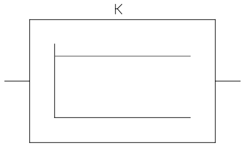
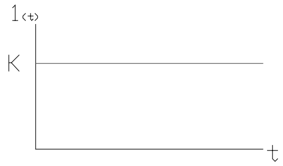
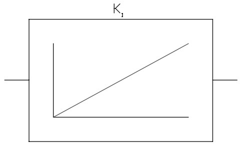
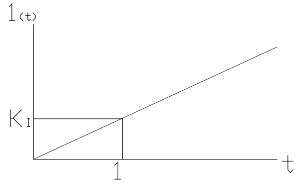
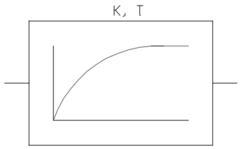
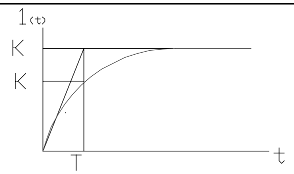
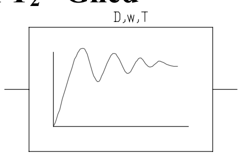
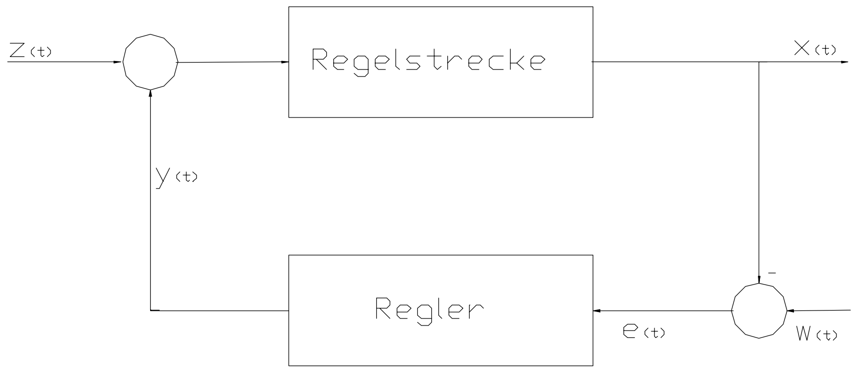
	Diagramm	Funktion	Übergangsfunktion $h_{(t)} = \frac{x_{a(t)}}{x_{e(t)}}$	Übertragungsfunktion $F_{(s)} = \frac{X_{(s)}}{Y_{(s)}}$
P - Glied 		$x_a = K \cdot x_e$	$h_{(t)} = K$	$F_{(s)} = K$
<u>I – Glied</u> 		$x_a = K_I \cdot \int x_e \cdot dt$	$h_{(t)} = K_I \cdot \int 1 \cdot dt$ für $t \geq 1$: $h_{(t)} = K_I \cdot t$	$F_{(s)} = K_I \cdot \frac{1}{s}$
PT_1 –Glied 		$T \cdot \dot{x}_a + x_a = K \cdot x_e$	$h_{(t)} = K \cdot \left(1 - e^{\frac{-t}{T}}\right)$	$F_{(s)} = \frac{K}{1 + s \cdot T}$
PT_2 –Glied 		allgem. (2 versch. Speicher, schwing.-fähig) $\ddot{x}_a + 2 \cdot D \cdot \omega_0 \cdot \dot{x}_a + \omega_0^2 \cdot x_a = K \cdot \omega_0 \cdot x_e$ speziell (2 gleiche Speicher, keine Schw.) $T_1 \cdot T_2 \cdot \ddot{x}_a + (T_1 + T_2) \cdot \dot{x}_a + x_a = K \cdot x_e$		$F_{(s)} = \frac{K \cdot \omega_0^2}{s + 2 \cdot D \cdot \omega_0 \cdot s \cdot \omega_0^2}$

