 < D < 1$</u>			

Bild 10-5. Aufbau und Verhalten einiger wichtiger Glieder im Regelkreis.

➔ Phasendrehung in der gesamten Regelstrecke wird > 180° und Kreisverstärkung

$$V = |\,F(\omega)\,| \;=\; \frac{|U_A(\omega)|}{|U_E(\omega)|} \;>\; 1$$

Siehe als Beispiel RC-Verzögerungsglied:

Maximale Phasendrehung dieses Blocks allein ist 90°, **zwei** Verzögerungsglieder im Kreis könnten u. U. schon 180 ° ergeben. **Aber**: Bei den einfachen RC-Verzögerungsgliedern nimmt die **Verstärkung** oberhalb der Grenzfrequenz $1 / T_1 = 1 / RC$ mit 20 dB / Dekade ab! Daraus folgt, daß die Anordnung trotzdem stabil sein kann.

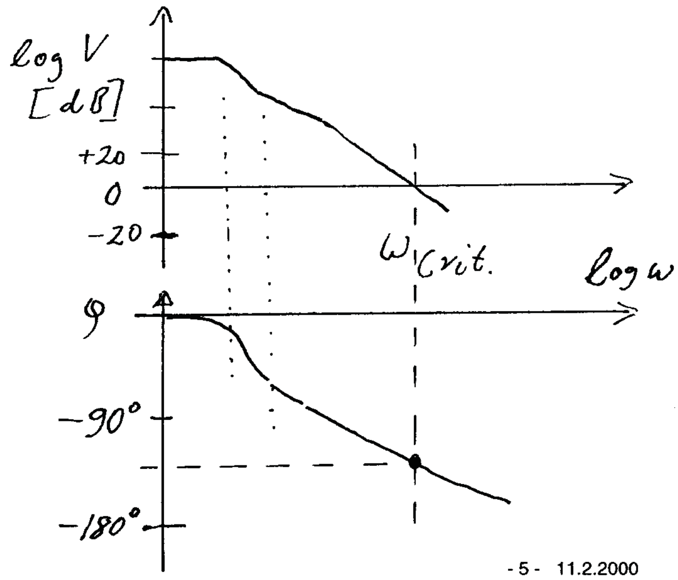
Wie bestimme ich Stabilität eines Regelkreises?

A) Messe Bode-Diagramm des gesamten Kreises

B) Bestimme das 1. Stabilitätskriterium, d. h. V = 1 (0dB) ➔ "Grenzfrequenz"

C) Betrachte für diese Frequenz den Phasenwinkel. Dazu können die Bode-Diagramme der einzelnen Elemente im Kreis "addiert" werden.

Beispiel:



"Ein Regelkreis, der bei Verstärkung V = 1 die Phase um weniger als 180 ° dreht, ist im Prinzip stabil"

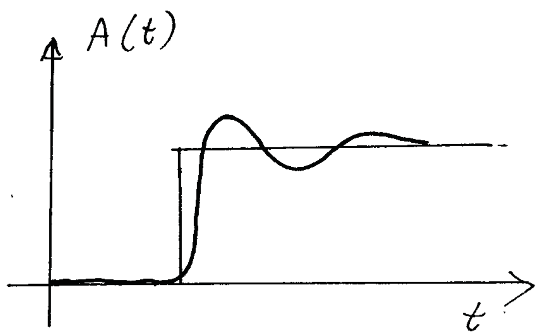
"Phasenreserve" von ungefähr 60° wünschenswert

Aber: Die Geschwindigkeit der Regelung hängt von der Geschwindigkeit der Änderung ab. Langsame Änderungen werden direkt geregelt, schnelle nur mit zeitlicher Verzögerung

➔ ➔ "Einschwingverhalten" Antwort auf sprungartige Änderung am Eingang

F (ω) ←➔ F (t)

"Laplace-Transformation"

