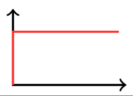
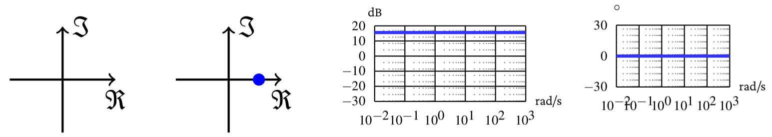
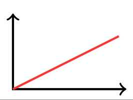
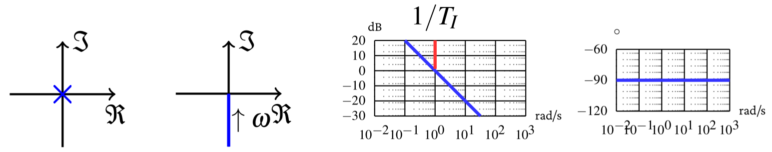
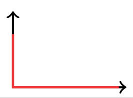
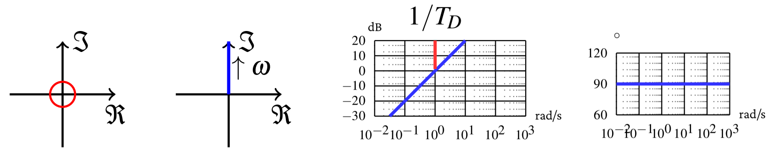
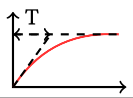
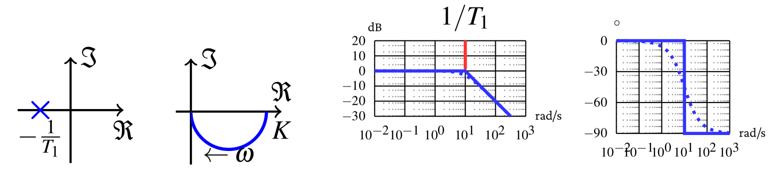
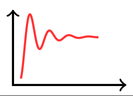
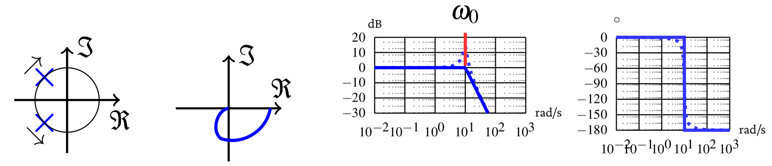
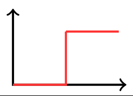
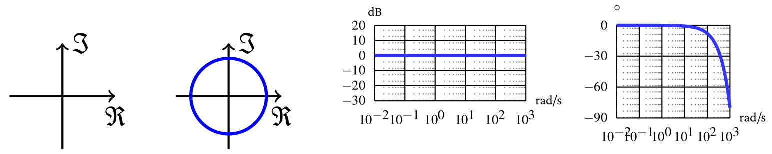
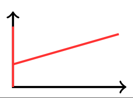
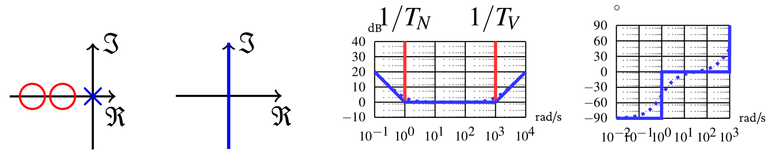
|---|---|---|---|
P		$y(t)=Ku(t),\quad A(\omega)=K$ $G=K,\quad \varphi(\omega)=0$	
I		$y(t)=\int_0^t u(t)dt,\quad A(\omega)=\frac{1}{T_I\omega}$ $G=\frac{1}{T_Is},\quad \varphi(\omega)=-\frac{\pi}{2}$	
D		$y(t)=u'(t),\quad A(\omega)=T_D\omega$ $G=sT_D,\quad \varphi(\omega)=\frac{\pi}{2}$	
PT_1		$Ty'+y=u(t),\quad A(\omega)=\frac{1}{\sqrt{1+(T_1\omega)}}$ $G=\frac{1}{1+T_1s},\quad \varphi(\omega)=-\arctan(\omega T_1)$	
PT_2		$\frac{y''}{\omega_0^2}+\frac{2Dy'}{\omega_0}+y=u(t)$ $G=\frac{1}{1+\frac{2D}{\omega_0}s+\frac{1}{\omega_0^2}s^2}$ $A(\omega)=\frac{1}{\sqrt{\left(1-(T_1)^2\right)^2+(2\cdot DT_2)^2}}$ $\varphi(\omega)=-\arctan\left(\frac{2\cdot D\frac{\omega}{\omega_0}}{1-\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}\right)$	
PT_t		$y(t)=u(t-T_t),\quad A(\omega)=1$ $G=e^{-sT_t},\quad \varphi(\omega)=-\omega\cdot T_t$	
PID		$y=u(t)+T_Vu'(t)+\frac{1}{T_N}\int_0^t u(t)dt$ $G=\left(1+\frac{1}{T_Ns}+T_Vs\right)u(t)\ dt$ $A(\omega)=\frac{1}{\omega T_N}\sqrt{\left(1+(\omega\cdot T_N)^2\left(1+(\omega\cdot T_V)^2\right)\right)}$ $\varphi(\omega)=-\arctan\left(\frac{1-\omega^2\cdot T_N\cdot T_V}{\omega(T_N+T_V)}\right)$	