K = stationärer Übertragungsbeiwert
T = Zeitkonstante (Verzögerung)
ω_0 = Eigenkreisfrequenz des ungedämften Systems
D = Dämpfung(sbeiwert)

Aufbau einer Regelung:



$y_{(t)}$: Stellgröße
$z_{(t)}$: Störgröße
→ Eingangsgrößen

$e_{(t)} = w_{(t)} - x_{(t)}$: Regeldifferenz
$x_{(t)}$: Regelgröße = Ausgangsgröße
$x_{(t1)}$: Istwert

$w_{(t)}$: Führungsgröße
bei $w_{(t)}$ =konst.: Sollwert

Kochrezepte:

Modellbildung:

1. Für jedes Bauglied die *entsprechende* „Elementegleichung" gemäß **[Beiblatt 1.6]** aufstellen. Diese beschreiben am betrachteten Bauglied den Zusammenhang zwischen Spannungs- und Flußvariablen. Hierbei, falls notwendig, *Hilfsgrößen* einführen.
2. Hilfsgrößen eliminieren.

   Beachte: Zur Elimination von *k* Hilfsgrößen werden *k+1* Gleichungen benötigt. Wenn nötig Erhaltungssätze der Physik ergänzend anwenden.
3. DGL $x_a = f_{(x_e,t)}$ aufstellen.

Wirkungsplan:

1. Ausgangspunkt, DGL $x_a = f_{(x_e,t)}$, siehe oben
2. DGL nach der *höchsten* Ableitung der **Ausgangsgröße** auflösen.
3. DGL so oft integrieren, bis *keine Ableitungen* der **Eingangsgröße** auftreten. Der *Koeffizient* der Eingangsgröße sollte gleich *„1"* gesetzt werden.
4. WP beginnend mit der **Ausgangsgröße** schrittweise bis zur **Eingangsgröße** entwickeln. Dabei zunächst den Ausdruck mit der *höchsten* Ableitung aus Schritt 2 realisieren. Diesen Ausdruck als Summe aus Eingangsgröße und rückgekoppelter Größe darstellen.

   Beachte: Besteht eine DGL nur aus Spannungs- und Flussvariablen gemäß Beiblatt 1.6, so entspricht die *Ordnung n* der DGL der *Anzahl der Energiespeicher* des beschriebenen Systems.

Beispiele siehe Skript ab Seite 1–25.

Beschreibung linearer Systeme im Bildbereich der Laplace Transformation

Eingangsgröße : $y_{(t)} \circ\!-\!\bullet\, Y_{(s)}$

Ausgangsgröße: $x_{(t)} \circ\!-\!\bullet\, X_{(s)}$

mittels Korrespondenzt. **[Beiblatt 2.2]**

Differentialgleichung: $DGL \circ\!-\!\bullet\, L\{DGL\}$ direkt Umsetzen

Beispiele siehe Skript Seite 027.

Übertragungsfunktion:

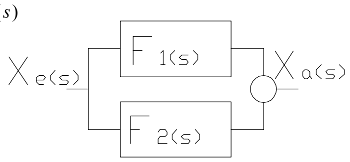
DGL : $a_n \cdot x^n + a_{n-1} \cdot x^{n-1} + \ldots + a_1 \cdot \dot{x} + a_0 \cdot x = b_0 \cdot y + b_1 \cdot \dot{y} + \ldots + b_m \cdot y^m$

L-DGL: $X_{(s)} \cdot \left[a_n \cdot s^n + \ldots + a_1 \cdot s + a_0\right] = Y_{(s)} \cdot \left[b_0 + b_1 \cdot s + b_m \cdot s^m\right]$

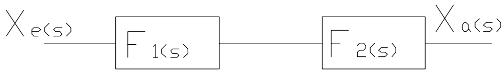
$$F_{(s)} = \frac{X_{(s)}}{Y_{(s)}} = \frac{\sum_{i=0}^{m} b_i \cdot s^i}{\sum_{i=0}^{n} a_j \cdot s^j} = \frac{Z_{(s)}}{N_{(s)}}$$

