

## 1

## Kapitel

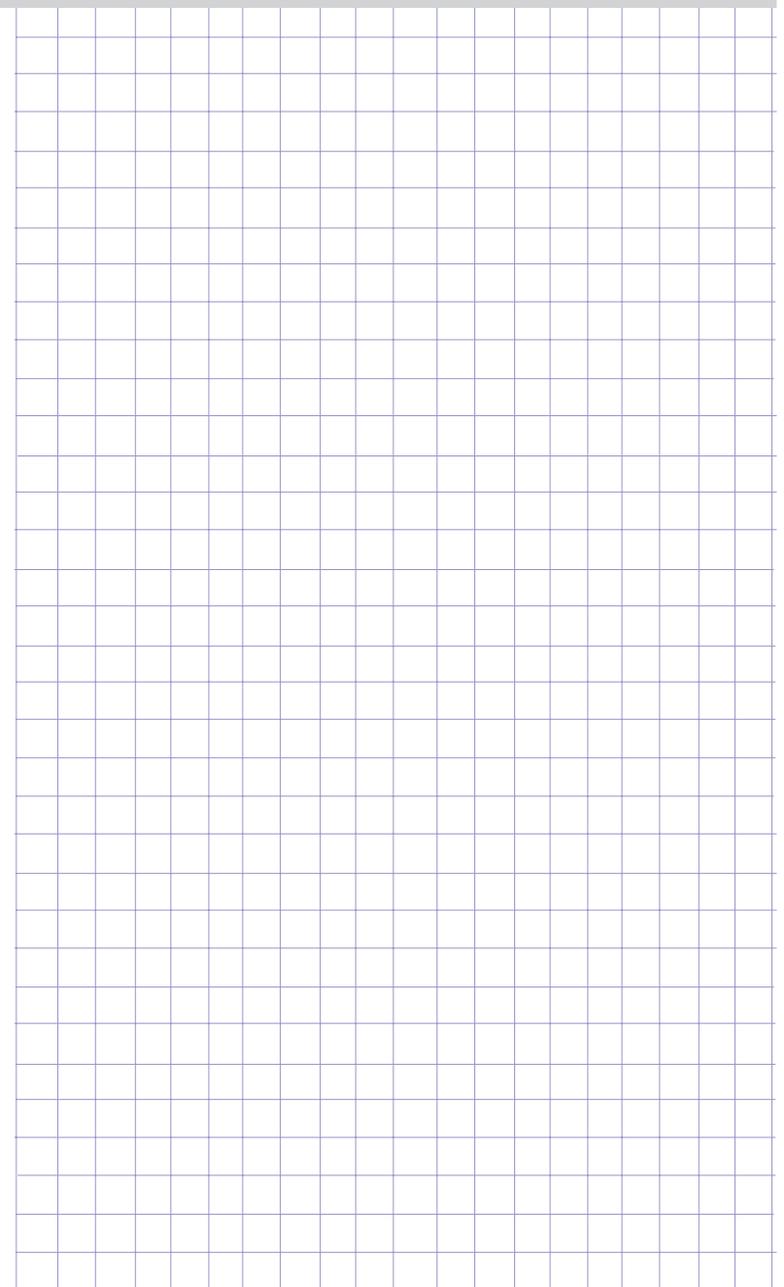
## Bestimmung der Reglerparameter aus den Frequenzkennlinien

Mit PSPICE lassen sich die Frequenzgänge der Amplitude und der Phase von Regelkreisen simulieren, graphisch darstellen und mit zwei Cursors exakt vermessen. Damit sind in PSPICE alle erforderlichen Werkzeuge vorhanden, Reglerparameter nach dem Frequenzkennlinienverfahren (aus dem Bode-Diagramm) zu ermitteln. Im Folgenden werden für eine PT3-Regelstrecke die Reglerparameter für unterschiedliche Reglertypen bestimmt. Die Ergebnisse der einzelnen Reglerentwürfe werden jeweils durch die Simulation der Sprungantworten überprüft und abschließend in einer gemeinsamen Darstellung verglichen.

### 1.1 PT3-Strecke mit P-Regler

Für eine PT3-Strecke, bestehend aus der Hintereinanderschaltung dreier PT1-Strecken mit  $T_1 = 10$  s,  $T_2 = 1$  s,  $T_3 = 0,1$  s und jeweils  $Ks = 1$  soll im Folgenden die Proportionalverstärkung  $Kp$  eines P-Reglers bestimmt werden. Für die Festlegung der Reglerverstärkung gibt es meistens die Vorgabe, dass das Überschwingen der Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises einen festgelegten Maximalwert  $\ddot{u}$  nicht überschreiten darf. Die Theorie lehrt, dass einem vorgegebenen Überschwinger der Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises ein bestimmter Wert der Phasenreserve  $\varphi$  des offenen Regelkreises entspricht. Für die folgende Bestimmung von  $Kp$  wird  $\varphi = 65^\circ$  vorgegeben.

Bild 1.1.1 zeigt die Schaltung zur Aufnahme des Amplituden- und Phasengangs des Regelkreises mit unterbrochener Rückführung der Regelgröße. Daraus können die zur Festlegung von  $Kp$  erforderlichen Angaben ermittelt werden.



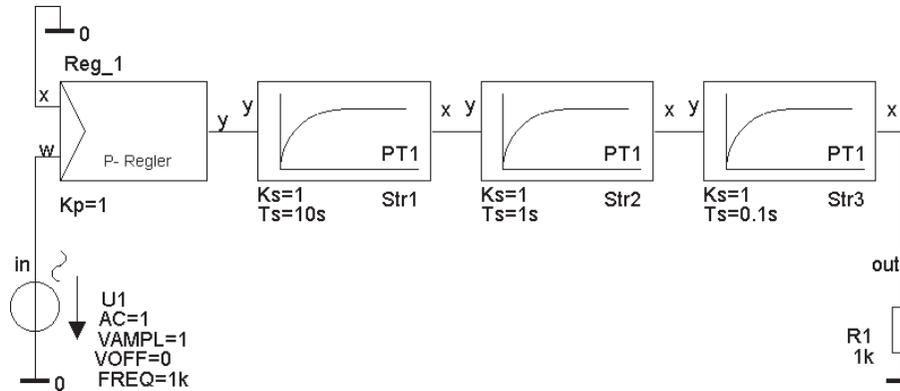


Bild 1.1.1: Simulationsschaltung zur Aufnahme des Frequenzgangs (Betrag und Phase) des offenen Regelkreises

Ein AC-Sweep ergibt für die Schaltung aus Bild 1.1.1 den folgenden Frequenzgang der Amplitude<sup>1)</sup> und der Phase. Der Frequenzgang ist in Form eines Bode-Diagramms dargestellt:

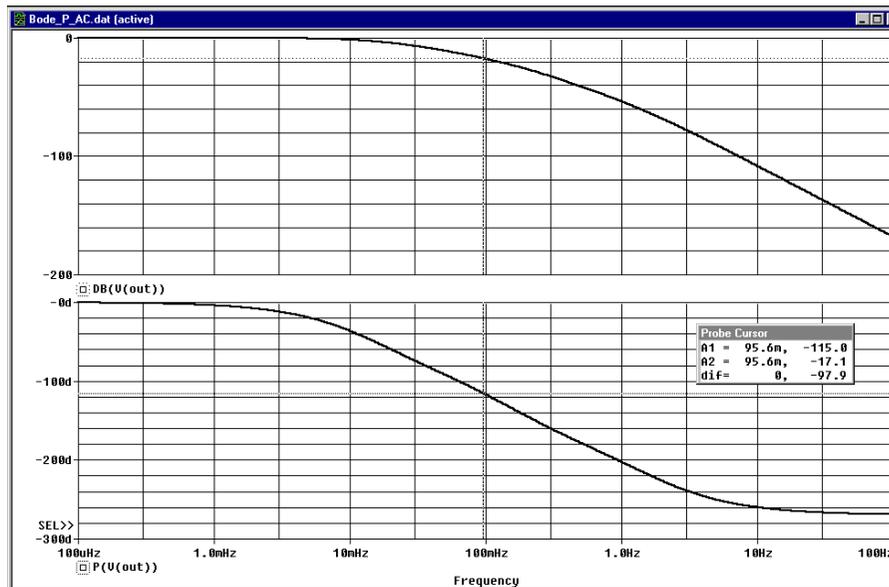


Bild 1.1.2: Amplitudengang (oben) und Phasengang (unten) der Schaltung von Bild 1.1.1. Cursor-Koordinaten bei der Frequenz, bei der der Phasenwinkel -115° beträgt

