

Inhaltsverzeichnis:

Thema	Unterpunkt	Seite
Steuer-/Regelungstechnik	Allgemeine Definitionen	2-3
Allgemeiner Aufbau einer Steuerung	Diagramm	2-4
	Kennzeichen	2-4
Allgemeiner Aufbau einer Regelung	Diagramm	2-4
	Kennzeichen	2-4
	Berechnungen	2-4
Typen von Regelungen	Definition	2-4
Regeltechnische Symbole	Sinnbilder und Erläuterungen	2-5
Zeitverhalten eines Regelkreisgliedes	Definition Sprungantwort	2-6
	Definition Rampenantwort	2-6
Frequenzgang eines Regelkreisgliedes	Definition	2-6
Komplexe Übertragungsfunktion allgemein	Formel	2-6
Amplituden-Frequenzgang allgemein	Formel	2-6
Phasen-Frequenzgang allgemein	Formel	2-6
Komplexe Widerstände von Bauteilen	Tabelle	2-7
Elementares Regelkreisglied (RKG) allgemein	Zeitverhalten allgemein	2-7
	Frequenzverhalten allgemein	2-7
RKG mit P-Verhalten	Übergangsfunktion	2-8
	Diagramm Sprunganwort	2-8
	Kennggröße	2-8
	Übertragungsfunktion	2-8
	Amplitudengang	2-8
	Phasengang	2-8
	Diagramm Amplitudengang	2-9
	Diagramm Phasengang	2-9
RKG mit I-Verhalten	Übergangsfunktion	2-10
	Diagramm Sprunganwort	2-10
	Kenngößen	2-10
	Übertragungsfunktion	2-10
	Amplitudengang	2-10
	Phasengang	2-10
	Diagramm Amplitudengang	2-11
	Diagramm Phasengang	2-11
RKG mit D-Verhalten	Übergangsfunktion	2-12
	Diagramm Sprunganwort	2-12
	Kennggröße	2-12
	Übertragungsfunktion	2-12
	Amplitudengang	2-12
	Phasengang	2-12
	Diagramm Amplitudengang	2-13
	Diagramm Phasengang	2-13
	Diagramm Ortskurve	2-13

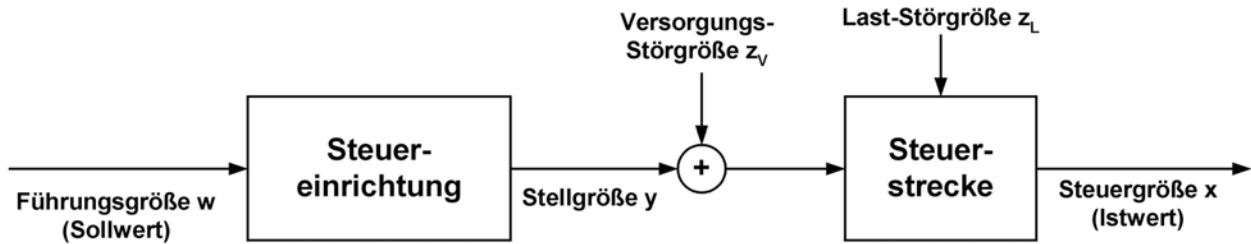
Fortsetzung nächste Seite

Fortsetzung Inhaltverzeichnis:

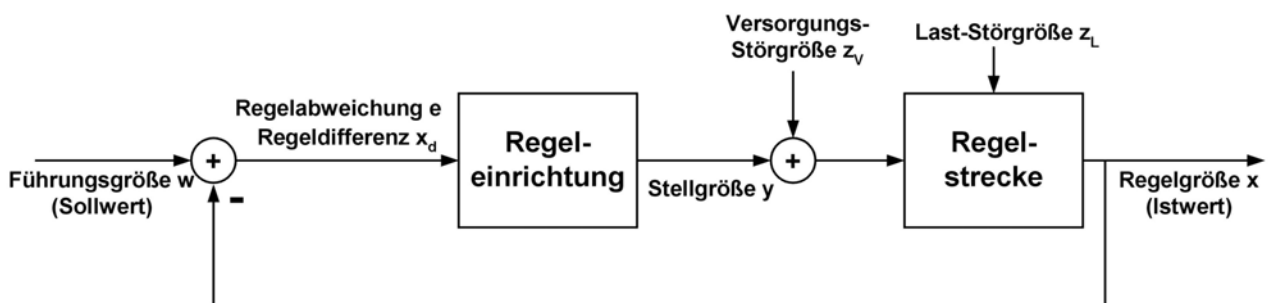
Thema	Unterpunkt	Seite
RKG mit P-T1-Verhalten	Übergangsfunktion	2-14
	Diagramm Sprunganwort	2-14
	KenngroÙe	2-14
	Übertragungsfunktion	2-14
	Amplitudengang	2-14
	Phasengang	2-14
	Diagramm Amplitudengang	2-15
	Diagramm Phasengang	2-15
	Diagramm Ortskurve	2-15
Allgemeine Gleichung für Regelkreisglieder	Diagramm	2-16
	Formel	2-16
Übersicht zusammengesetzte Funktionen	D-T1	2-16
	I-T1	2-16
	P-T2 mit Dämpfung $d > 1$	2-16
	P-T2 mit Dämpfung $d \leq 1$	2-16
	PI	2-17
	PD	2-17
	PID	2-17
	PI-T1	2-17
PD-T1	2-18	
Erzeugen einer logarithmischen Einteilung	Hilfestellung	2-18

Allgemeine Definitionen:

- **Steuern:**
Vorgang bei dem eine oder mehrere Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigenen Gesetzmäßigkeiten beeinflussen. Kennzeichen: „offener Wirkungsablauf“
- **Regeln:**
Vorgang bei dem eine physikalische Größe, die Regelgröße, fortlaufend erfasst und durch Vergleich mit der Führungsgröße im Sinne einer Angleichung an diese beeinflusst wird. Kennzeichen: „geschlossener Wirkungsablauf“
- **Führungsgröße (Sollwert) w:**
Eine von außen vorgegebene und von der Steuerung / Regelung nicht beeinflusste Größe, die den (zeitabhängigen) Sollwertverlauf festlegt.
- **Vergleicher:**
Bauteil zur Bildung der Regeldifferenz bzw. der Regelabweichung
- **Regeldifferenz e:**
Die Differenz zwischen Istwert x_i und Sollwert w . $e = w - x$
- **Regelabweichung x_d :**
Die Differenz zwischen Sollwert w und Istwert x_i . $x_d = x - w$
- **Steuer- / Regeleinrichtung:**
Alle Bauteile, welche die Beeinflussung der Strecke über das Stellglied bewirken.
- **Stellgröße y:**
Ist das Ausgangssignal des Stellgliedes und das Eingangssignal der Steuer- / Regelstrecke.
- **Strecken-Eingangsgröße \bar{y} :**
Ist die Summe aus der Stellgröße y und der Versorgungs-Störgröße z_v
- **Last-Störgröße z_L , Versorgungs-Störgröße z_v**
Von außen wirkende Größen, welche die beabsichtigte Beeinflussung innerhalb der Steuer- / Regelstrecke beeinflussen.
- **Steuer- / Regelstrecke:**
Derjenige Teil einer Anlage, innerhalb dessen eine Beeinflussung der Steuer- / Regelgröße durch das Stellglied erfolgen kann.
- **Regel- / Steuergröße (Istwert) x:**
Diejenige Größe, die im Sinne einer Regelung / Steuerung beeinflusst werden soll.
Bei der Regelung wird sie laufend mit der Führungsgröße (Sollwert) verglichen.