$F_{(s)}$ = Übertragungsfunktion
$Z_{(s)}$ = Zählerpolynom
$N_{(s)}$ = Nennerpolynom
$Y_{(s)}$ = Eingangsgröße
$X_{(s)}$ =Ausgangsgröße

Parallelschaltung: $F_{s(s)} = F_{1(s)} + F_{2(s)}$



Reihenschaltung: $F_{s(s)} = F_{1(s)} \cdot F_{2(s)}$



Störübertragungsfunktion:

$$F_{z(s)} = \frac{X_{(s)}}{Z_{(s9}} = \frac{F_{s(s)}}{1 + F_{R(s)} \cdot F_{s(s)}}$$

Führungsübertragungsfunktion:

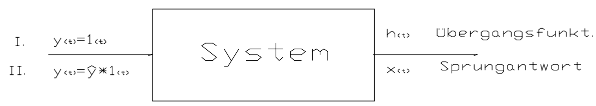
$$F_{w(s)} = \frac{X_{(s)}}{W_{(s)}} = \frac{F_{R(s)} \cdot F_{s(s)}}{1 + F_{R(s)} \cdot F_{s(s)}}$$

<u>Systematisches Verfahren zur Ermittlung der ÜF eines Systems, das aus mehreren Teilsystemem besteht:</u>

1. Ausgangsgrößen aller Summationsstellen als Hilfsgrößen einführen
   => k-Gleichungen.
2. Ausgangsgrößen des Systems in Abhängigkeit der Hilfsgrößen aus 1. darstellen
   =>k+1 Gleichungen.
3. Elimination der k-Hilfsgrößen liefert die gesuchte ÜF.

Beispiele siehe Skript ab Seite 3-27.

<u>Grenzwertsatz:</u>



Für stationärer Werte (t→∞):

I. $h_{(t \to \infty)} = F_{(s \to 0)}$

II. $x_{(t \to \infty)} = \hat{y} \cdot F_{(s \to 0)}$

FürGrenzwerte (t→0):

I. $h_{(t \to 0)} = F_{(s \to \infty)}$

II. $x_{(t \to 0)} = \hat{y} \cdot F_{(s \to \infty)}$

Beispiel siehe Skript Seite 3-15.

<u>stationärer Regelfehler:</u>

Führungsverhalten: $w_{(t)} = \hat{w} \cdot 1_{(t)} \Rightarrow W_{(s)} = \hat{w} \cdot \frac{1}{s}$

$$e_{(t \to \infty)} = \hat{w} - \hat{w} \cdot h_{(t \to \infty)} = \hat{w} \cdot (1 - F_{w(s \to 0)})$$

Störverhalten: $z_{(t)} = \hat{z} \cdot 1_{(t)} \Rightarrow Z_{(s)} = \hat{z} \cdot \frac{1}{s}$

$$e_{(t \to \infty)} = -x_{(t \to \infty)} = -\hat{z} \cdot h_{(t \to \infty)} = -\hat{z} \cdot F_{z(s \to 0)}$$

Stabilität eines Systems (Hurwitz-Kriterium):

mit $F_{s(s)} = \frac{\text{Zählerpolynom}}{\text{Nennerpolynom}}$; **Nennerpolynom:** $a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0$

1. **Alle Koeffizienten des Nennerpolynoms müssen vorhanden und >0 sein.**
2. **a) n = 3 :** $a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0$
   b) n = 4 : Bedingung für n=3 muß erfüllt sein
   und $a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 - a_1^2 \cdot a_4 - a_0 \cdot a_3^2 > 0$

Reglerwert K_R:

Stabiles System für K_R Werte:

1. Hurwitz Kriterium muß erfüllt sein
2. $K_R > 0$, 1. Bedingung
3. $1 + F_{R(s)} \cdot F_{s(s)} = 0$ => Funktion $a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0 = 0$
   In a_0 sind alle Konstanten enthalten!!!
   a) n = 3 : $a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 > 0$
   b) n = 4 : $a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 - a_1^2 \cdot a_4 - a_0 \cdot a_3^2 > 0$
4. $0 < K_R > .....$