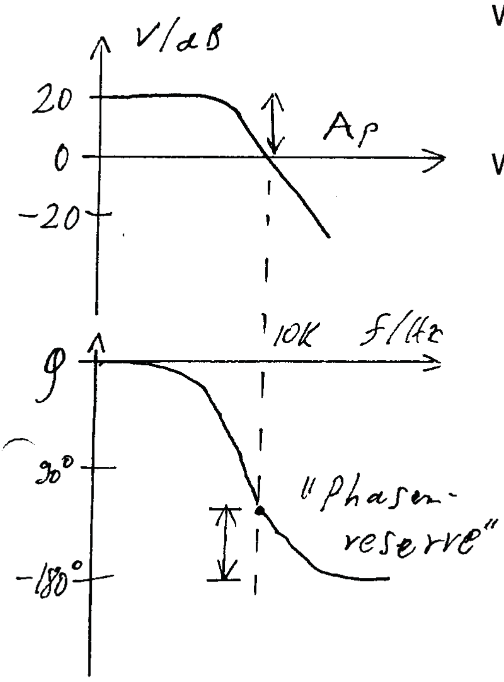


Reglertypen

1) P-Regler, Proportionalregler

"Linearer Verstärker, dessen Phasenverschiebung in dem Frequenzbereich mit V > 1 vernachlässigbar ist".

Beispiel:



Wahl der **Verstärkung A_p** bestimmt Verhalten der Regelung

z. B. $A_p > 100$ (20 dB) → exponentiell ansteigende Schwingung

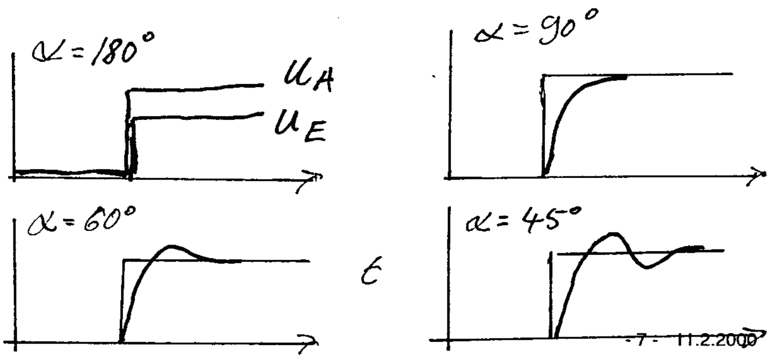
$A_p < 100$ (20 dB) → gedämpfte Schwingung

Wahl der **Phasenreserve** α bestimmt Art des Einschwingverhaltens

$\alpha = 0$ → ungedämpfte Schwingung setzt ein

$\alpha = 90°$ → aperiodischer Grenzfall

$\alpha = 180°$ → direkte Antwort



2) PI-Regler: Proportional-Integral-Regler

vgl. (1): Man kann die Verstärkung des P-Reglers **nicht beliebig** groß machen (Stabilität). Verstärkung bestimmt aber die "Schnelligkeit" bzw. Genauigkeit der Regelung

Ausweg: Erhöhe die Verstärkung nur für niedrige Frequenzen:
Parallelschaltung eines Integriergliedes