Allgemeiner Aufbau einer Steuerung:

Kennzeichen für eine Steuerung ist der „**offene Wirkungsablauf**“

Allgemeiner Aufbau einer Regelung (einschleifig):

Kennzeichen für eine Regelung ist ein „**geschlossener Wirkungsablauf**“

$$e = w - x$$

$$x_d = x - w$$

e = Regelabweichung

x_d = Regeldifferenz

w = Führungsgröße bzw. Sollwert

x_i = Regelgröße bzw. Istwert

Typen von Regelungen:

- **Festwertregelung:**
Angleichung des Istwertes der Regelgröße x an einen von außen vorgegebenen zeitlich konstanten Sollwert
- **Folgeregelung (Zeitplanregelung):**
Angleichung des Istwertes der Regelgröße x an, einen von außen vorgegebenen, durch die zeitveränderliche Führungsgröße w gesteuerten und damit veränderlichen Sollwert.

Regelungstechnische Symbole:

Simmbild	Erläuterung	Sinnbild	Erläuterung
	Signalleitung		Stellventil mit Stellantrieb
	Dampf		Stellventil mit Membranantrieb
	Wasser, Kondensat Speise-, Kühlwasser		Dreiwegeventil
	brennbares Gas		Absperrklappe
	Luft		Fühler allgemein
	Kohle		Fühler für Druck
	Öl		Fühler für Temperatur
	Schlacke, Asche		Fühler für Durchfluß
	Rauchgas, Abgas		Fühler für Drehzahl
	Überdruckbehälter		Fühler für Höhenstand
	Turbine		Verstärker allgemein
	Wärmeaustauscher		Signalumformer
	Einspritzkühler		Einsteller
	Kondensator		Regler
	Stromerzeuger		Übertragungsblock
	Motor		Block, gekennzeichnet durch Übergangsfkt.
	Flüssigkeitspumpe		Block, gekennzeichnet durch Übertragungsfkt.
	Verdichter		Block, gekennzeichnet durch Kurzsymbole
	Zuteiler		Nichtlinearer Block
	Mühle		Summationsstelle
	Brenner		Verzweigungsstelle
	Ventil, allgemein		

Zeitverhalten eines Regelkreisgliedes:

Unter Zeitverhalten eines Übertragungsgliedes (Regelkreisglied) versteht man den zeitlichen Verlauf der Ausgangsgröße bei bestimmter Änderung der Eingangsgröße. Dieser Verlauf heißt „Antwort des Gliedes“. Es gibt 2 verschiedene Antworten:

- **die Sprungantwort:** (für P, I, und T-Glieder)
Die Eingangsgröße wird sprunghaft von 0 auf einen Endwert x_e verändert.
Für $x_e = 1$ heißt der Sprung „Einheitssprung“
- **die Rampenantwort:** (für D-Glieder)
Die Eingangsgröße steigt stetig mit der gleichen Änderungsgeschwindigkeit $\frac{\Delta x_E}{\Delta t}$ an.

Frequenzverhalten eines Regelkreisgliedes:

Als Eingangssignal des Regelkreisgliedes wird eine, in der Amplitude konstante und in der Frequenz veränderliche, Sinusschwingung angelegt.

Als Ausgangssignal ergibt sich wiederum ein Sinussignal, das meist in der Amplitude und Phasenlage verändert ist. Daraus kann man Rückschlüsse auf das Frequenzverhalten des Gliedes ziehen.

Komplexe Übertragungsfunktion:

$$\underline{F}(j \cdot \omega) = \frac{x_a}{x_e}$$

$\underline{F}(j \cdot \omega)$ = komplexe Übertragungsfunktion (Ohne Einheit !!)

x_a = komplexe Ausgangsgröße

x_e = komplexe Eingangsgröße

Amplituden-Frequenzgang allgemein:

$$|\underline{F}(j \cdot \omega)| = \frac{|x_a|}{|x_e|} = \frac{\sqrt{\operatorname{Re}\{x_a\}^2 + \operatorname{Im}\{x_a\}^2}}{\sqrt{\operatorname{Re}\{x_e\}^2 + \operatorname{Im}\{x_e\}^2}}$$

$|\underline{F}(j \cdot \omega)|$ = Betrag der komplexe Übertragungsfunktion (Ohne Einheit !!)

$|x_a|$ = Betrag der komplexen Ausgangsgröße

$\operatorname{Re}\{x_a\}$ = Realanteil der komplexen Ausgangsgröße

$\operatorname{Im}\{x_a\}$ = Imaginäranteil der komplexen Ausgangsgröße

$|x_e|$ = Betrag der komplexen Eingangsgröße

$\operatorname{Re}\{x_e\}$ = Realanteil der komplexen Eingangsgröße

$\operatorname{Im}\{x_e\}$ = Imaginäranteil der komplexen Eingangsgröße

Phasen-Frequenzgang allgemein:

$$\varphi(j \cdot \omega) = \arctan\left(\frac{\operatorname{Im}\{\underline{F}(j \cdot \omega)\}}{\operatorname{Re}\{\underline{F}(j \cdot \omega)\}}\right)$$

RAD einstellen !!!

$\varphi(j \cdot \omega)$ = Phasenwinkel der komplexen Übertragungsfunktion

$\operatorname{Im}\{\underline{F}(j \cdot \omega)\}$ = Imaginäranteil der komplexen Übertragungsfunktion

$\operatorname{Re}\{\underline{F}(j \cdot \omega)\}$ = Realanteil der komplexen Übertragungsfunktion

Komplexe Widerstände von Bauteilen:

R = Widerstand in Ω
 G = Leitwert in S
 L = Induktivität in H
 C = Kapazität in F

	Scheinwiderstand Z	Scheinleitwert Y
Widerst.	R	$G = \frac{1}{R}$
Spule	$j\omega L$	$\frac{1}{j\omega L}$
Kondens.	$\frac{1}{j\omega C}$	$j\omega C$

Elementares Regelkreisglied (RKG) allgemein:



Folgende Kenngrößen sind für die Bestimmung des Verhaltens des Regelkreisgliedes ausschlaggebend:

Zeitverhalten (= Übergangsfunktion, Sprungantwort)

$$h(t) = \frac{x_A(t)}{x_E(t)} \quad x_A(t) = h(t) \cdot x_E(t)$$

$h(t)$ = Übergangsfunktion des RKG (Sprungantwort)
 $x_E(t)$ = Eingangsgröße des RKG
 $x_A(t)$ = Ausgangsgröße des RKG

Frequenzverhalten (= Übertragungsfunktion)

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{x}_A(j\omega)}{\underline{x}_E(j\omega)} \quad |\underline{F}(j\omega)| = \frac{\sqrt{\text{Re}\{\underline{x}_A\}^2 + \text{Im}\{\underline{x}_A\}^2}}{\sqrt{\text{Re}\{\underline{x}_E\}^2 + \text{Im}\{\underline{x}_E\}^2}} \quad \varphi(j\omega) = \arctan\left(\frac{\text{Im}\{\underline{F}(j\omega)\}}{\text{Re}\{\underline{F}(j\omega)\}}\right) \text{ RAD !!!}$$

$\underline{F}(j\omega)$ = komplexe Übertragungsfunktion in Abhängigkeit von der Kreisfrequenz ω
 $|\underline{F}(j\omega)|$ = Amplitudengang der Übertragungsfunktion
 $\varphi(j\omega)$ = Phasengang der Übertragungsfunktion

$\underline{x}_E(j\omega)$ = komplexes Eingangssignal des RKG
 $\underline{x}_A(j\omega)$ = komplexes Ausgangssignal des RKG

RKG mit P-Verhalten:Übergangsfunktion $h(t)$:

$$h(t) = K_p$$

$$\frac{x_A(t)}{x_E(t)} = K_p \quad x_A(t) = K_p \cdot x_E(t)$$

Kenngröße: K_p Übertragungsfunktion $F(j\omega)$:

$$\underline{F}(j\omega) = K_p \quad \underline{F}(p) = K_p$$

$$(K_p)_{dB} = 20 \cdot \log(K_p)$$

Amplitudengang (für Bodediagramm):

$$|\underline{F}(j\omega)| = K_p$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \log(|F(j\omega)|) \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 20 \cdot \log(K_p)$$