1) Der Amplitudengang in Bild 1.1.2 ist, wie in der Regelungstechnik üblich, in Dezibel (dB) dargestellt. PSPICE lässt im Probe-Fenster wahlweise eine lineare, eine (normal) logarithmische und eine dB-Skalierung der y-Achse zu. Die dB-Darstellung erhalten Sie, indem Sie im Probe-Fenster FUNCTIONS OR MACROS die Funktion DB() anwählen und dadurch in die Eingabezeile TRACE EXPRESSION bringen. In die Klammern von DB() müssen Sie dann den gewünschten, in dB darzustellenden, Ausdruck bringen, z.B. v(out).	
PT1-Strecken PT1:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs
P-Regler P-Reg:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs
Spannungsquelle VSIN:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs
Speichern als:	BODE_P_AC.OPJ
Setup für die Simulation zur Aufnahme des Frequenzgangs:	AC-SWEEP DECADE PTS/DECADE: 100 START FREQ: 0.1m END FREQ: 100

Ein günstiges dynamisches Verhalten des geschlossenen Regelkreises mit einem Überschwinger der Sprungantwort von ca. 15 % verspricht die Theorie bei einer Phasenreserve (Phasenrand) von ca.  $\varphi = 65^\circ$ , d.h. dann, wenn bei einem Phasenwinkel der Regelgröße von  $-115^\circ$  die Verstärkung des Regelkreises mit geöffneter Rückführung gerade gleich 1 ist. Bild 1.1.2 zeigt (die Cursorpositionen stehen unten rechts), dass der Phasenwinkel  $-115^\circ$  bei  $f_0 = 95,6$  mHz erreicht wird. Die Ausgangsspannung ist dann um 17 dB, d.h. um den Faktor 0,141 abgefallen. Damit ergibt sich eine zulässige Verstärkung des Reglers von 17 dB, d.h.  $K_p = 1 / 0,141 = 7,08$ .

Mit der Schaltung des geschlossenen Regelkreises (Bild 1.1.3) kann die Sprungantwort aufgenommen werden, um das Ergebnis des Reglerentwurfs zu überprüfen.

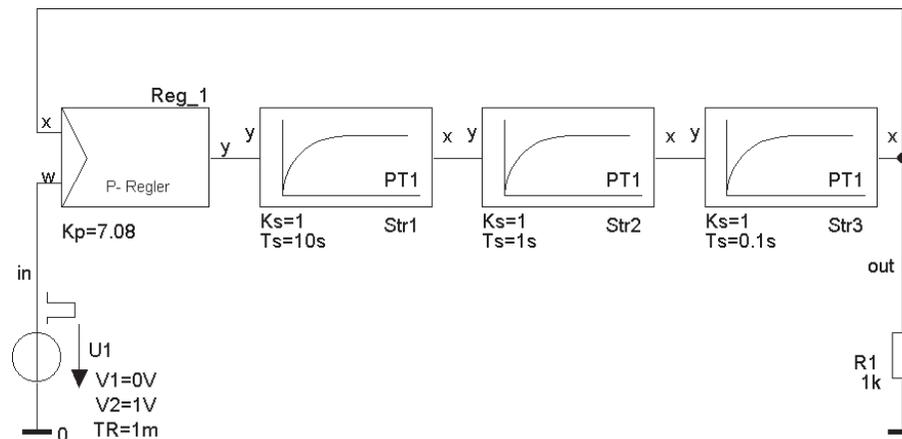
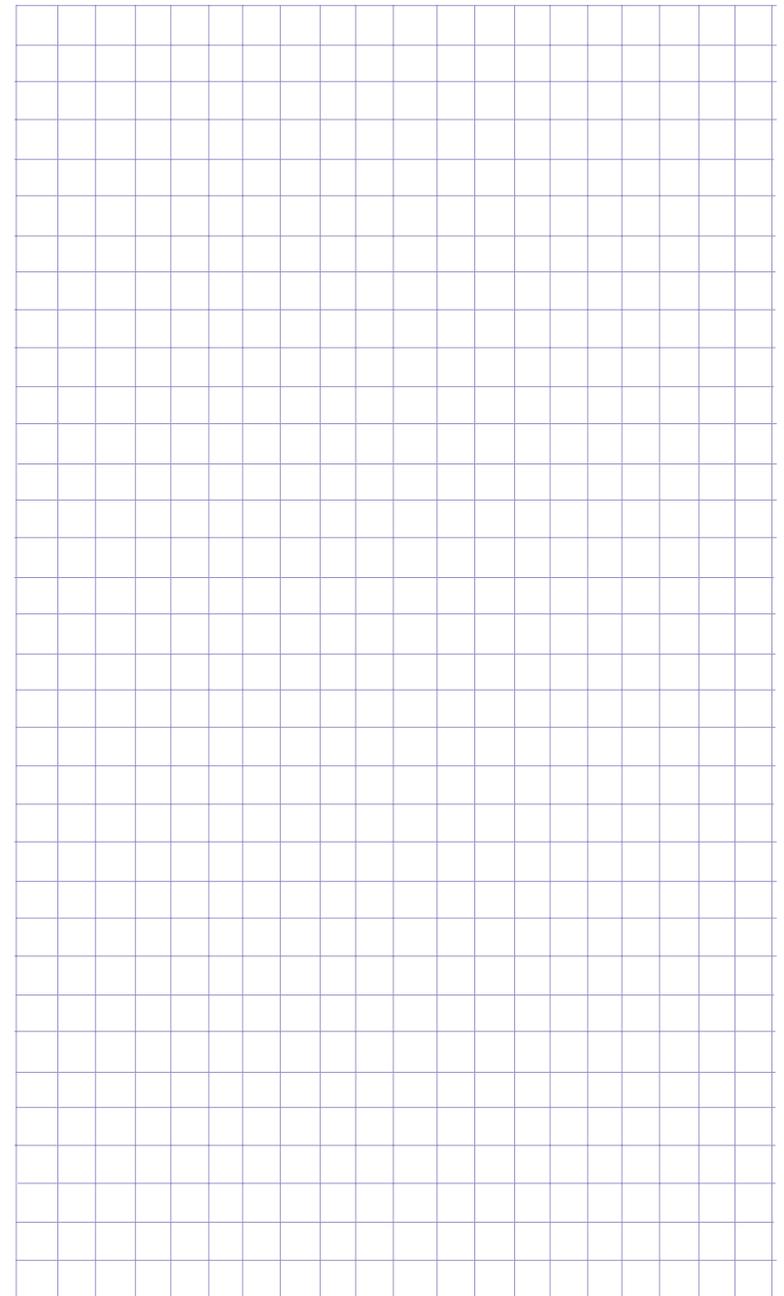


Bild 1.1.3: Geschlossener Regelkreis mit VPULSE zur Aufnahme der Sprungantwort

Die Reaktion der Strecke auf den Sprung der Eingangsspannung von 0 V auf 1 V (Sprungantwort) zeigt das Bild 1.1.4. Die Sprungantwort zeigt den erwarteten Überschwinger nach dem Einschalten. Nach dem Abklingen des Einschwingvorgangs beträgt die Ausgangsspannung nur knapp 0,9 V. Diese hohe bleibende Regel-



abweichung ist meistens unakzeptabel. Ein P-Regler kann diese Strecke offensichtlich nicht befriedigend regeln.