Linearisieren

$$h(x)=h(x_0)+\frac{\partial h(x_0)}{\partial x}(x-x_0)$$

Ableitungssatz

$$\mathscr{L}\{y(t)\}=Y(s)$$
$$\mathscr{L}\{y'(t)\}=s\cdot Y(s)-y(0)$$
$$\mathscr{L}\{y''(t)\}=s^2\cdot Y(s)-sy(0)-y'(0)$$

Partialbruchzerlegung

$$(s+1)\rightarrow\frac{A}{s+1}$$
$$(s+1)^2\rightarrow\frac{A}{s+1}+\frac{B}{(s+1)^2}$$
$$(s^2+1)\rightarrow\frac{As+B}{s^2+1}$$

System-/Sprungantwort

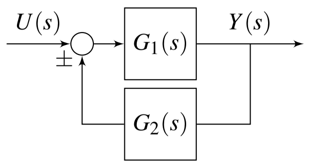
$$Y(s)=G(s)\cdot U(s)$$
$$\mathscr{L}^{-1}(Y(s))=\mathscr{L}^{-1}(G(s)U(s))$$
mit: $U(s)=\frac{1}{s}F_{\text{ext}}\leftarrow$ Einheitssprung

Frequenzgang

$$G(s)=G(i\omega)=|G(i\omega)|\cdot e^{i\varphi(i\omega)}$$
$$|G(i\omega)|=\sqrt{\Re^2+\Im^2}=A(\omega)$$
$|G(i\omega_d)|=1\leftarrow$ Durchtrittsfrequenz
$$A_{dB}(\omega)=20\log_{10}A(\omega)$$
$$\varphi(\omega)=\arctan\frac{\Im}{\Re}$$
$$A_R=\frac{1}{|G_0(i\omega_\pi)|}$$
$$\varphi_0(i\omega_d)=\alpha_R-\pi$$
$$\varphi_0(\omega_\pi)=-\pi$$
$$\alpha_R=\varphi_0(\omega_d)+\pi$$

Führungs- Störungsübertragungsfunktion Z=0 / W=0

$$G_W=\frac{Y(s)}{W(s)}=\frac{G_SG_R}{(1+G_SG_R)}$$
$$G_Z=\frac{Y(s)}{Z(s)}=\frac{G_SG_Z}{(1+G_SG_R)}$$



$$G(s)=\frac{G_1(s)}{(1\mp G_2(s)G2(s))}$$

Stabilitätsuntersuchung

Pole und Nullstellen

1. Polstelle $p_i: G(s)\rightarrow\infty$
   pq-Formel: $s^2+\mathbf{p}s+\mathbf{q}=0$
   $$p_i=s_{1/2}=-\frac{\mathbf{p}}{2}\pm\sqrt{\left(\frac{\mathbf{p}}{2}\right)^2-\mathbf{q}}$$
   stabil: $\forall\Re(p_i)<0$ oder: $\mathbf{p}>0,\mathbf{q}>0$
   instabil: $\Re(p_i)>0$
   grenzstabil: $\Re(p_i)=0$
2. Nullstelle: $G(s)\rightarrow 0$

Hurwitz

1. $\forall a\in[a_0,\ldots,a_n], a_i<0\wedge a_i>0$
2. $D_1=a_2\overset{!}{>}0$

$$D_2=\det\begin{vmatrix}a_1 & a_3\\ a_0 & a_2\end{vmatrix}\overset{!}{>}0$$
$$D_2=a_1a_2-a_3a_0\overset{!}{>}0$$
$$D_3=\det\begin{vmatrix}a_1 & a_3 & 0\\ a_0 & a_2 & 0\\ 0 & a_1 & a_3\end{vmatrix}\overset{!}{>}0$$
$$D_3=a_1a_2a_3-a_3a_0a_3\overset{!}{>}0$$
$$D_3=D_2\cdot a_3$$