Phasengang (für Bodediagramm):

$$\varphi(\omega) = 0^\circ$$

$h(t)$ = Übergangsfunktion

K_p = Proportionalbeiwert **Ohne Einheit und Zeitunabhängig !!!!**

$(K_p)_{dB}$ = Proportionalbeiwert in dB

$x_E(t)$ = Eingangsgröße des RKG

$x_A(t)$ = Ausgangsgröße des RKG (Sprungantwort)

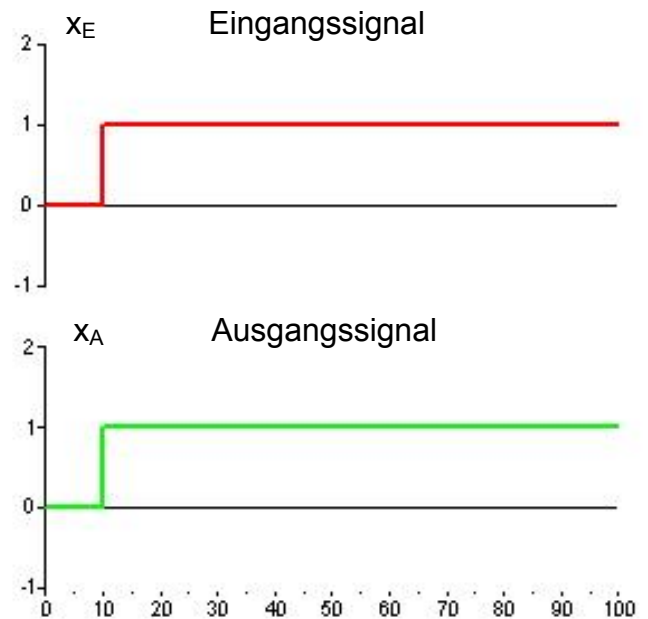
$\underline{F}(j\omega)$ = komplexe Übertragungsfunktion des RKG

$\underline{F}(p)$ = allgemeine Übertragungsfunktion des RKG

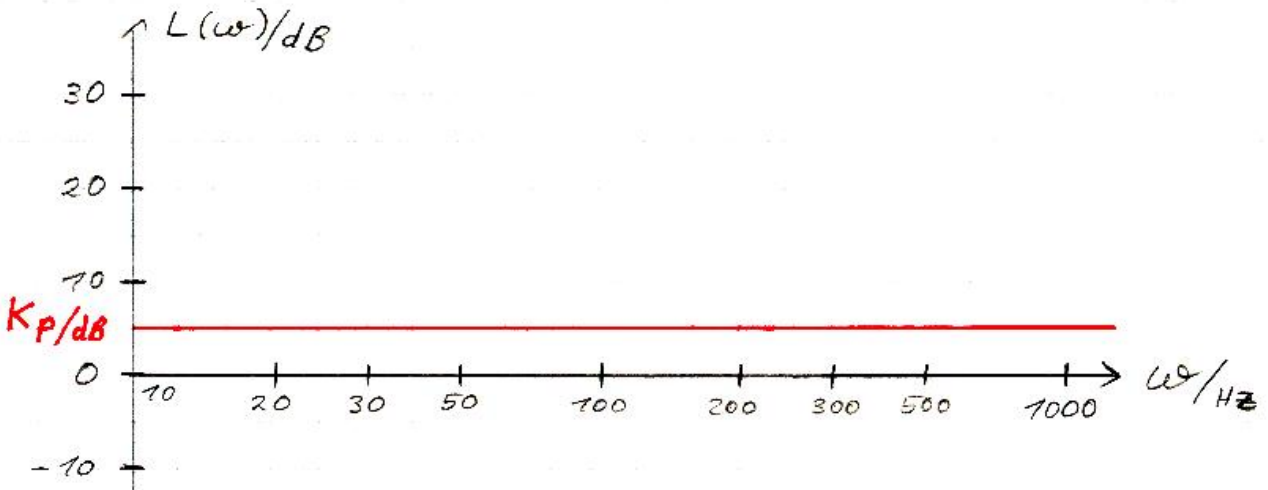
$|\underline{F}(j\omega)|$ = Amplitudengang des RKG

$L(\omega)$ = Amplitudengang des RKG in dB

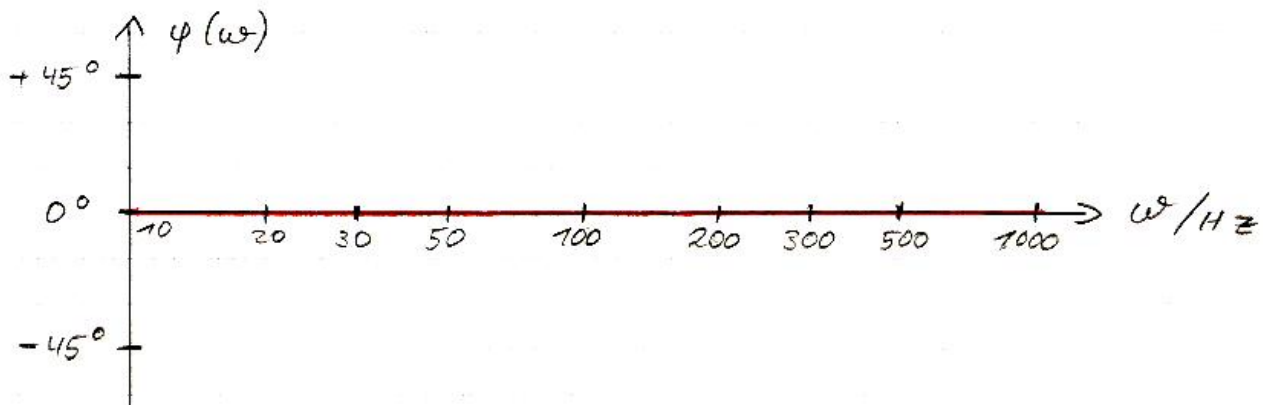
$\varphi(j\omega)$ = Phasengang des RKG in $^\circ$



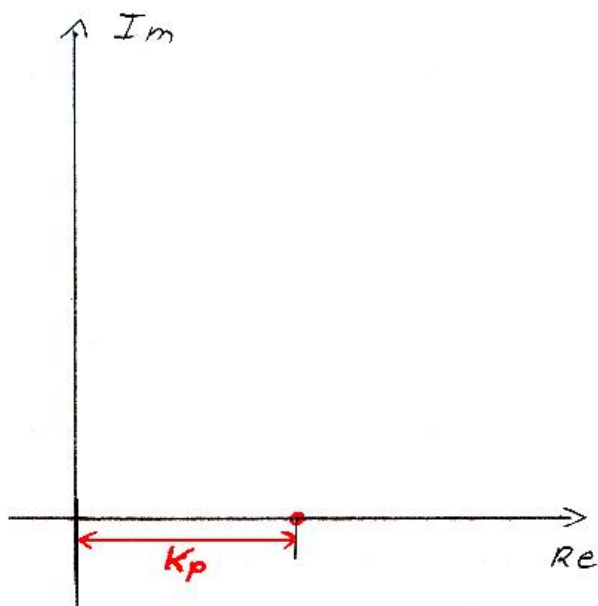
Amplitudengang P-Verhalten idealisiert:



Phasengang P-Verhalten idealisiert:



Ortskurve P-Verhalten idealisiert:



RKG mit I-Verhalten:

$$x_A(t) = \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t x_E(t) \cdot dt$$