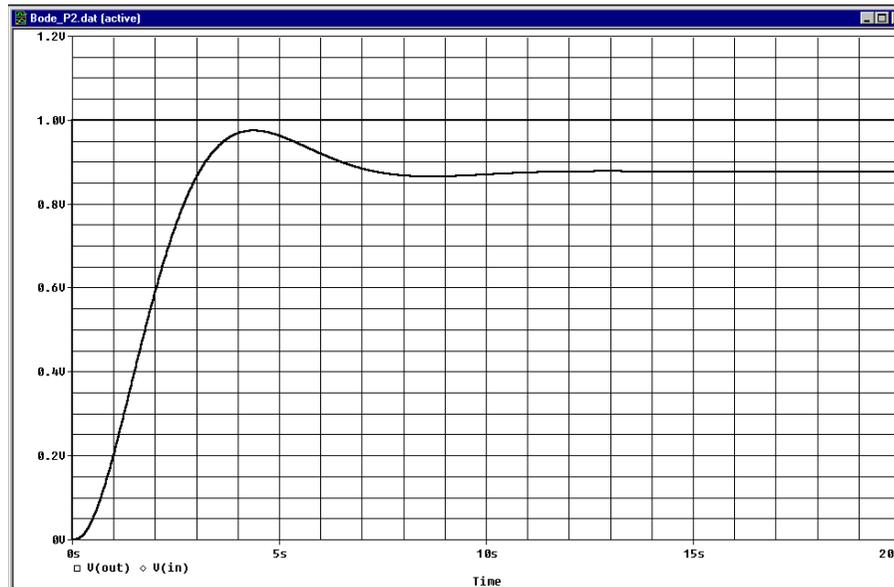


Bild 1.1.4: Sprungantwort der mit einem P-Regler geregelten PT3-Strecke

## 1.2 PT3-Strecke mit PD-Regler

Die Reglerparameter des PD-Reglers,  $T_V$  und  $K_p$ , werden häufig derart an die zu regelnde Strecke angepasst, dass  $T_V$  gleich einer der Strecken-Zeitkonstanten ( $T_1 > T_2 > T_3$ ) gewählt wird. Dadurch kann die Tiefpasswirkung einer der Streckenzeitkonstanten durch die Hochpasswirkung des D-Anteils des PD-Reglers kompensiert werden. Theoretisch kann mit gleicher Wirkung auf die Regelung sowohl die größte ( $T_1$ ), als auch die zweitgrößte ( $T_2$ ) der Streckenzeitkonstanten durch  $T_V$  kompensiert werden. Im folgenden Beispiel wird  $T_V$  gleich der zweitgrößten Streckenzeitkonstanten gewählt.

Mit  $T_V = T_2 = 1$  s ergibt sich für die PT3-Regelstrecke aus Ab-

PT1-Strecken *PT1*: Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs  
P-Regler *P-Reg*: Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs  
Spannungsquelle *VPULSE*: Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs

Speichern als: BODE\_P\_TRAN.OPJ

Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:

TRANSIENT  
RUN TO TIME 20s  
MAXIMUM STEP SIZE 10m

schnitt 1.1 die folgende Schaltung zur Aufnahme des Frequenzgangs des Regelkreises mit geöffneter Rückführung:

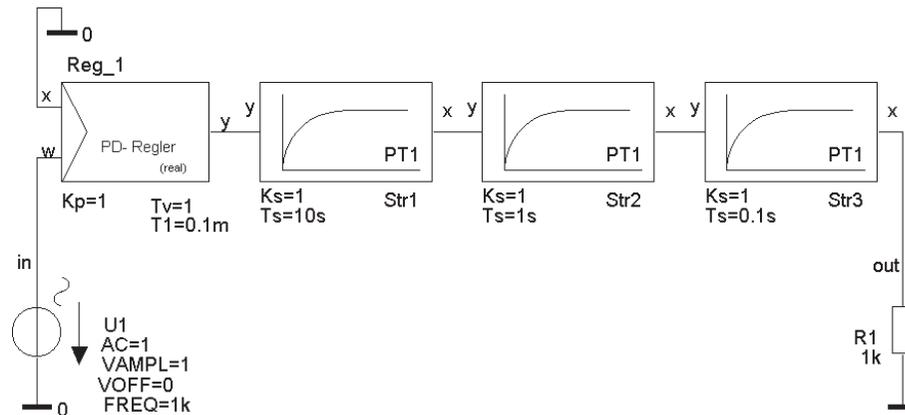


Bild 1.2.1: Schaltung zur Aufnahme des Frequenzgangs des offenen Regelkreises

Den zugehörigen Amplituden- und Phasengang zeigt Bild 1.2.2:

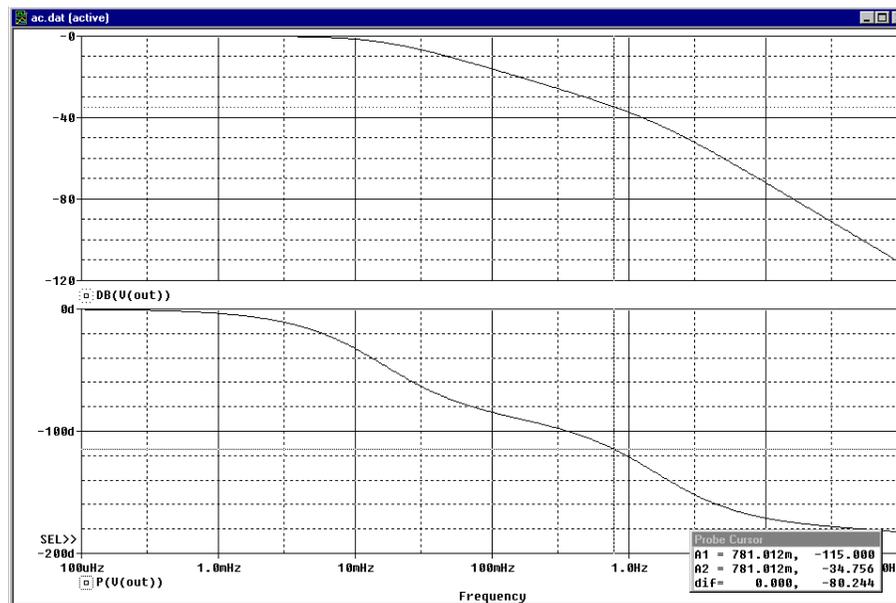


Bild 1.2.2: Regelkreis mit geöffneter Rückführung.  $T_2$  wurde durch die Vorhaltezeit  $T_V$  des PD-Reglers kompensiert. Unten rechts: Cursorkoordinaten bei  $\varphi = -115^\circ$

PT1-Strecken PT1:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs
PD-Regler PD-T1-Reg:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs
Spannungsquelle VSIN:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributenüs
Speichern als:	BODE_PD_AC.OPJ
Setup für die Simulation zur Aufnahme des Frequenzgangs:	
	AC-SWEEP
	DECADE
	PTS/DECADE: 100
	START FREQ: 0.1m
	END FREQ: 100

Die Vermessung des Frequenzgangs (Bild 1.2.2) mit den beiden PROBE- Cursors ergibt, dass der gewünschte Phasenwinkel von  $-115^\circ$  (das entspricht einer Phasenreserve von  $65^\circ$ ) bei der Frequenz 0,781 Hz erreicht wird. Die Amplitude der Regelgröße ist dann um 34,7 dB, d.h. um den Faktor 0,0184 abgesunken. Damit ergibt sich eine deutlich größere Proportionalverstärkung als mit einem P-Regler:  $K_p = 1 / 0,0184 = 54,33$ .

Zur Kontrolle kann mit der Schaltung von Bild 1.2.3 die Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises aufgenommen werden.