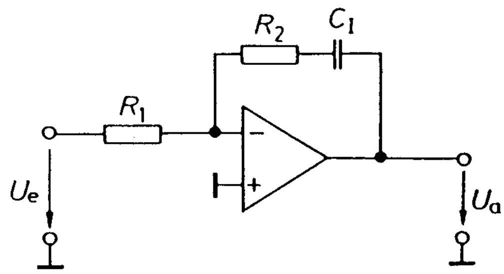


Abb. 24.7. PI-Regler

$$A_P = -\frac{R_2}{R_1}; \quad f_I = \frac{1}{2\pi C_I R_2}$$

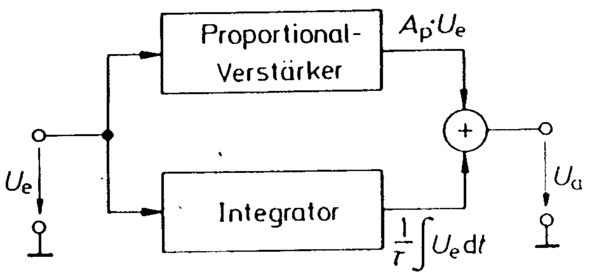


Abb. 24.5. Blockschaltbild eines PI-Reglers

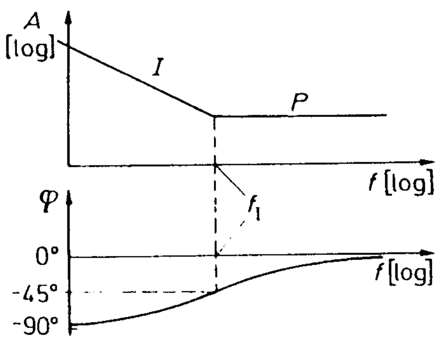


Abb. 24.6. Bode-Diagramm eines PI-Reglers

3) **P-I-D-Regler**: **Proportional-Integral-Differential-Regler**

Noch weitere Verbesserung kann erreicht werden, wenn für hohe Frequenzen dafür gesorgt wird, dass "Phase angeboten" wird.
Positiver Nebeneffekt: auch Verstärkung wird für hohe Frequenzen größer.

➔➔ Parallelschaltung eines **Differentiators**:

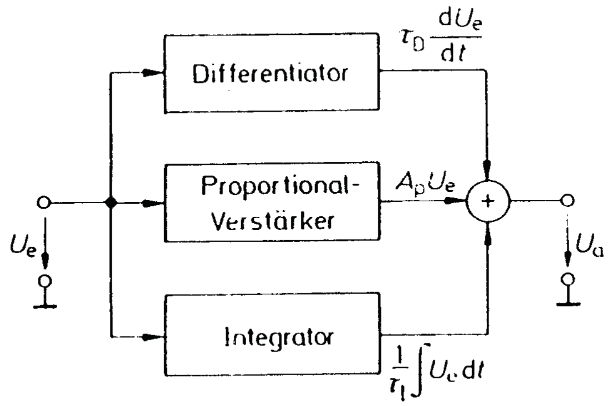


Abb. 24.10. Blockschaltbild eines PID-Reglers

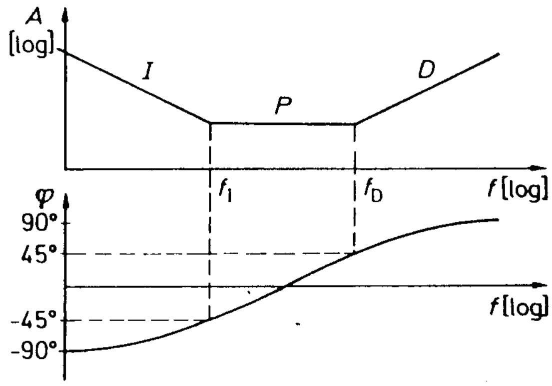


Abb. 24.11. Bode-Diagramm eines PID-Reglers

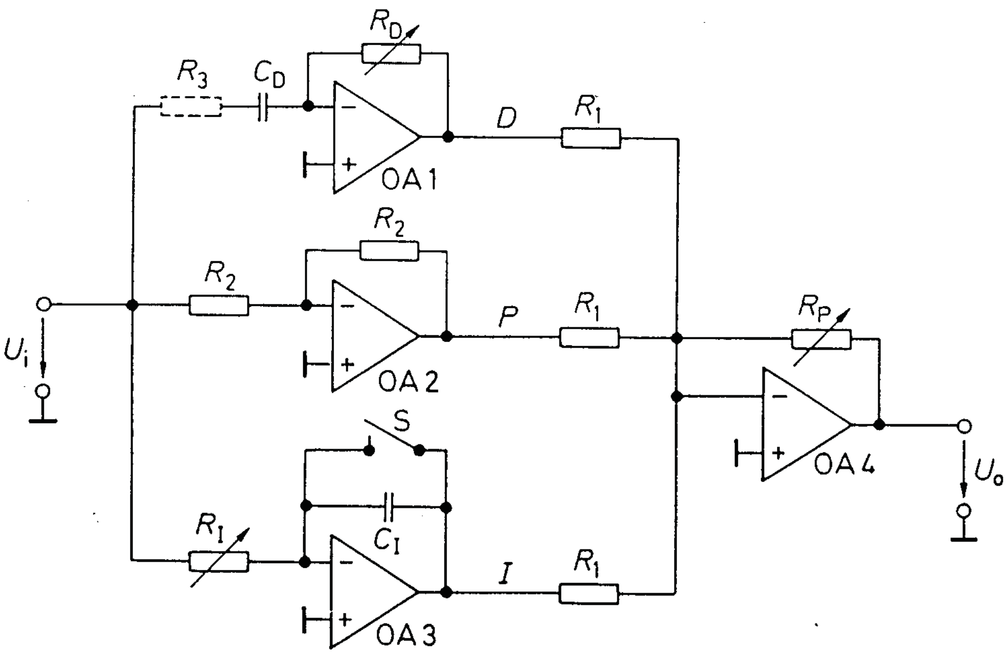


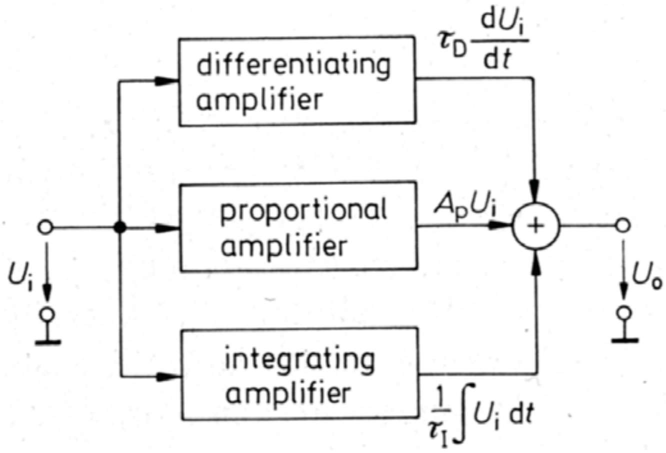
Fig. 27.15 PID-controller with decoupled parameters.

$$A_P = \frac{R_P}{R_1}\ , \quad f_I = \frac{1}{2\pi C_I R_I}\ , \quad f_D = \frac{1}{2\pi C_D R_D}$$

Einstellung PID-Regler

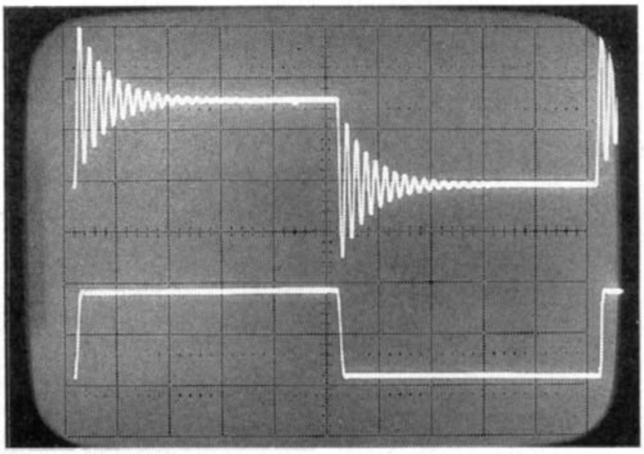
1) Rechteck an Referenz anlegen.

2) A_P erhöhen (nur P, I und D inaktiv) bis nur noch schwach gedämpft.