Übergangsfunktion $h(t)$:

$$h(t) = K_I \cdot t$$

$$\frac{\Delta x_A}{x_E} = K_I \cdot \Delta t$$

$$\Delta x_A = K_I \cdot \Delta t \cdot x_E$$

Kenngößen: K_I , T_I **Übertragungsfunktion $F(j\omega)$:**

$$F(j\omega) = \frac{1}{j\omega} \cdot K_I$$

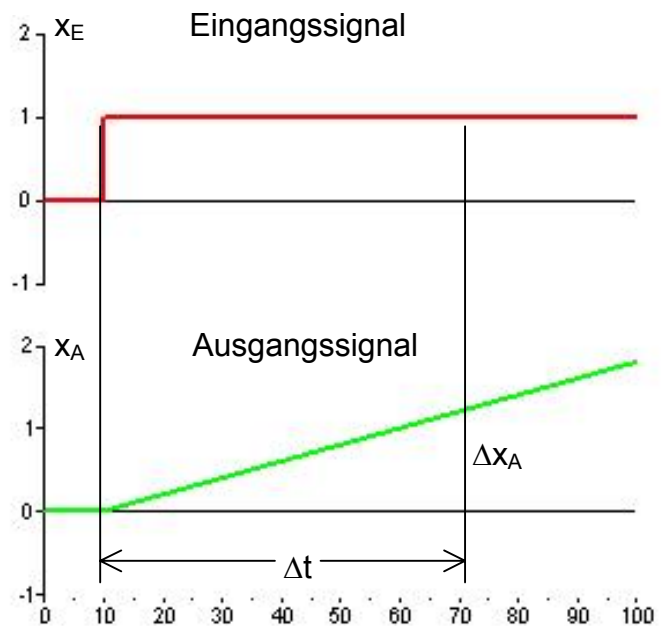
$$F(p) = \frac{1}{p} \cdot K_I$$

$$K_I = \frac{1}{T_I}$$

$$\omega_D = K_I$$

$$\omega_D = \frac{1}{T_I}$$

$$v_{\max} = \frac{x_{e\max}}{T_I}$$

**Amplitudengang (für Bodediagramm):**

$$|F(j\omega)| = \frac{1}{\omega} \cdot K_I$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \log(|F(j\omega)|) \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{K_I}{\omega}\right) = 20 \cdot \log(K_I) - 20 \cdot \log(\omega)$$

Phasengang (für Bodediagramm):

$$\varphi(\omega) = -90^\circ$$

$h(t)$ = Übergangsfunktion

K_I = Integrierbeiwert in $\frac{1}{s}$

T_I = Integrationszeit in s

ω_D = Durchtrittskreisfrequenz in $\frac{1}{s}$ bei der $L(\omega) = 0\text{dB}$ ist

v_{\max} = maximale Änderungsgeschwindigkeit in $\frac{1}{s}$

x_E = Eingangsgröße des RKG (konstant)

$x_{e\max}$ = maximale Eingangsgröße

Δx_A = Änderung der Ausgangsgröße des RKG (Steigung)

Δt = Zeitspanne in s

$F(j\omega)$ = komplexe Übertragungsfunktion des RKG

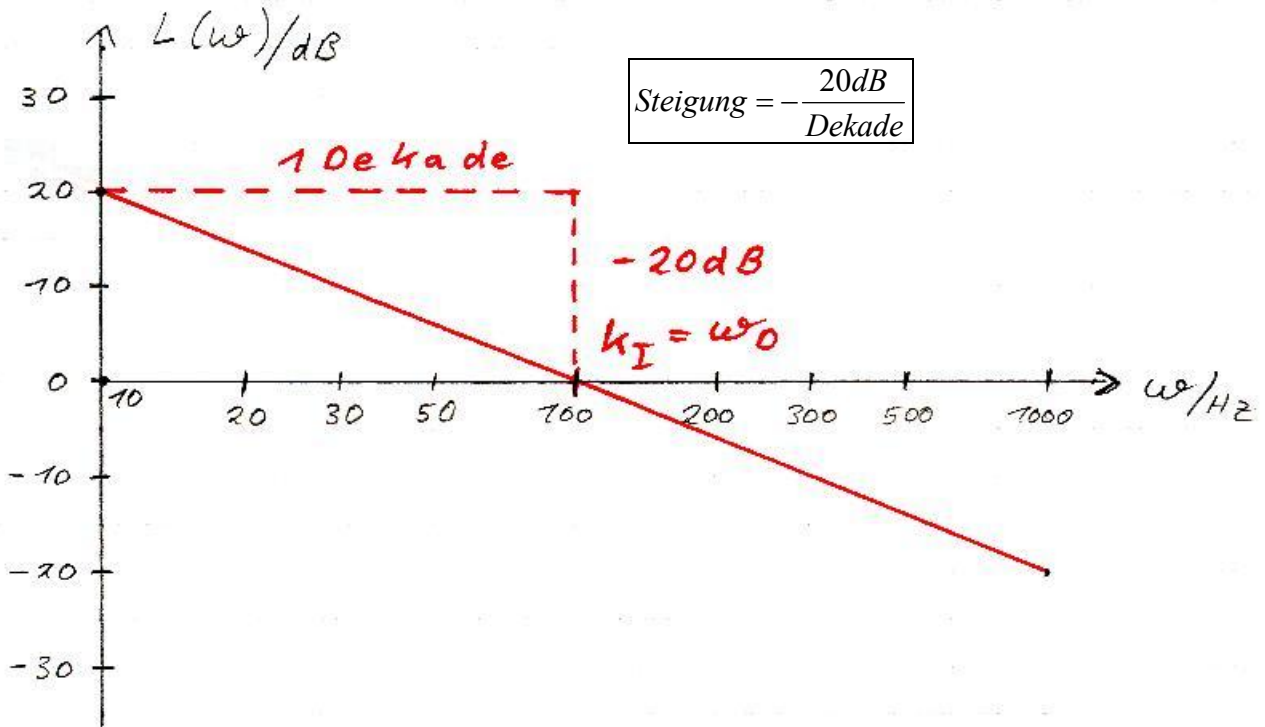
$F(p)$ = allgemeine Übertragungsfunktion des RKG

$|F(j\omega)|$ = Amplitudengang des RKG

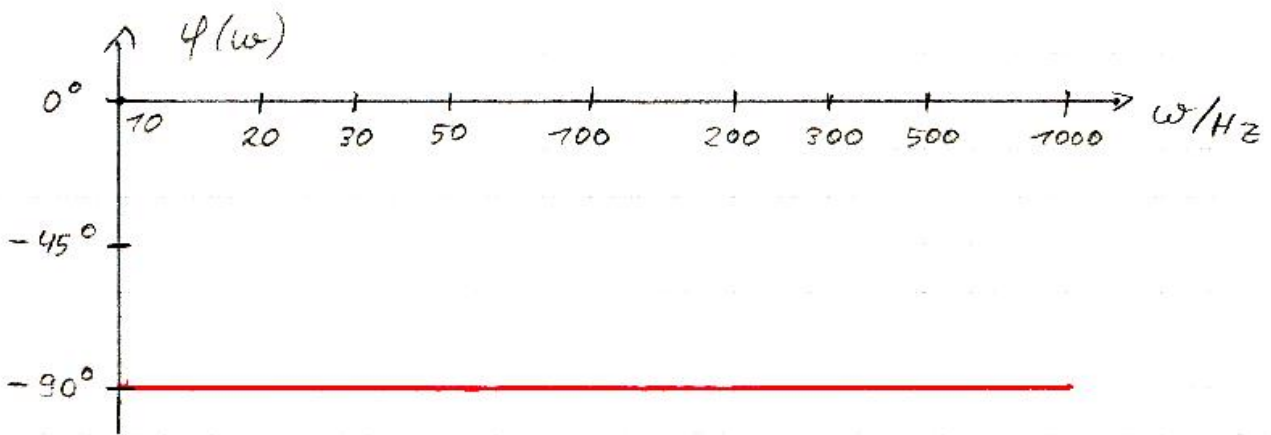
$L(\omega)$ = Amplitudengang des RKG in dB