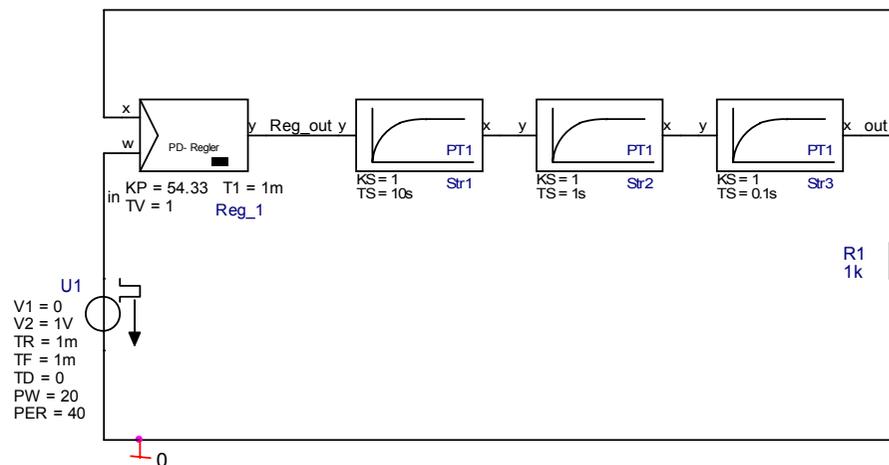


Bild 1.2.3: Geschlossener Regelkreis mit PD-Regler zur Regelung einer PT3-Strecke

Das Ergebnis der Simulation (Bild 1.2.4) ist überzeugend: Die Regelung ist bedeutend schneller geworden als die Regelung mit einem reinen P-Regler (vergl. Bild 1.1.4) und die bleibende Regelabweichung ist deutlich kleiner. Das Ergebnis verwundert nicht, da die Proportionalverstärkung des PD-Reglers sehr viel größer gewählt werden konnte als bei einem reinen P-Regler.

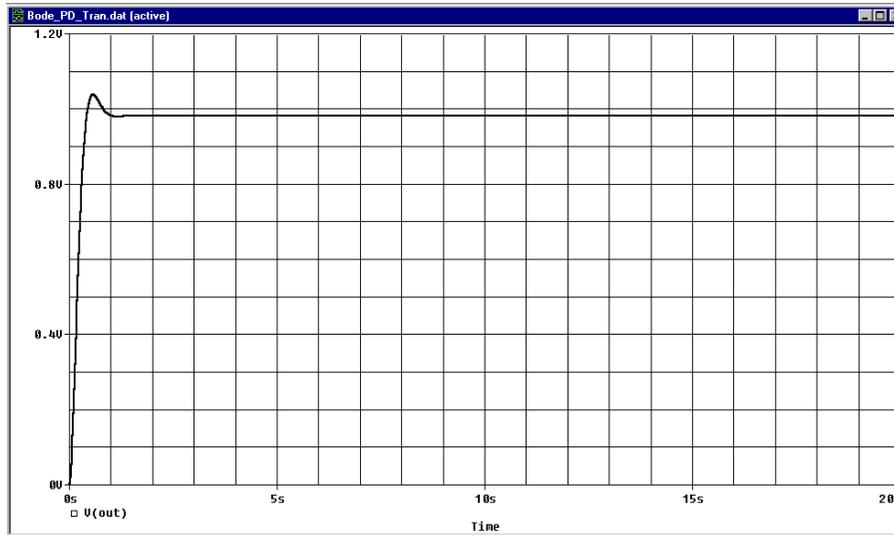


Bild 1.2.4: Sprungantwort der mit PD-Regler geregelten PT3-Strecke

Die Vorzüge der PD-Regelung sehen auf den ersten Blick überwältigend aus. Leider täuscht der erste Blick. Die Darstellung der Reglerausgangsspannung bringt es an den Tag (Bild 1.2.5):

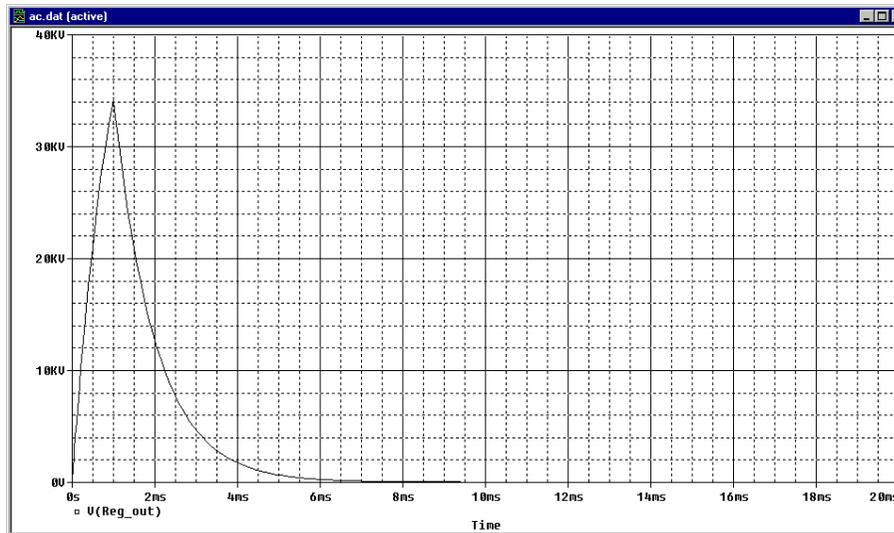


Bild 1.2.5: Stellgröße des PD-Reglers zur Erzeugung der Sprungantwort von Bild 1.2.4

PT1-Strecken *PT1*: Attribute lt. Schaltplan, bzw. Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs  
 PD-Regler *PD-T1-Reg*: Attribute lt. Schaltplan, bzw. Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs  
 Spannungsquelle *VPULSE*: Attribute lt. Schaltplan, bzw. Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs

Speichern als: BODE\_PD\_TRAN.OPJ

Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:  
 TRANSIENT  
 RUN TO TIME 20s  
 MAXIMUM STEP SIZE 10m

Setup für die Simulation zur Aufnahme der Ausgangsspannung des Reglers in einem reduzierten Zeitintervall kurz nach dem Einschalten:

TRANSIENT  
 RUN TO TIME: 20ms  
 MAXIMUM STEP SIZE: 2u

Während der Anstiegsflanke des Eingangssprungs ( $TR = 1 \text{ ms}$ ) steigt die Eingangsspannung steil von  $0 \text{ V}$  auf  $1 \text{ V}$  an. Der steile Anstieg bewirkt eine Ausgangsspannung des Reglers von fast  $35 \text{ kV}$ . Diese Spannung ist von einem üblichen Regler auch im Zusammenhang mit einem nachgeschalteten Leistungsverstärker nicht aufzubringen. Die Reglermodelle des Buches lassen deshalb mit Hilfe der Attribute *Min* und *Max* eine Begrenzung der Ausgangsspannung der Regler und damit eine Anpassung an reale Bedingungen zu. Mit (realistischen) Werten für die Begrenzung ( $M_{IN} = -200 \text{ V}$  und  $M_{AX} = 200 \text{ V}$ ) ergibt sich die Sprungantwort von Bild 1.2.6:

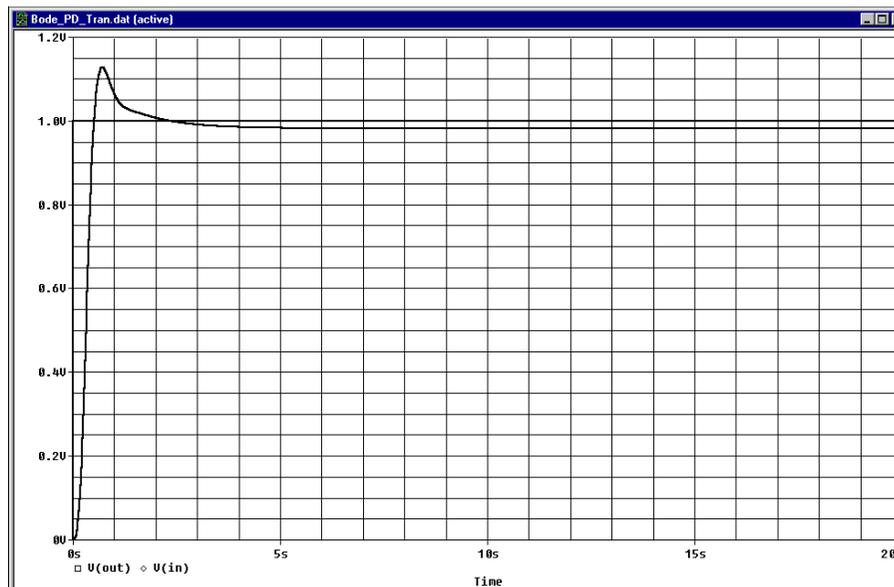


Bild 1.2.6: PD-Regler an PT3-Strecke: Sprungantwort mit Begrenzung der Reglerausgangsspannung auf  $\pm 200 \text{ V}$ .