$K_{R\,Krit}$ Werte:

1. Hurwitz Kriterium muß erfüllt sein
2. $K_R > 0$, 1. Bedingung
3. $1 + F_{R(s)} \cdot F_{s(s)} = 0$ => Funktion $a_4 \cdot s^4 + a_3 \cdot s^3 + a_2 \cdot s^2 + a_1 \cdot s + a_0 = 0$
   In a_0 sind alle Konstanten enthalten!!!
   a) n = 3 : $a_1 \cdot a_2 - a_0 \cdot a_3 = 0$
   b) n = 4 : $a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 - a_1^2 \cdot a_4 - a_0 \cdot a_3^2 = 0$
4. $K_{RKrit} = ...$

Bode-Diagramm:

1. Differentialgleichung aufstellen:

   z.B.: $\dddot{x} + 3 \cdot \ddot{x} + 1{,}25 \cdot \dot{x} = 10 \cdot y$

2. Übertragungsfunktion ermitteln:

   z.B.: $F_{s(s)} = \dfrac{10}{1 \cdot s^3 + 3 \cdot s^2 + 1{,}25 \cdot s}$

3. ÜF in Produktform umformen (Nullstellen des Nenner Polynoms [Polstellen] ermitteln:

   Form : $(s - s_{p1}) \cdot (s - s_{p2}) \cdot (s - s_{p3}) \cdot .....$

   z.B.: $s_{p1} = 0; \qquad s_{p1} = -2{,}5; \qquad s_{p1} = -0{,}5;$

   $$F_{s(s)} = \frac{10}{(s-0) \cdot (s+2{,}5) \cdot (s+0{,}5)}$$

4. ÜF in Zeitkonstantenform überführen und nach größten T ordnen:

   Form: $(1 + s \cdot T)$

   z.B.:

   $$F_{s(s)} = \frac{10}{(s-0) \cdot (s+2{,}5) \cdot (s+0{,}5)} = \frac{\dfrac{10}{2{,}5 \cdot 0{,}5}}{(s-0) \cdot \dfrac{(s+2{,}5)}{2{,}5} \cdot \dfrac{(s+0{,}5)}{0{,}5}}$$

   $$= \frac{8}{(0-s)} \cdot \frac{1}{(1+s \cdot 2) \cdot (1+s \cdot 0{,}4)}$$

5. ÜF in Funktion ($s \rightarrow j^*\omega$) umformen und in Komponenten zerlegen:

   z.B.: $F_{s(j\omega)} = \dfrac{8}{(0+j\omega)} \cdot \dfrac{1}{(1+j\omega \cdot 2)} \cdot \dfrac{1}{(1+j\omega \cdot 0{,}4)}$