$\varphi(j\omega)$ = Phasengang des RKG in $^\circ$

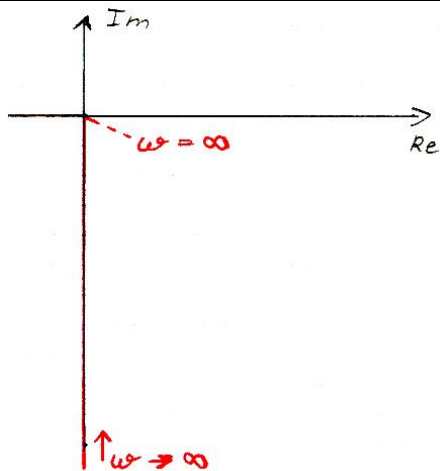
Amplitudengang I-Verhalten idealisiert:



Phasengang I-Verhalten idealisiert:



Ortskurve I-Verhalten idealisiert:



RKG mit D-Verhalten:

$$x_A(t) = K_D \cdot \frac{x_E(t)}{dt}$$

Übergangsfunktion:

$$x_A = K_D \cdot \frac{\Delta x_E}{\Delta t}$$

Da beim D-Verhalten die Sprungantwort keine Aussage über das Verhalten des RKG zulässt, wird hier eine Rampenantwort verwendet.

Kenngröße: K_D **Übertragungsfunktion $F(j\omega)$:**

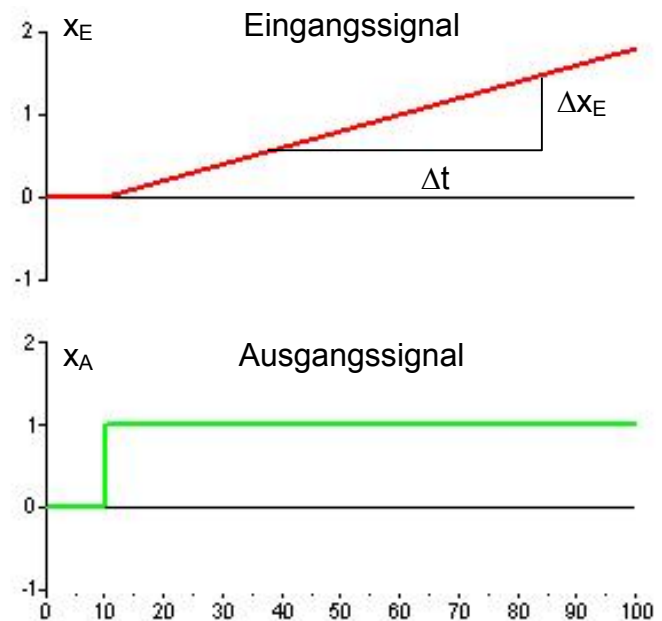
$$F(j\omega) = j\omega \cdot K_D$$

$$F(p) = p \cdot K_D$$

$$K_D = \frac{1}{\omega_D}$$

$$\omega_D = \frac{1}{K_D}$$

$$K_D = \frac{x_A}{\frac{\Delta x_E}{\Delta t}}$$

**Amplitudengang (für Bodediagramm):**

$$|F(j\omega)| = \omega \cdot K_D$$

$$L(\omega) = 20 \cdot \log(|F(j\omega)|) \Rightarrow L(\omega) = 20 \cdot \log(\omega \cdot K_D) = 20 \cdot \log(K_D) + 20 \cdot \log(\omega)$$

Phasengang (für Bodediagramm):

$$\varphi(\omega) = +90^\circ$$

$h(t)$ = Übergangsfunktion

K_D = Differenzierbeiwert in s

ω_D = Durchtrittskreisfrequenz in $\frac{1}{s}$ bei der $L(\omega) = 0\text{dB}$ ist

Δx_E = Änderung der Eingangsgröße des RKG während Δt

Δt = Zeitspanne in s

x_A = Ausgangsgröße des RKG (Rampenantwort)

$F(j\omega)$ = komplexe Übertragungsfunktion des RKG

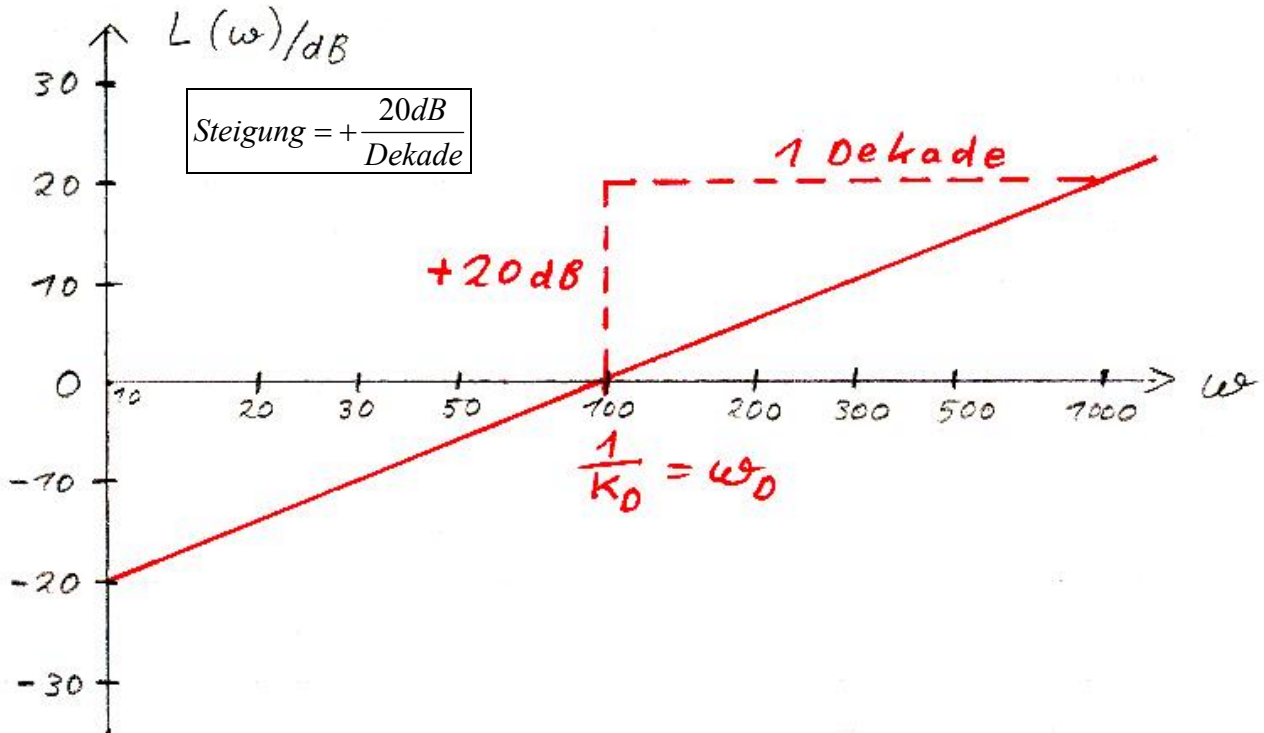
$F(p)$ = allgemeine Übertragungsfunktion des RKG