<b>PT1-Strecken <i>PT1</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>PD-Regler <i>PD-T1-Reg</i>:</b>	<b>MIN:</b> -200 <b>MAX:</b> 200 sonst: Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Spannungsquelle <i>VPULSE</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:</b>	<b>TRANSIENT</b> <b>RUN TO TIME 20s</b> <b>MAXIMUM STEP SIZE 10m</b>

### 1.3 PT3-Strecke mit I-Regler

Für die PT3-Strecke, die in den beiden vorausgegangenen Abschnitten mit einem P- und einem PD-Regler geregelt wurde, soll im Folgenden ein I-Regler verwendet werden (Bild 1.3.1):

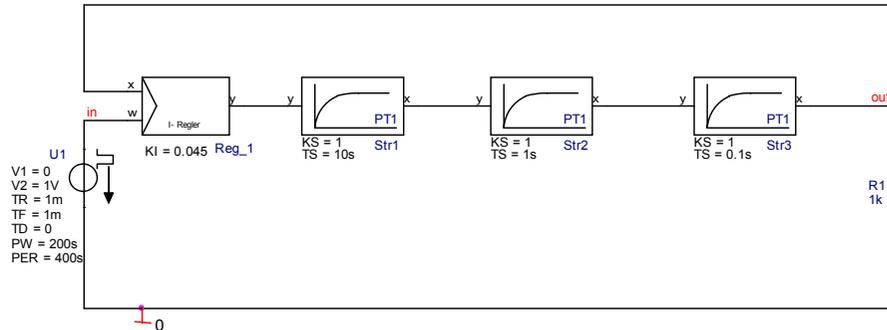


Bild 1.3.1: Regelkreis mit PT3-Strecke und I-Regler

Der erforderliche Wert für  $K_I$  folgt aus dem Frequenzgang des Regelkreises mit geöffneter Rückführung bei  $K_I = 1$  (Bild 1.3.2):

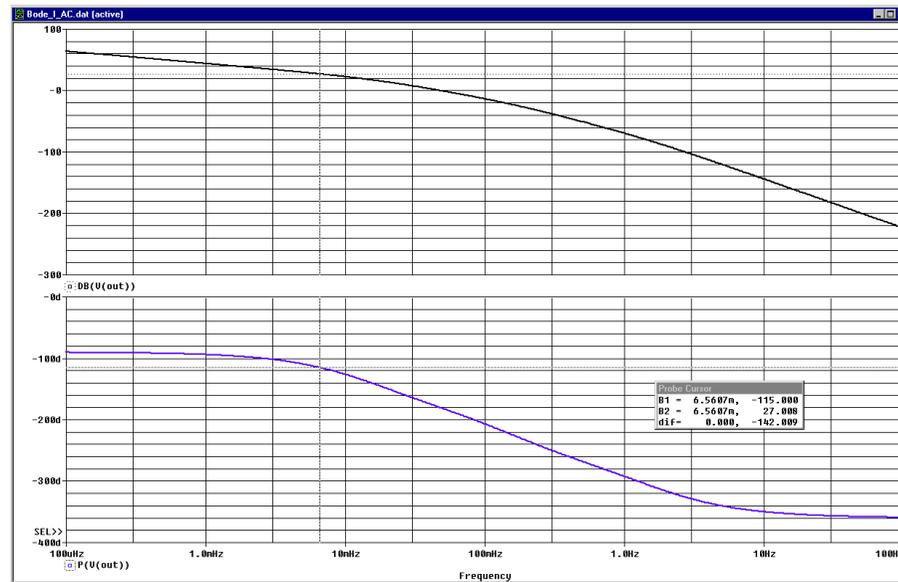


Bild 1.3.2: Regelkreis mit geöffneter Rückführung: Frequenzgang nach Betrag und Phase

PT1-Strecken PT1:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
I-Regler I-Reg:	Ki=1; Vorgabe des Attributmenüs
Spannungsquelle VSIN:	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
Speichern als:	BODE_I_AC.OPJ
Setup für die Simulation zur Aufnahme des Frequenzgangs:	AC-SWEEP
	DECADE
	PTS/DECADE: 100
	START FREQ: 0.1m
	END FREQ: 100

Der Phasenwinkel  $-115^\circ$  wird bei  $f = 6,56$  mHz erreicht. Die Amplitude der Regelgröße beträgt dann 27 dB, d.h. 22,4 V. Für den Integrationsbeiwert  $K_I$  ergibt sich damit:  $K_I = 1 / 22,4 = 0,045$ .

Zur Kontrolle kann mit der Schaltung aus Bild 1.3.1 für den Integrationsbeiwert  $K_I = 0.045$  die Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises (Bild 1.3.3) mit einer Transienanalyse bestimmt werden:



Bild 1.3.3: Sprungantwort des Regelkreises mit PT3-Strecke und I-Regler

Wie es von einer Regelung mit I-Regler zu erwarten ist, erfolgt die Regelung ohne bleibende Regelabweichung. Aber: Der I-Regler arbeitet im Vergleich zum P- und zum PD-Regler enorm langsam. Eine Anregelzeit von fast einer Minute macht diese Regelung für viele Anwendungen untauglich.

<b>PT1-Strecken PT1:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>I-Regler I-Reg:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Spannungsquelle VPULSE:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Speichern als:</b>	<b>BODE_I_TRANS.OPJ</b>
<b>Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:</b>	TRANSIENT RUN TO TIME 160s MAXIMUM STEP SIZE 50m

### 1.4 PT3-Strecke mit PI-Regler

Die Vorzüge des P-Reglers (kurze Anregelzeit) und des I-Reglers (keine bleibende Regelabweichung) vereinigt der PI-Regler. Für die PT3-Strecke, die in den drei vorausgegangenen Abschnitten mit einem P-Regler, einem PD-Regler und einem I-Regler geregelt wurde, soll im Folgenden ein PI-Regler verwendet werden (Bild 1.4.1):