6. Eckfrequenzen bestimmen:

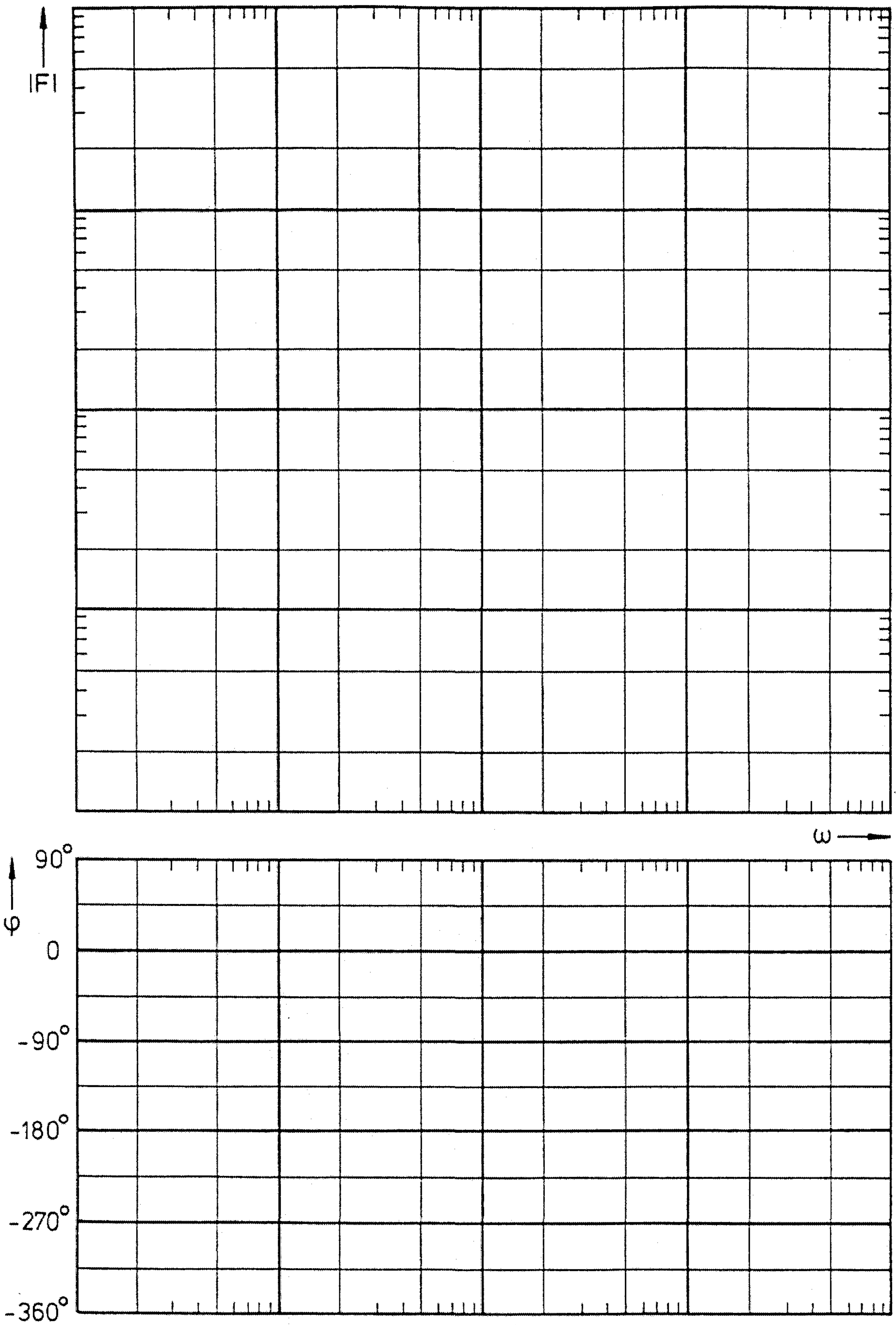
   z.B.: $\omega_{e1} = \dfrac{1}{T_1} = \dfrac{1}{2} = 0{,}5 \qquad \omega_{e2} = \dfrac{1}{T_2} = \dfrac{1}{0{,}4} = 2{,}5$

7. Komponenten identifizieren und mit Hilfe von **[Beiblatt 5.4]** Frequenzgang und Phasengang im Bode-Diagramm darstellen:

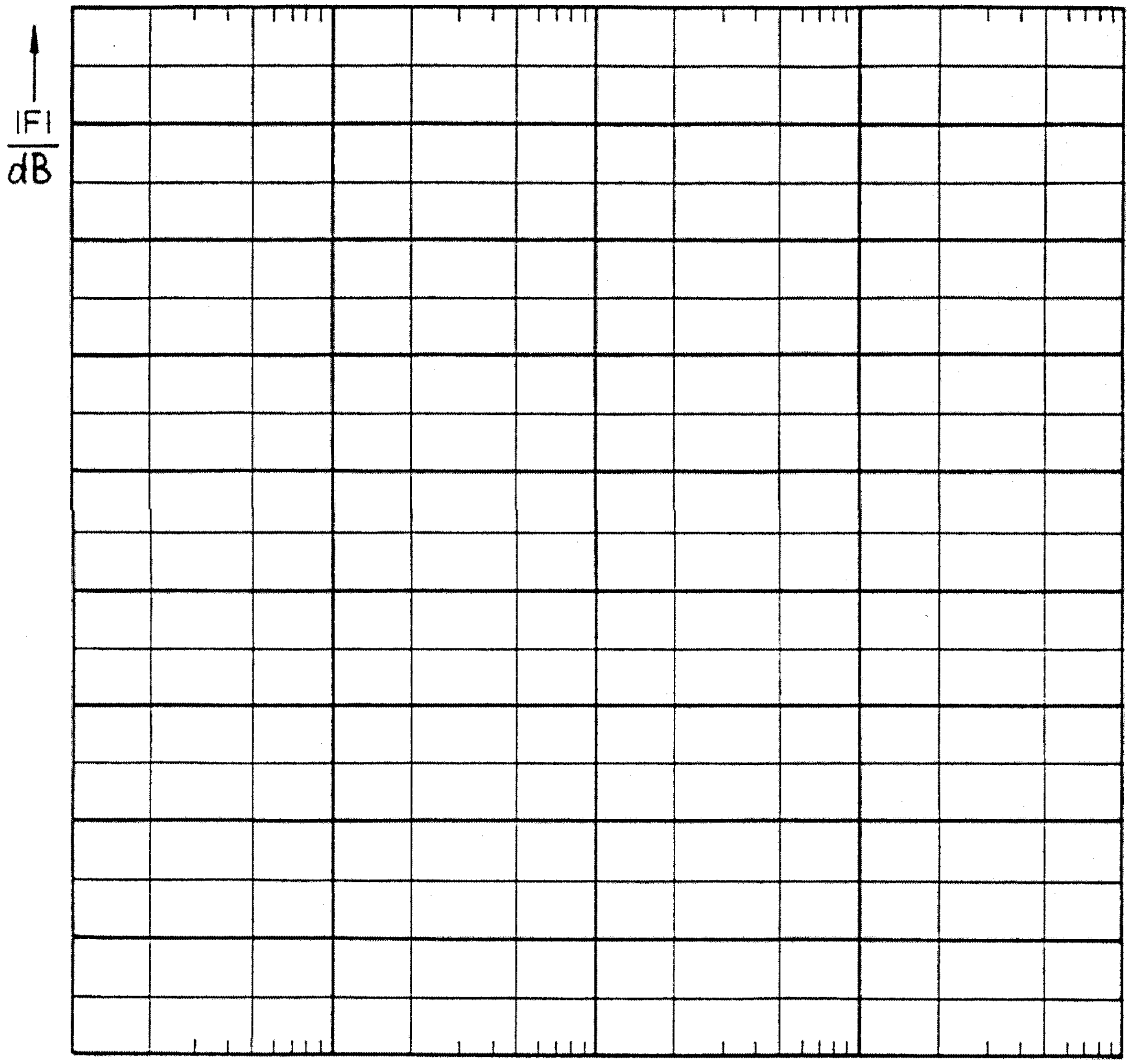
   z.B.: $\dfrac{8}{(0+\mathrm{j}\omega\omega} \cdot \dfrac{1}{(1+\mathrm{j}\omega \cdot 2)} \cdot \dfrac{1}{(1+\mathrm{j}\omega \cdot 0{,}4)}$ Beispiel Bode Diagramm

   $\text{I-Glied} \cdot \text{PT}_1\text{-Glied} \cdot \text{PT}_1\text{-Glied}$ Siehe Skript S. 5-13

   Steigung negativ, wenn T in Nenner (Knick nach „unten“) wie in Bsp.



Bode-Diagramm



Amplitudengang in Dezibel (dB)