$|F(j\omega)|$ = Amplitudengang des RKG

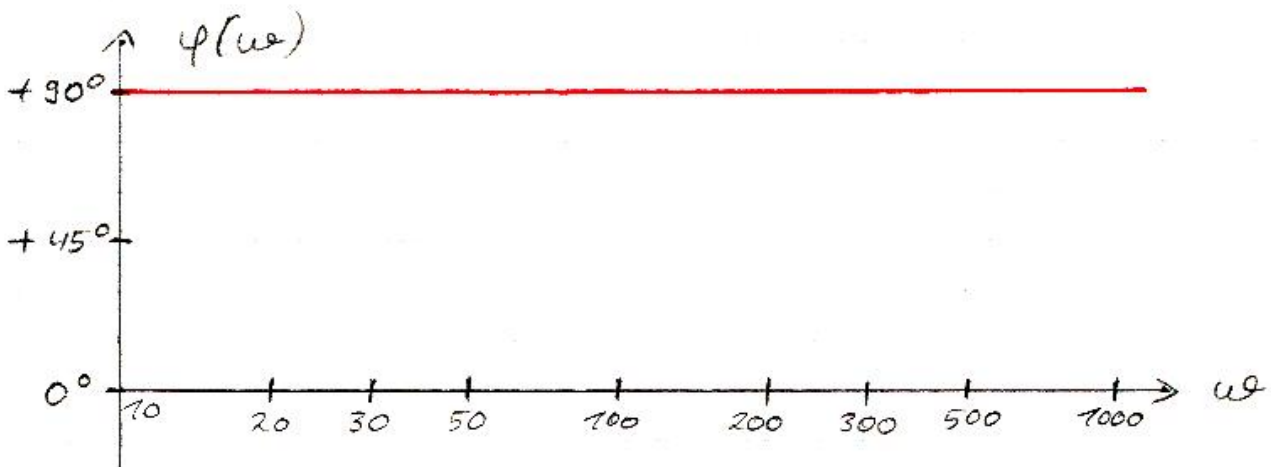
$L(\omega)$ = Amplitudengang des RKG in dB

$\varphi(j\omega)$ = Phasengang des RKG in $^\circ$

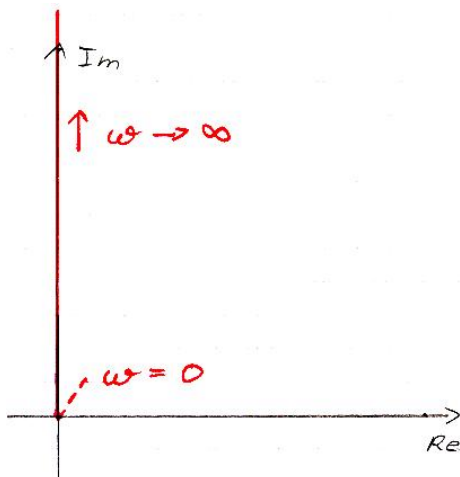
Amplitudengang D-Verhalten idealisiert:



Phasengang D-Verhalten idealisiert:



Ortskurve D-Verhalten idealisiert:



RKG mit P-T1-Verhalten:

$$x_A(t) = x_E(t) \cdot K_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

Übergangsfunktion:

$$h(t) = K_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

$$\frac{x_A(t)}{x_E} = K_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

$$x_A(t) = x_E \cdot K_1 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_1}}\right)$$

Kenngröße: K_1 , T_1 **Übertragungsfunktion $F(j\omega)$:**

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{K_1}{1 + j\omega \cdot T_1}$$

$$F(p) = \frac{K_1}{1 + p \cdot T_1}$$

$$(K_1)_{dB} = 20 \cdot \log(K_1)$$

$$\omega_E = \frac{1}{T_1}$$

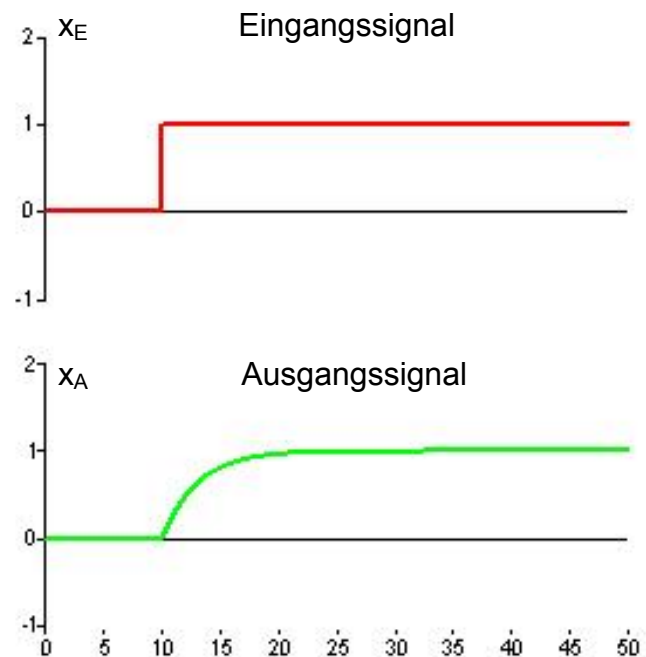
Amplitudengang (für Bodediagramm):

$$|\underline{F}(j\omega)| = \frac{K_1 \cdot [1 - (\omega \cdot T_1)]}{1 + (\omega \cdot T_1)^2}$$

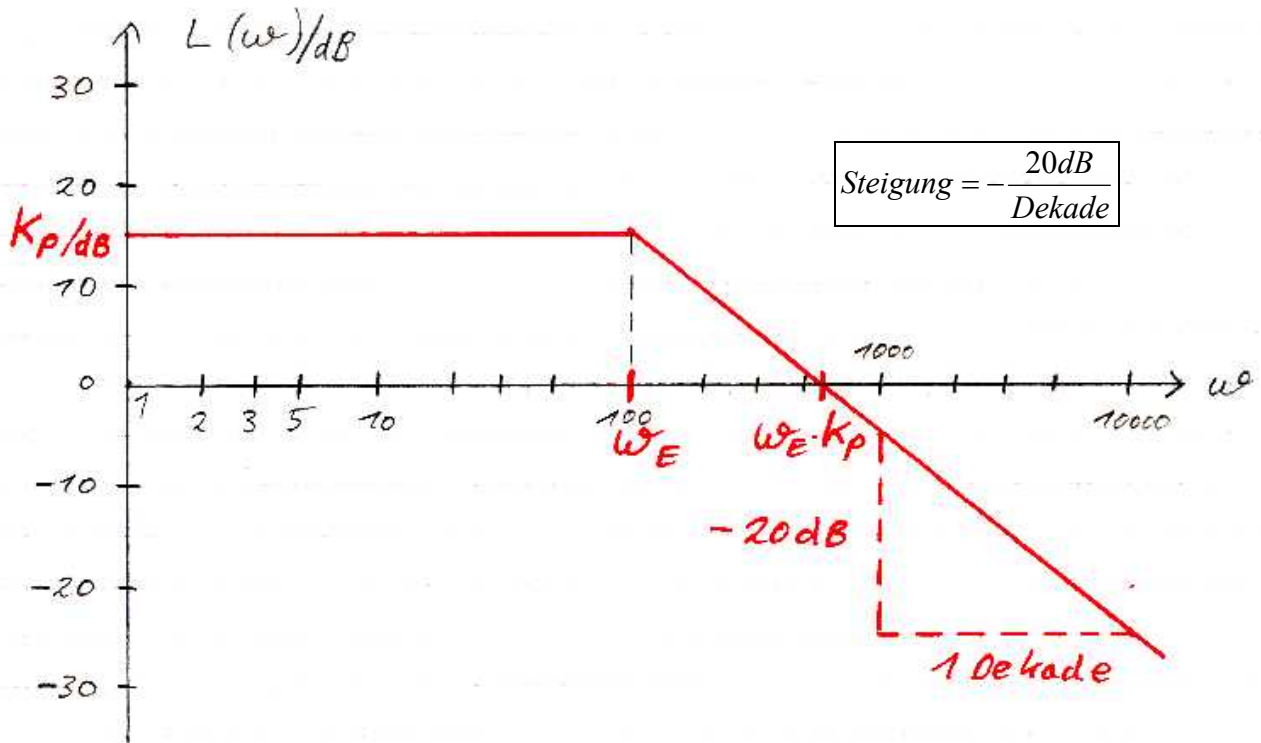
$$L(\omega) = 20 \cdot \log(|\underline{F}(j\omega)|) \quad \Rightarrow \quad L(\omega) = 20 \cdot \log\left(\frac{K_1 \cdot [1 - (\omega \cdot T_1)]}{1 + (\omega \cdot T_1)^2}\right)$$