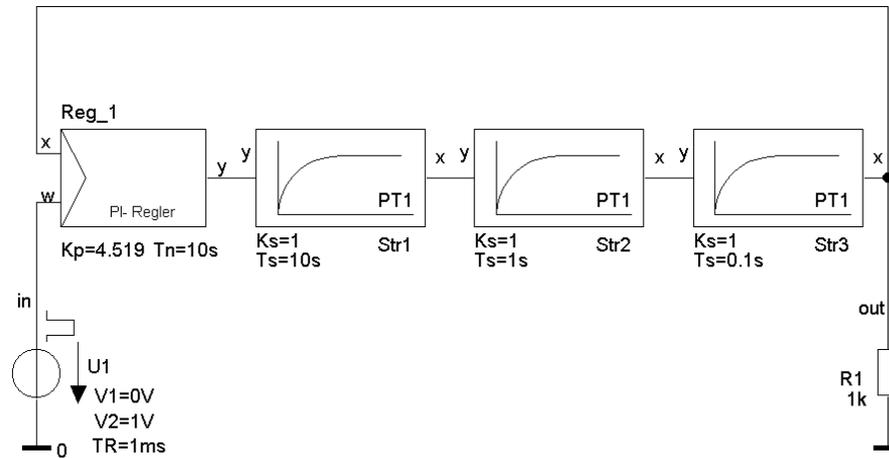
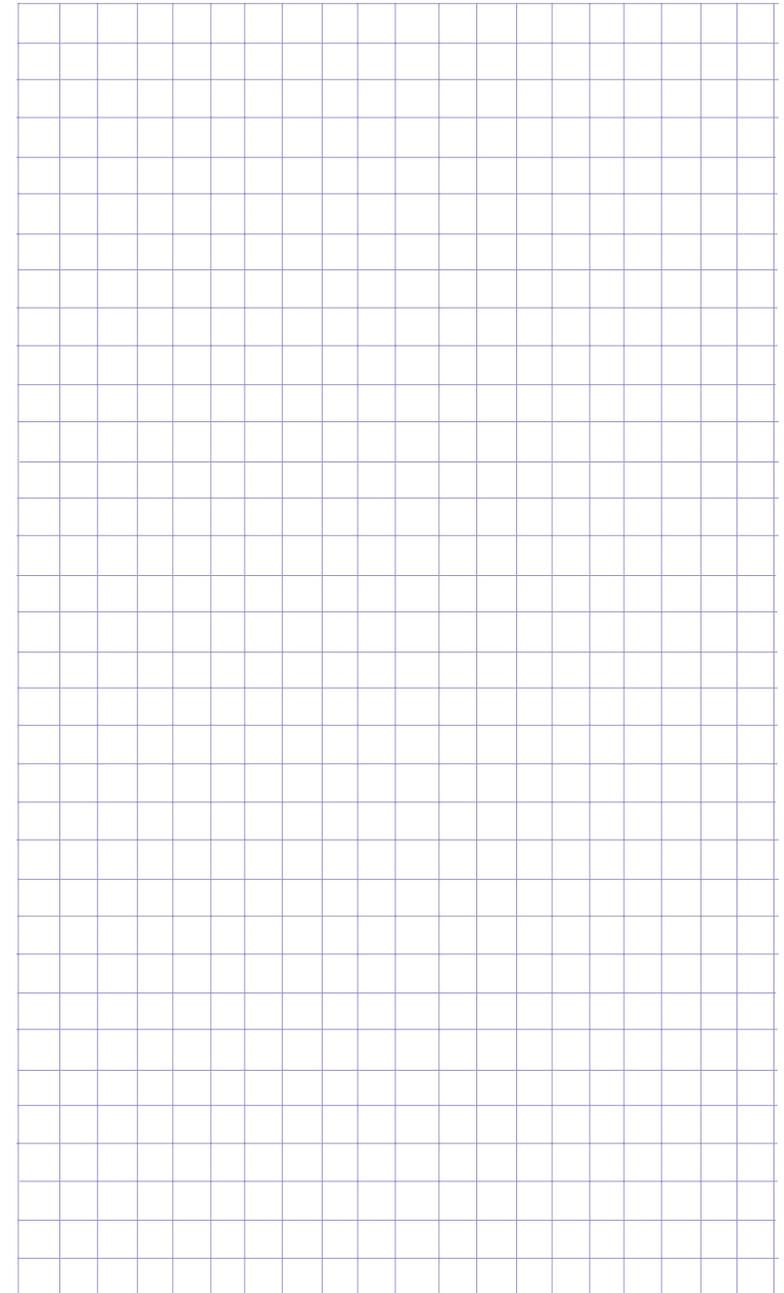


Bild 1.4.1: Regelkreis mit PT3-Strecke und PI-Regler

Die Bestimmung von  $K_p$  und  $T_n$  soll wieder für eine Phasenreserve  $\varphi = 65^\circ$  erfolgen. Mit der Nachstellzeit  $T_n$  soll die größte der drei Streckenzeitkonstanten kompensiert werden:  $T_n = T_1 = 10\text{ s}$ . Den Frequenzgang des Regelkreises mit geöffneter Rückführung bei einer Reglerverstärkung  $K_p = 1$  zeigt Bild 1.4.2:



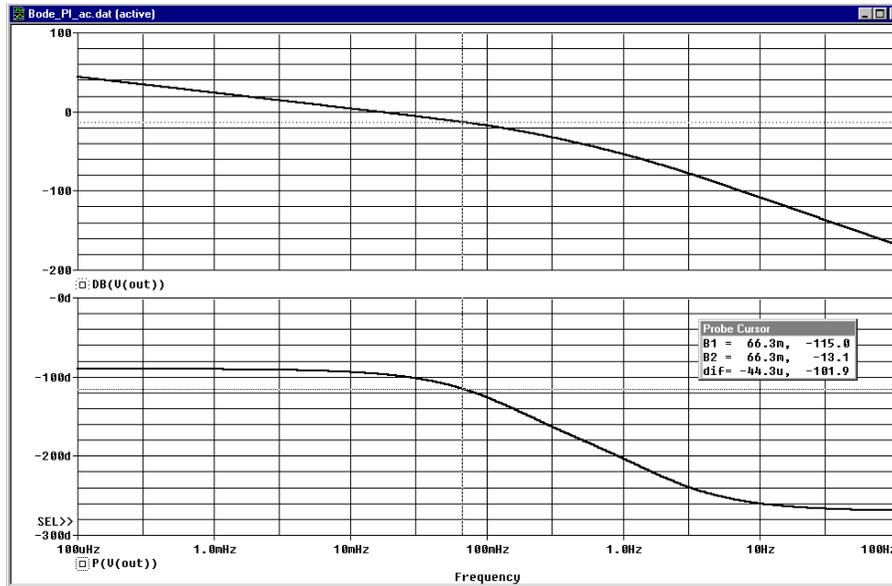


Bild 1.4.2: Frequenzgang des Regelkreises mit geöffneter Rückführung nach Betrag und Phase. Unten rechts: Cursorkoordinaten bei  $\varphi = -115^\circ$

$\varphi = -115^\circ$  wird bei  $f = 66,3$  mHz erreicht. Dann beträgt die Ausgangsspannung  $-13,1$  dB, d.h.  $221,3$  mV. Daraus ergibt sich die erforderliche Proportionalverstärkung des PI-Reglers zu  $13,1$  dB, d.h.  $K_p = 1 / 0,2213 = 4,519$ .

Zur Kontrolle kann mit der Schaltung aus Bild 1.4.1 für die Reglerparameter  $K_p = 4,519$  und  $T_n = 10$  s die zugehörige Sprungantwort des geschlossenen Regelkreises (Bild 1.4.3) bestimmt werden.

Ein Parametric-Sweep zeigt die Sprungantworten für verschiedene Nachstellzeiten (Bild 1.4.4). Die Wahl von  $T_n = 10$  s wird durch das Diagramm bestätigt.