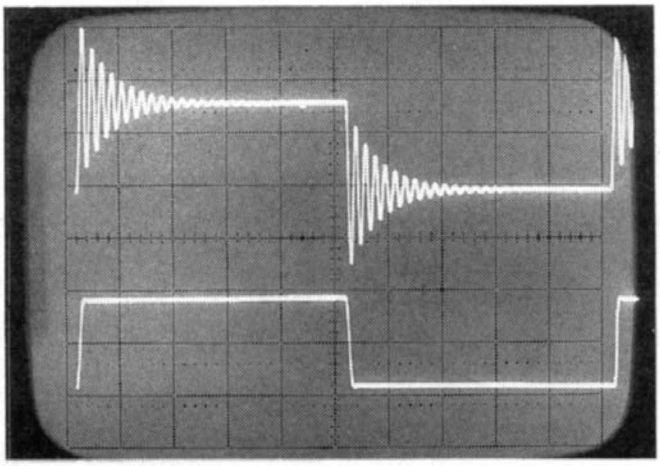


Ausgangssignal

Eingangssignal

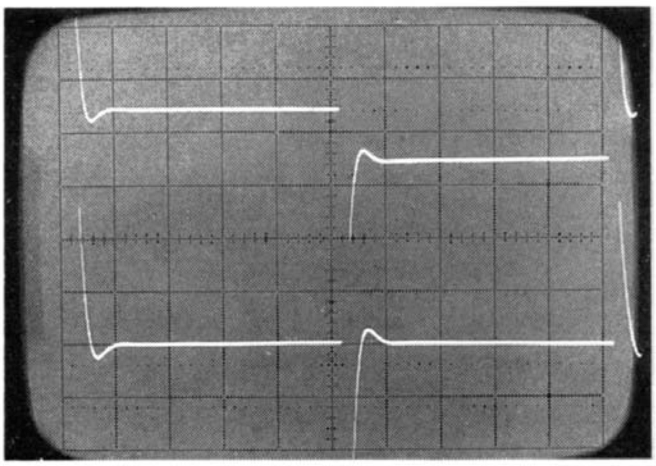


3) Gewünschte (optimale) Dämpfung durch Erhöhung von R_D - Verringerung f_D - einstellen.



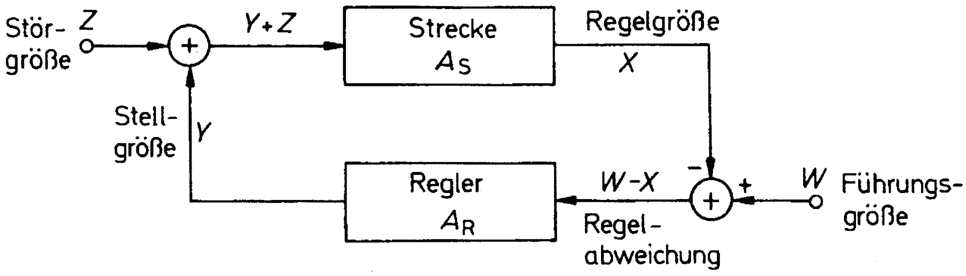
oben: ohne „D“ unten: mit „D“

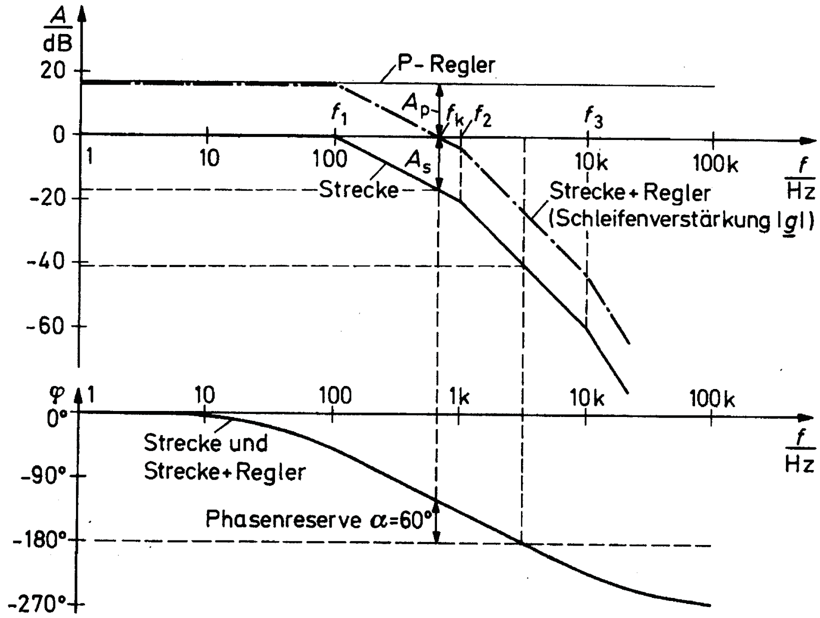
4) Aktivierung des Integrators um die verbleibende Abweichung zu eliminieren und die Einschwingzeit zu minimieren
- Erhöhung von f_I .



Messung der Kontrollgrößen !!!!

P-Regler





$U_{soll} = +5\ V$