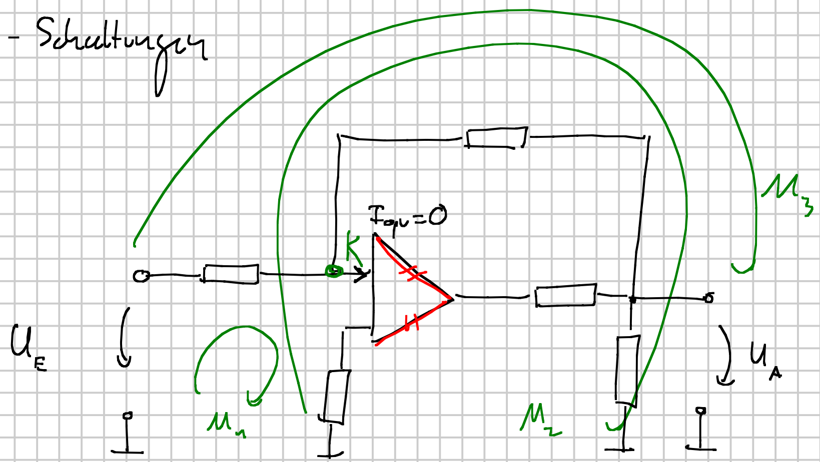
Notiztitel 16.07.2019

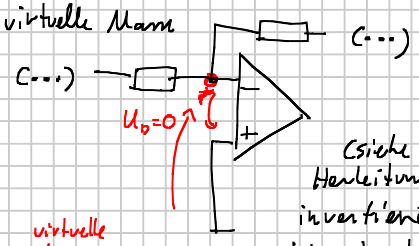
Werkzeugkasten OpV-Schaltungen



$$H(s) = \frac{U_A}{U_E} = ?$$

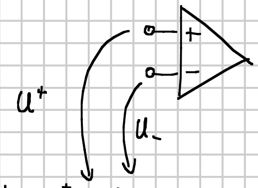
idealer OpV	$A_D \to \infty$, $U_D = 0$	A_D endlich, $U_D \neq 0$	realer OpV
• Maschengleichungen M_1, M_2, M_3, ... etc. → Achtung: Keine Maschen über "Schenkel" des OpVs		• " ←	
• Knotengleichungen z.B. an K, $I_{opV} = 0$ ← kein Strom in OpV		• " ← auch in den realen OpV fließt näherungsweise kein Strom $I_{opV} = 0$	

- virtuelle Masse



(siehe Herleitung invertierender Verstärker)

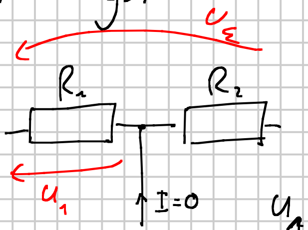
- Eingangsdifferenzspannung



$U_D = U^+ - U^-$

→ verwende U^+ und U^- für Maschengleichungen

- Spannungsteiler



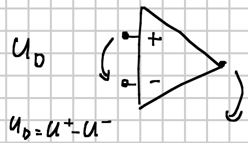
$$\frac{U_1}{U_\Sigma} = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Der Spannungsteiler muss unbelastet sein

- Impedanzen im Laplacebereich

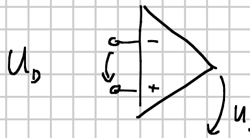
- virtuelle Masse bei realem OPV nicht möglich weil $U_D \neq 0$

- Zusammenhang U_D und U_A



$U_A = A_D \cdot U_D$ (U_D von ⊕ auf ⊖)

$U_D = U^+ - U^-$



$U_A = -A_D \cdot U_D$ (U_D von ⊖ auf ⊕)