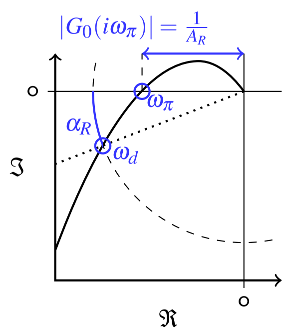
Vereinfachtes Nyquist Kriterium

Kriterium ist anwendbar, wenn die Übertragungsfunktion
1. Integrierendes Verhalten aufweist ($\frac{1}{s}$ ausklammerbar)
2. Alle $p_n>0$ sind,

falls alle <0 sind mit -1 multiplizieren
$G_0(s)=G_S\cdot G_R\leftarrow$ Offene Kette
Geschlossene Kette stabil, wenn kritische Punkt (-1,0) zur Linken der in Richtung zur Frequenz durchlaufenden Ortskurve des Frequenzgangs liegt.

$$m+p\overset{!}{=}0$$

$p=$ Anzahl positiver Pole des Offenen Regelkreises
$m=$ Anzahl der Umläufe um (-1,0)
+ im Uhrzeigersinn
- gegen Uhrzeigersinn



Störunterdrückung ~
$1,5<A_R<3,0$ und $20°<\alpha_R<70°$
Führungsverhalten ~
$4<A_R<10$ und $40°<\alpha_R<60°$

Trigonometrie

$$\sin^2+\cos^2=1$$
$$\arctan(0)=0$$
$$\arctan(\infty)=\frac{\pi}{2}$$
$$\arctan(-\infty)=-\frac{\pi}{2}$$

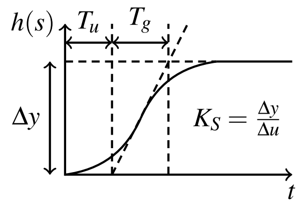
Regelverstärkung/Abweichung

$$\lim_{t\to\infty}y(t)=\lim_{s\to 0}(s\cdot Y(s))\leftarrow\text{Grenzwertsatz}$$
$$\lim_{s\to 0}\left(s\cdot\frac{1}{s}G_W(s)\right)=1-\text{Verstärkung/Abweichung}$$
$$Z(s)=\frac{1}{s}\lim_{s\to 0}\left(s\cdot\frac{1}{s}\cdot G_z(s)\right)=1-(1-\text{Abweichung})$$
$$Z(s)\text{ bzw. }W(s)=\begin{cases}F_{ext}\leftarrow\text{Impuls}\\ \frac{1}{s}F_{ext}\leftarrow\text{Einheitssprung}\\ \frac{1}{s^2}F_{ext}\leftarrow\text{Rampe}\end{cases}$$

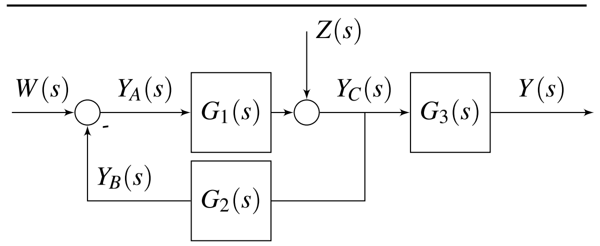
MIMO

1. falls $\Lambda=f(s)$, wähle stationären Zustand ($s=i,\omega=i0=0$)
   $$\Lambda=\frac{1}{G_{11}G_{22}-G_{12}G_{21}}\begin{pmatrix}G_{11}G_{22} & -G_{12}G_{21}\\ -G_{12}G_{21} & G_{11}G_{22}\end{pmatrix}$$
   (Zeilen/Spaltensummen $\overset{!}{=}1$)
2. Kopple die Stell- und Regelgrößen deren λ nahe zu 1.
3. $N=\frac{\det|G_s(s=0)|}{\prod_{i=1}^n G_{sii}(s=0)}\geq 0$