PT1-Strecken <i>PT1</i> :	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
PI-Regler <i>PI-Reg</i> :	$K_p=1$ ; Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
Spannungsquelle <i>VSIN</i> :	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
Speichern als:	BODE_PI_AC.OPJ
Setup für die Simulation zur Aufnahme des Frequenzgangs:	AC-SWEEP DECADE PTS/DECADE: 100 START FREQ: 0.1m END FREQ: 100



Bild 1.4.3: Regelkreis mit PT3-Strecke und PI-Regler: Sprungantwort

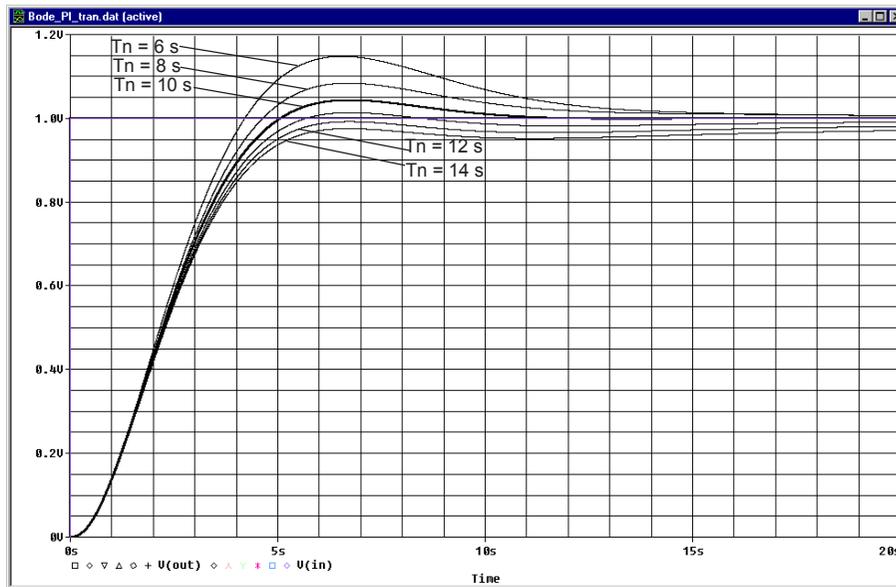


Bild 1.4.4: PT3-Strecke mit PI-Regler: Wirkung einer Variation der Nachstellzeit

<b>PT1-Strecken <i>PT1</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>PI-Regler <i>PI-Reg</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Spannungsquelle <i>VPULSE</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Speichern als:</b>	<b>BODE_PI_TRAN.OPJ</b>
<b>Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:</b>	TRANSIENT RUN TO TIME 20s MAXIMUM STEP SIZE 10m

Für erfahrene PSPICE-Nutzer, die die Simulation nachvollziehen wollen, die zu Bild 1.4.4 geführt hat:

<b>PT1-Strecken <i>PT1</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>PI-Regler <i>PI-Reg</i>:</b>	$T_n = \{Tnvar\}$ sonst: Attribute lt. Schaltplan, bzw. Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Spannungsquelle <i>VPULSE</i>:</b>	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
<b>Parametersymbol <i>PARAM</i>:</b>	NAME = Tnvar VALUE = 10s
<b>Setup</b>	TRANSIENT RUN TO TIME 20s MAXIMUM STEP SIZE 10m Parametric Sweep des Parameters <i>Tnvar</i> GLOBAL PARAMETER LINEAR START VALUE: 6s END VALUE: 14s INCREMENT: 2s

## 1.5 PT3-Strecke mit PID-Regler

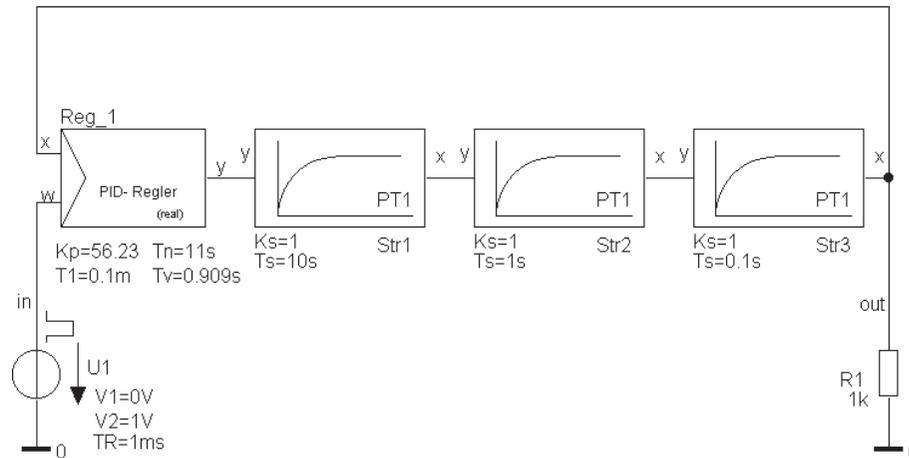


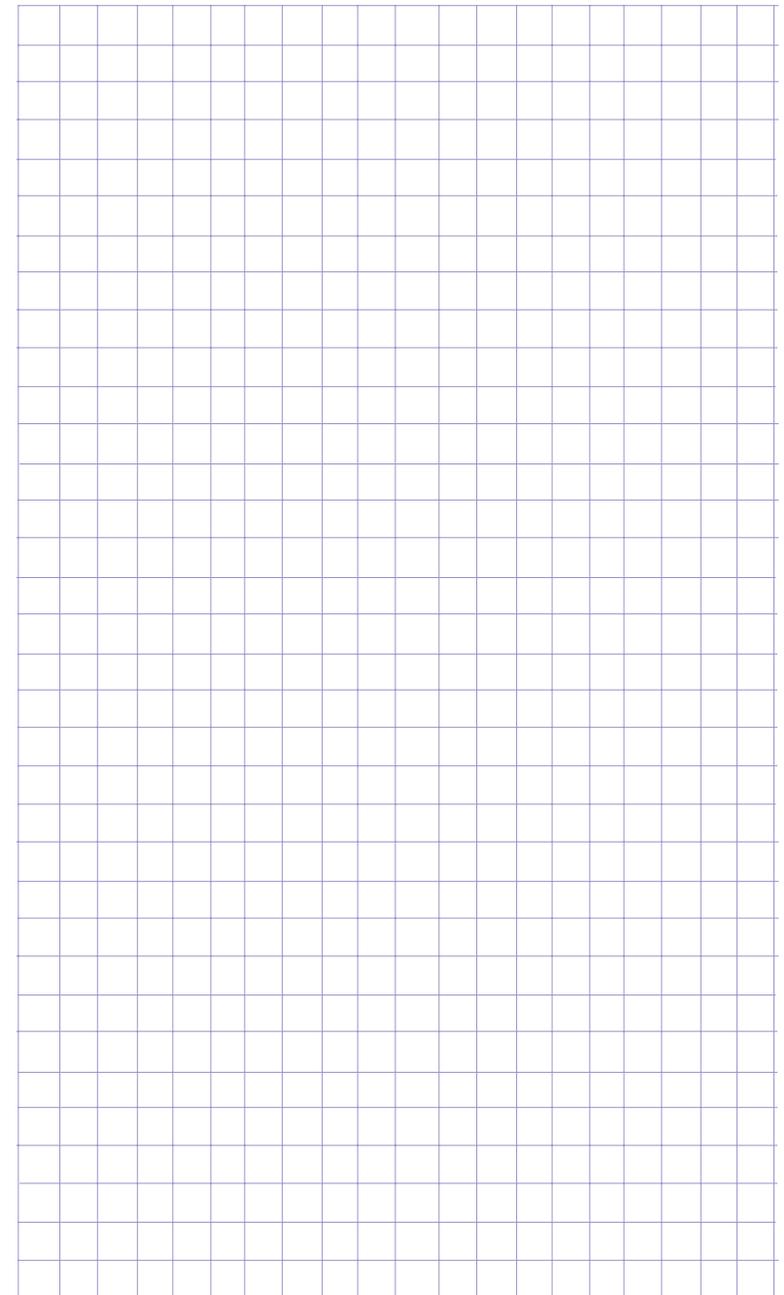
Bild 1.5.1: PT3-Strecke mit PID-Regler

Der PID-Regler vereinigt die Vorzüge der PD-Regelung (Schnelligkeit) und der PI-Regelung (Regelgenauigkeit). Die Bestimmung der Reglerparameter  $K_p$ ,  $T_v$  und  $T_n$  ist nach den Erkenntnissen, die Sie in den vorausgegangenen Abschnitten gewonnen haben, sehr einfach.