Phasengang (für Bodediagramm):

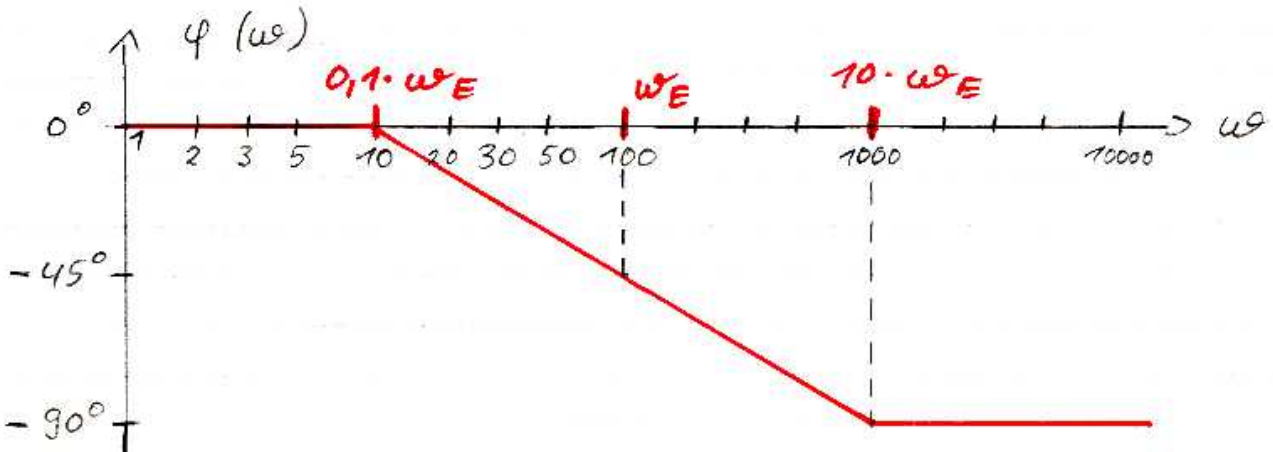
$$\varphi(\omega) = -\arctan(\omega \cdot T_1)$$

RAD einstellen !!!h(t) = Übergangsfunktion K_1 = Proportionalbeiwert. **Ohne Einheit und Frequenzunabhängig !!!** T_1 = Zeitkonstante in s x_E = Eingangsgröße des RKG x_A = Ausgangsgröße des RKG (Sprungantwort) $\underline{F}(j\omega)$ = komplexe Übertragungsfunktion des RKG $F(p)$ = allgemeine Übertragungsfunktion des RKG $|\underline{F}(j\omega)|$ = Amplitudengang des RKG $L(\omega)$ = Amplitudengang des RKG in dB $\varphi(j\omega)$ = Phasengang des RKG in °

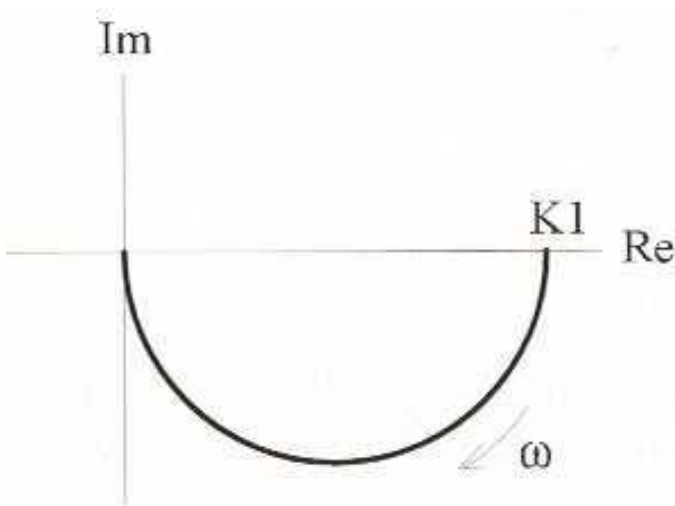
Amplitudengang P-T1-Verhalten idealisiert:



Phasengang P-T1-Verhalten idealisiert:



Ortskurve P-T1-Verhalten idealisiert:



Allgemeine Gleichung für elementare Regelkreisglieder (RKG):

In die allgemeine Gleichung werden die Kenngrößen des jeweils gegebenen RKG eingesetzt. Die übrigen Faktoren werden 0 gesetzt.

Der Index für K_P wird oft auch als Zahl angegeben, die das Zeitverhalten widerspiegelt.
Bsp.: Für P-T2 werden die Kennwerte K_2 , T_1 und T_2 angegeben.

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{K_P + \left(\frac{1}{j\omega} \cdot K_I\right) + (j\omega \cdot K_D)}{1 + [(j\omega) \cdot T_1] + [(j\omega)^2 \cdot T_2^2] + \dots + [(j\omega)^n \cdot T_n^n]}$$

$$F(p) = \frac{K_P + \left(\frac{1}{p} \cdot K_I\right) + (p \cdot K_D)}{1 + (p \cdot T) + (p^2 \cdot T_2^2) + \dots + (p^n \cdot T_n^n)}$$

$$p = j\omega + \sigma$$

$\underline{F}(j\omega)$ = Komplexe Übertragungsfunktion des RKG

$F(p)$ = Allgemeine Übertragungsfunktion des RKG

K_P = Proportionalbeiwert. **Ohne Einheit und frequenzunabhängig !!!**

K_I = Integrierbeiwert in $\frac{1}{s}$

K_D = Differenzierbeiwert in s

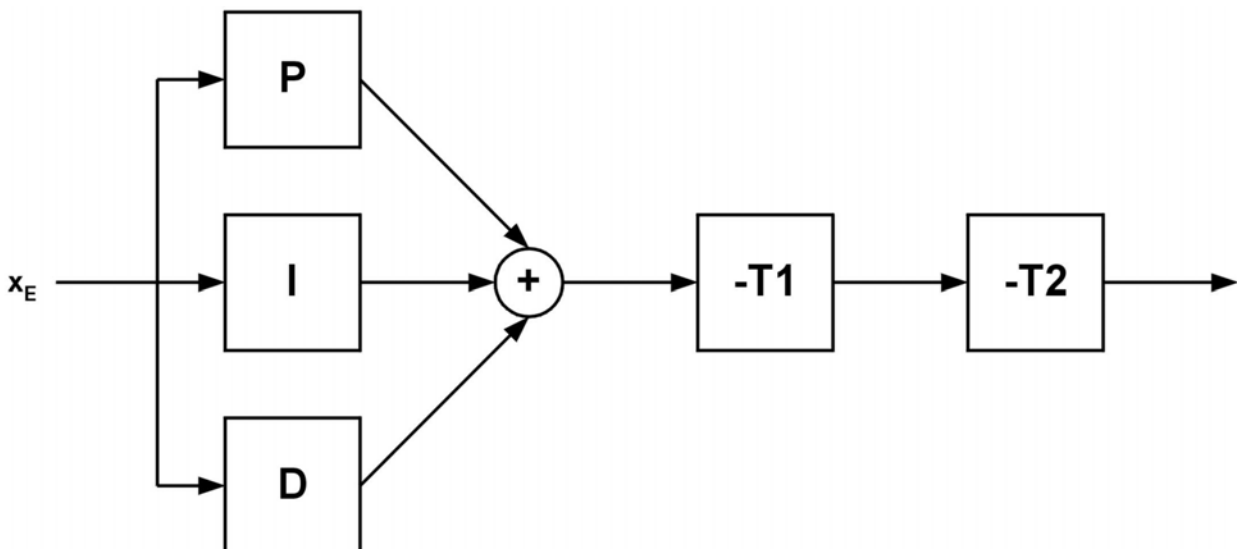
T_1 = 1. Zeitkonstante in s

T_2^2 = 2. Zeitkonstante in s^2

T_n = n. Zeitkonstante

n = Grad der Zeitfunktion

σ = Phasenverschiebung in °

Diagramm für allgemeine Gleichung:

Übersicht zusammengesetzte Funktionen – D-T1, I-T1, P-T2:

Glied	Übertragungsfunktion Frequenzgang	Bode- Diagramm Amplituden-/ Phasengang	Ortskurve	Übergangsfunktion h(t)	Bemerkungen
D-T1	$F(j\omega) = \frac{j\omega K_D}{1 + j\omega T_1}$ $F(p) = \frac{pK_D}{1 + pT_1}$			$h(t) = \frac{K_D}{T_1} \cdot e^{-t/T_1}$	<p>T1: Zeitkonstante</p> <p>Kennwerte: KD; T1</p>
I-T1	$F(j\omega) = \frac{K_I}{j\omega} \frac{1}{1 + j\omega T_1}$ $F(p) = \frac{K_I}{p} \frac{1}{1 + pT_1}$			<p>Steigung: K_I</p>	<p>T1: Zeitkonstante</p> <p>Kennwerte: KI; T1</p>

Glied	Übertragungsfunktion Frequenzgang	Bode- Diagramm Amplituden-/ Phasengang	Ortskurve	Übergangsfunktion h(t)	Bemerkungen
P-T2 (d ≥ 1)	$F(j\omega) = \frac{K1_a \cdot K1_b}{1 + j\omega T1_a} \cdot \frac{K2}{1 + j\omega T1_b} \cdot \frac{1}{1 + j\omega T1 + (j\omega)^2 T2^2}$ $F(p) = \frac{K1_a \cdot K1_b}{1 + pT1_a} \cdot \frac{K2}{1 + pT1_b} \cdot \frac{1}{1 + pT1 + p^2 T2^2}$			<p>Tg: Ausgleichszeit Td: Verzugszeit</p>	<p>Zwei P-T1 in Kettenschaltung</p> <p>$d \geq 1$</p> <p>Kennwerte: K2; T1; T2</p>
P-T2 (d < 1)	$F(j\omega) = \frac{K_2}{1 + j \frac{2d\omega}{\omega_0} - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}$ $F(p) = \frac{K_2}{1 + p \frac{2d}{\omega_0} + \frac{p^2}{\omega_0^2}}$		$d = \frac{1}{\sqrt{1 + \left[\frac{\pi}{\ln \left(\frac{\hat{x}_{mi}}{\hat{x}_{mi+1}} \right)} \right]^2}}$	$\hat{x}_{m1} = \hat{x}_e \cdot e^A$ $\frac{\hat{x}_{m+1}}{\hat{x}_m} = e^A$ $A = -\frac{\pi \cdot d}{\sqrt{1-d^2}}$ $t_{0i} = \frac{i \cdot \pi - \delta}{\omega_e}$ <p>cos δ = d (in rad) δ = arccos d (in rad)</p> $\omega_e = \omega_0 \sqrt{1-d^2}$ $T_c = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_e}$ $\omega_0 = \frac{1}{T_2}$	<p>P-T2 schwingfähig</p> <p>$d < 1$</p>

Übersicht zusammengesetzte Funktionen – PI, PD, PID, PI-T1:

Glied	Übertragungsfunktion Frequenzgang	Bode- Diagramm Amplituden-/ Phasengang	Ortskurve	Übergangsfunktion h(t)	Bemerkungen
PI	$F(j\omega) = K_p + \frac{K_I}{j\omega} = K_p \left(1 + \frac{1}{j\omega T_N} \right)$ $F(p) = K_p + \frac{K_I}{p} = K_p \left(1 + \frac{1}{p T_N} \right)$			$h(t) = K_p \left(1 + \frac{t}{T_N} \right) = K_p + K_I \cdot t$	„Nachstellzeit“ $T_N = K_p/K_I$
PD	$F(j\omega) = K_p + j\omega K_D = K_p(1 + j\omega T_V)$ $F(p) = K_p + pK_D = K_p(1 + pT_V)$				„Vorhaltezeit“ $T_V = K_D/K_p$ nicht realisierbar, nur PD-T1

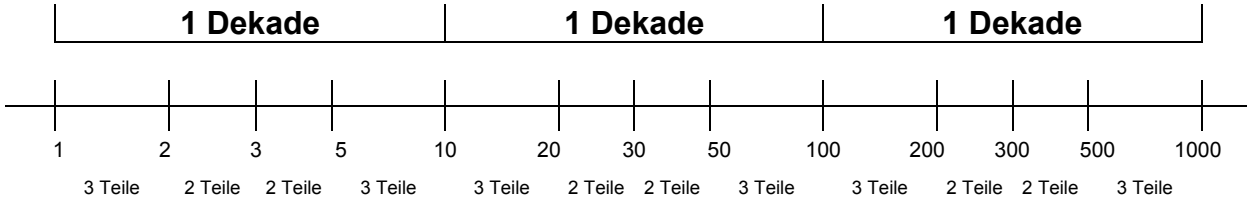
Glied	Übertragungsfunktion Frequenzgang	Bode- Diagramm Amplituden-/ Phasengang	Ortskurve	Übergangsfunktion h(t)	Bemerkungen
PID	$F(j\omega) = K_p + \frac{K_I}{j\omega} + j\omega K_D = K_p \left(1 + \frac{1}{j\omega T_N} + j\omega T_V \right)$ $F(p) = K_p + \frac{K_I}{p} + pK_D = K_p \left(1 + \frac{1}{p T_N} + p T_V \right)$				„Nachstellzeit“ $T_N = K_p/K_I$ „Vorhaltezeit“ $T_V = K_D/K_p$

Glied	Übertragungsfunktion Frequenzgang	Bode- Diagramm Amplituden-/ Phasengang	Ortskurve	Übergangsfunktion h(t)	Bemerkungen
PI-T1	$F(j\omega) = \frac{K_p + \frac{K_I}{j\omega}}{1 + j\omega T1}$ $F(j\omega) = \frac{K_p(1 + \frac{1}{j\omega T_N})}{1 + j\omega T1}$ $F(p) = \frac{K_p + \frac{K_I}{p}}{1 + pT1}$ $F(p) = \frac{K_p(1 + \frac{1}{pT_N})}{1 + pT1}$				T1: Zeitkonstante Kennwerte: $K_I; T1$

Übersicht zusammengesetzte Funktionen – PD-T1:

Glied	Übertragungsfunktion Frequenzgang	Bode- Diagramm Amplituden-/ Phasengang	Ortskurve	Übergangsfunktion h(t)	Bemerkungen
PD-T1	$F(j\omega) = \frac{K_p + j\omega K_D}{1 + j\omega T_1}$				$T_v > T_1$: echtes PD- Verhalten
	$F(j\omega) = \frac{K_p(1 + j\omega T_v)}{1 + j\omega T_1}$				
	$F(p) = \frac{K_p + pK_D}{1 + pT_1}$				
	$F(p) = \frac{K_p(1 + pT_v)}{1 + pT_1}$				

Erzeugen einer logarithmischen Einteilung:



Für den Amplitudengang kann man sich das Zeichnen noch ein wenig vereinfachen, indem man die gleiche Anzahl an Teilen für eine Dekade und 0 – 20 dB verwendet. Dann entsprechen 20 db/Dekade einer 45°-Linie.