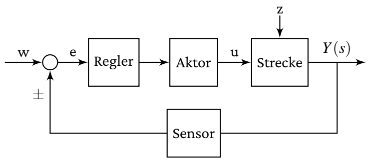
Chien, Hrones, Reswick



Regler		Aperiodisch		Überschwingung	
		Störung	Führung	Störung	Führung
P	K_R	$\frac{0.3}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.3}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.7}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.7}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$
PI	K_R	$\frac{0.6}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.35}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.7}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.6}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$
	T_n	$4T_u$	$1.2T_g$	$2.3T_u$	T_g
PID	K_R	$\frac{0.95}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.6}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{1.2}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$	$\frac{0.95}{K_S}\frac{T_g}{T_u}$
	T_n	$2.4T_u$	T_g	$2T_g$	$1.35T_g$
	T_v	$0.42T_u$	$0.5T_u$	$0.42T_u$	$0.47T_u$



$$Y_A=W-Y_B,\quad Y_B=G_2\cdot Y_C$$
$$Y_C=Y_A\cdot G_1+Z,\quad Y=Y_C\cdot G_3$$
$$\Rightarrow Y=\frac{WG_3+Z}{1+G_2G_3}G_3$$



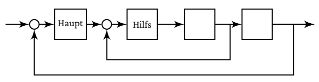
Sensor wandelt physikalische in elektrische Signale.
Aktor wandelt Elektrische in physikalische Signale.
Messgrößenumformung z.B. thermische → mechanische → elektrisch
Eingangsfrößen Wirkung der Umgebung auf das System, gezielt beeinflssbar, können zur Steuerung und Regelung verwendet werden.
Zustandsgrößen beschreiben einen solchen Zustand, in dem sich das Svstem zu jedem Zeitpunkt befindet: interne Größen des Systems; können auch Ausgangsgrößen sein.
Ausgangsgrößen Wirkung des Prozesses auf die Umgebung
Regelgrößen sind geregelte Ausgange
gemessene Ausgänge = primäre Messgrößen
SISO/MISO Singel-Inpute-Single-Output / Multiple-Input-Multiple-Output
Stellgrößen Eingangsgrößen, die zur Steuerung oder Regelung benutzt werden
konzentriert: Eine differentielle Größe bildet das System ab → ODE
verteilt Partielle Differentialgleichung nötig
implizit über differentiale von der Zeit ab (eg. Federschwinger)
explizit von der Zeit ab (eg. Federschwinger mit m = m(t))
zeitkontinuierlich h(t) ist für alle t definiert und > 0 (eg. Wassertank)
zeitdiskret h(t) ist nicht für alle t definiert (eg. Lagerbestand, jeder digitale Sensor)
stabil kehrt nach Störung in die Ruhelage zurück
instabil ruhelage wird nach Störung dauerhaft verlassen
linearität Verstärkungsprinzip und Superpositionsprinzip gelten

$$\varphi \cdot (\alpha + \beta) = \varphi \cdot \alpha + \varphi \cdot \beta$$

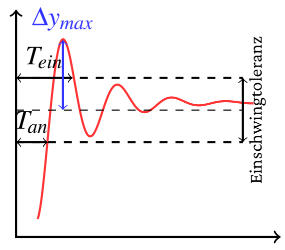
nichtlinearität z.B. Druck am Boden eine Wasserbehälters
Blockschaltbilder Zweck

1. Systemidentifikaton / Klassifikation (Blockschaltbilder, SISO → MIMO)
2. Mathematische Modellierung (Aufstellen von (DBLn, Linearisieren, Laplace-Transformation)
3. Modellanalyse (Reglertypen, Rechnen mit Blockschaltbildern, Stabilitätsanalyse)