$T_v$  und  $T_n$  werden analog zur Optimierung des PD- und des PI-Reglers so gewählt, dass sie die beiden größten Streckenzeitkonstanten  $T_1$  und  $T_2$  kompensieren. Nach der Theorie (vgl. Hinweise zum realen PID-Regler in *Anhang: Regelungstechnische Bauteile des Buches*) bedeutet das für  $T_n$  und  $T_v$ :

$$T_n = T_1 + T_2 = 11 \text{ s} \quad \text{und} \quad T_v = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_1 + T_2} = 0,909 \text{ s}$$

Die Proportionalverstärkung  $K_p$  wird mit  $T_n = 11 \text{ s}$  und  $T_v = 0.909 \text{ s}$  und  $K_p = 1$  aus dem Frequenzgang des Regelkreises mit geöffneter Rückführung bestimmt:



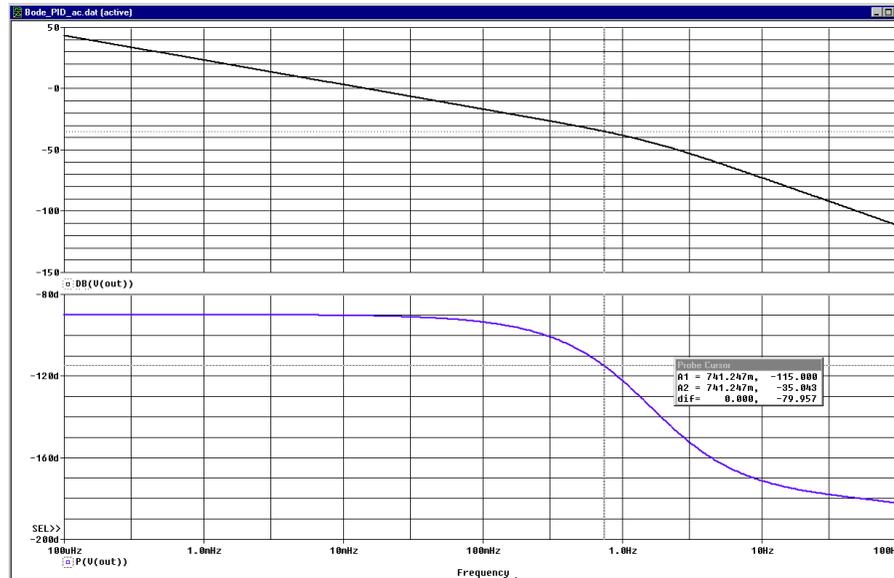


Bild 1.5.2: Regelkreis mit geöffneter Rückführung: PT3-Strecke mit PID-Regler. Unten rechts: Die Cursor-Koordinaten bei  $\varphi = -115^\circ$

Durch die Vermessung des Frequenzgangs (Bild 1.5.2) mit den beiden PROBE-Cursors ermittelt man die Frequenz, bei der der Phasenwinkel  $-115^\circ$  beträgt zu  $f = 741$  mHz. Die Ausgangsgröße des Reglers beträgt bei dieser Frequenz  $-35$  dB, d.h.  $17,78$  mV. Daraus ergibt sich die erforderliche Proportionalverstärkung zu  $K_p = 1 / 17,78\text{m} = 56,23$

Die Sprungantwort des Regelkreises mit  $K_p = 56,23$ ,  $T_n = 11$  s und  $T_v = 0,909$  s zeigt Bild 1.5.3. Auch hier, wie schon beim PD-Regler, wird die Freude an der schnellen Regelung durch eine immens hohe Regler-Ausgangsspannung getrübt.

In Bild 1.5.4 sind zum Vergleich die Sprungantworten der in den vorangegangenen Abschnitten entworfenen Regelungen zusammengestellt. Auf die Darstellung der Sprungantwort der I-Regelung (Bild 1.3.3) wurde hier verzichtet, da diese in dem interessierenden Zeitbereich nur wenig aussagekräftig ist.

PT1-Strecken <i>PT1</i> :	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
PID-Regler <i>PID-T1-Reg</i> :	$K_p=1$ ; Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
Spannungsquelle <i>VSIN</i> :	Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs
Speichern als:	BODE_PID_AC.OPJ
Setup für die Simulation zur Aufnahme des Frequenzgangs:	
	AC-SWEEP
	DECADE
	PTS/DECADE: 100
	START FREQ: 0.1m
	END FREQ: 100

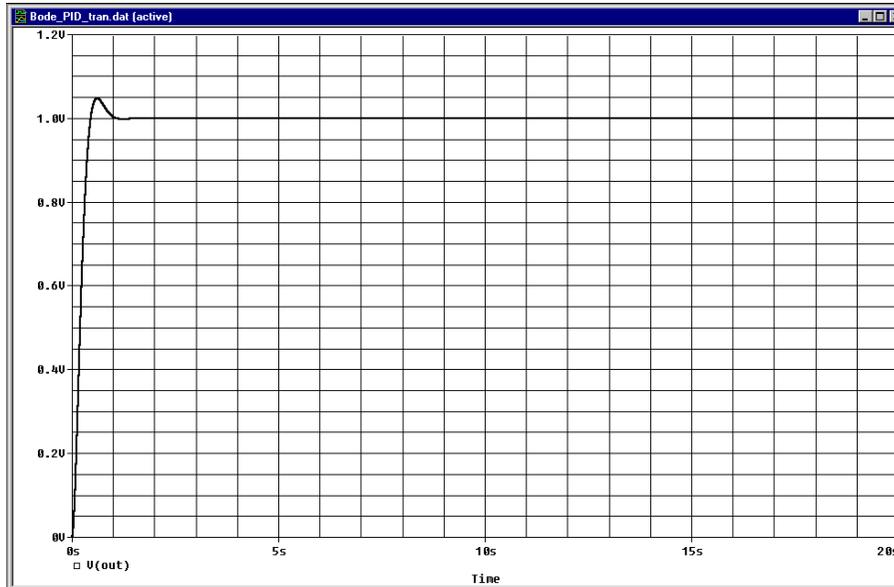


Bild 1.5.3: Sprungantwort der PT3-Strecke mit PID-Regler

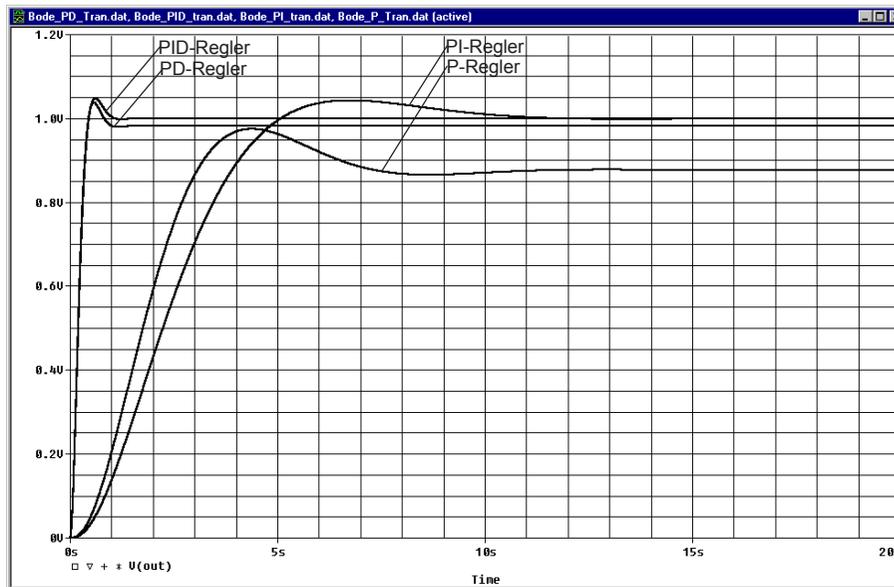


Bild 1.5.4: Sprungantworten der PT3-Strecke mit verschiedenen Reglern

**PT1-Strecken *PT1*:** Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs  
**PID-Regler *PID-T1-Reg*:** Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs  
**Spannungsquelle *VPULSE*:** Attribute lt. Schaltplan, bzw Vorgabe (Defaultwerte) des Attributmenüs

**Speichern als:** BODE\_PID\_TRAN.OPJ

**Setup für die Simulation zur Aufnahme der Sprungantwort:**

TRANSIENT  
 RUN TO TIME 20s  
 MAXIMUM STEP SIZE 10m