statische Blöcke sind nicht abhängig von der Zeit → doppelt umrahmt
dynamische Blöcke sind Zeitlich abhängig (DGL) → einfach umrahmt
Superposition Lineare Abbildung $f(ax+y) = af(x) + f(y)$
Laplace Transformation
$F(s) = L\{f(t)\}$
$= \int_{-0}^{\infty} f(t) \cdot e^{-st} dt$
Impulsfunktion
$\delta(t) = \lim_{s\to 0} \begin{cases} 1/\varepsilon & \text{für} t \in [0,\varepsilon] \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$
mit $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(\tau)\, d\tau = 1$
Gewichtsfunktion Grenzwertverhalten gibt Information über die Stabilität. $g(t) = \frac{y(t)}{\int_{-\infty} u(t)\mathrm{d}t}$
Sprungfunktion
$u(t) = u_0 H(t)$
Sprungfunktion
$s(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(\tau) d\tau$
Übergangsfunktion
$\mathrm{h}(t) = \frac{y(t)}{u_0} = \frac{\text{Sprungantwort}}{\text{Sprunghöhe}} = \int_{-\infty}^{t} g(\tau)\, d\tau$
Sprungantwort Reaktion des Systems auf die Sprungfunktion.
Impulsantwort Reaktion des Systems auf die Impulsfunktion.
Bode-Diagramm logarithmische Darstellung der Amplitude und Phasenverschiebung.
Reihenschaltung im Bode-Diagramm Multiplikation wird zur Addition durch logarithmische Scalierung
Frequenzgang Ein-/Ausgangsverhältnis von Amplitude und Phase $\frac{Y}{U} = G(i\omega)$
Ortskurve Darstellung von Phase und Frequenz als Verlauf des Vektors $\begin{pmatrix} \Re(G(i\omega)) \\ \Im(G(i\omega)) \end{pmatrix}$ bestimmbar durch Anregung und Messung von verschiedenen Frequenzen.
Amplituden-/Phasenreserve gibt mögliche Amplituden-/phasenerhöhung bis zur Instabilität an.
Übertragungs-/BIBO-stabil beschränktes Eingangssignal → beschränktes Ausgangssignal
Kaskadenregelung Hauptregler legt Sollwert eines Hilfsreglers fest
Untergeordneter Hilfsregler verbirgt Störungen in dem Prozessteil, den er regelt, vor dem übergeordneten Regler
Zweck: oft zur Beschleunigung von Regelvorgängen



Vorregelung Regelt wichtige Größe, bevor sie das eigentliche zu regelnde System erreicht, zur Minderung von Störungen. duh *Beispiel:* isothermer Reaktor zu Bakteriellen Abwasserreinigung
Störgrößenaufschaltung
Messen von Störgrößen bevor sie bei der Hauptregelung ankommen, benötigt hilfsregler und messbare Störgröße. Ermöglicht schnelleres eingreifen.
Override-Regelung Regelung kann zwischen verschiedenen Modi umgeschaltet werden
Auswahllogik Ein Regler wählt immer die relevanteste Größe von verschiedenen Sensoren aus
Verhältnisregelung Verhältnis von Messgrößen wird ausgewertet
Advanced Process Control (APC) In technischer Anwendung müssen , Prozessregler während des Betriebs zur Verbesserung der Regelgüte angepasst werden (Control Performance Management)
Massnahmen: Integration von Überwachungsbausteinen in die jeweiligen Regelkreise (z.B. ConPerMon von Siemens), Automatische Protokollierung von Regelgüte und auftretenden Fehlern Verbess bedarf
Hintergrund: Durch große Anzahl an (PID-) Reglern innerhalb eines großtechnischen Prozesses ist eine manuelle Überwachung der Regelkreise und Veränderung der Parameter während des Betriebs oft nicht möglich. → **Process-Controll-Management**
Loopshaping Optimierung der offenen Kette meist durch "Spaping" von Frequenzgang/Ortskurve.
Nyquist Kriterium Die Ortskurve muss den Punkt -1 für den Durchlauf der Frequenzen von $-\infty \to \infty$ so oft umlaufen, wie der offene Kreis Pole in der Linken Halbebene besitzt.
Nyquist-Vorteil auf offene kette anwendbar
Regelfaktor R $= \frac{\Delta_{w\infty}}{\Delta_{w\infty 0}} = \frac{\text{bl. Regelabweichung mit Regler}}{\text{bl. Regelabweichung ohne Regler}}$
betragslineare Regelfläche $I = \int_0^{\infty} |y(t) - w| dt$
zeitbeschwerte betragslineare Regelfläche $I = \int_0^{\infty} |y(t) - w| t dt$ → gewichtet später auftretende Abweichungen stärker.
quadratische Regelfläche $I = \int_0^{\infty} (y(t) - w)^2 dt$ → gewichtet größere abweichungen Stärker.
Totzeitglied Zeitliche Verzögerung ohne verstärkung z.B Rohr, Mechanische Laufzeiten
Systemidentifikation Bild- vs. Zeitbereich Zeitbereich ist einfacher aber Bildbereich ist genauer.
Festwertregelung w = const.
Folgeregelung w = w(t)



Fließbilder

TC	= Temperaturregler
FC	= Durchflussregler
CC	= Konzentrationsregler
TI	= Temperatursenesor
LI	= Höhenmesser

KI Mustererkennung, Analyse, Kommunikation
Fuzzy-Control Fuzzifizierung (Bewertungsfunktiontn), Auswertung von Expertenregeln, Defuzzifizieren
Neural-Network Menschliches Denken nachbilden
Neuron Empfang und Ausgang von Signalen, nimmt Gewichtung vor