$U_D = U^- - U^+$

- Spannungsteiler

" ←

- Impedanzen im Laplacebereich

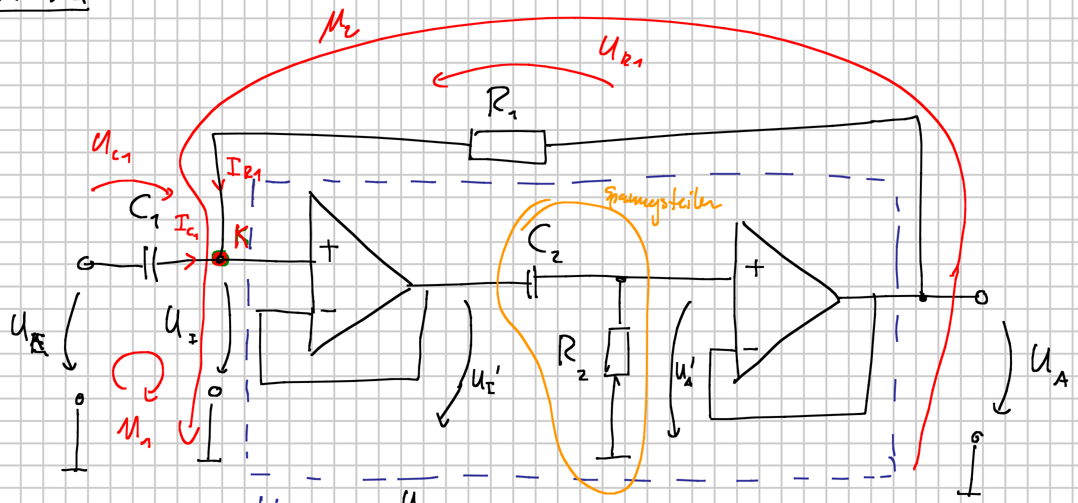
" ←

$U(s) = R \cdot I(s)$ $\qquad s \to j\omega$

$U(s) = \frac{1}{sC} \cdot I(s)$

$U(s) = sL \cdot I(s)$

A 3.2.4



$H_I(s) = \frac{U_A}{U_I}$

$H(s) = \frac{U_A}{U_E}$

a) Die OpVs werden als Spannungsfolger eingesetzt

Spannungsfolger : (1) Ausgangsspannung entspricht Eingangsspannung

(2) "Impedanztransformation"; hinter dem OpV

"sieht" man eine andere Impedanz als vor dem OpV
[Siehe Skript]

h) $H(s) = \frac{U_A(s)}{U_E(s)}$, zunächst $H_I(s) = \frac{U_I(s)}{U_E(s)}$

$$H_I(s) = 1 \cdot \frac{R_2}{\underbrace{R_2 + \frac{1}{sC_2}}_{\text{Spannungsteiler}}} \cdot 1 = \frac{sC_2R_2}{sC_2R_2+1} = \frac{U_A}{U_I} \Leftrightarrow U_I = \frac{U_A}{H_I(s)} = \frac{sC_2R_2+1}{sC_2R_2}$$

1. Spannungsfolger   2. Spannungsfolger

U_I durch U_A ausdrücken

→ $K: \quad I_{C1} + I_{R1} = 0$

→ $M_1: \quad U_E = U_{C1} + U_I \Leftrightarrow \underline{U_{C1} = U_E - U_I}$

→ $M_2: \quad U_A = U_{R1} + U_I \Leftrightarrow \underline{U_{R1} = U_A - U_I}$

$$\overbrace{\frac{U_E - U_I}{\frac{1}{sC_1}}}^{I_{C1}} + \overbrace{\frac{U_A - U_I}{R_1}}^{I_{R1}} = 0 \Leftrightarrow sC_1(U_E - U_I) + \frac{1}{R_1}(U_A - U_I) = 0$$

$$\Rightarrow sC_1\left(U_E - \frac{U_A}{H_i}\right) + \frac{1}{R_1}\left(U_A - \frac{U_A}{H_i}\right) = 0$$

$$sC_1U_E - \frac{sC_1U_A}{H_i} + \frac{U_A}{R_1} - \frac{U_A}{H_iR_1} = 0$$

$$\Leftrightarrow sC_1U_E = \frac{sC_1U_A}{H_i} - \frac{U_A}{R_1} + \frac{U_A}{H_iR_1}$$

$$\Leftrightarrow \quad U_E = \frac{1}{sC_1}\left(U_A \cdot \left(\frac{sC_1}{H_i} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{H_i R_1}\right)\right)$$

$$\Leftrightarrow \quad \frac{U_A}{U_E} = \frac{1}{\frac{1}{sC_1}\left(\frac{sC_1}{H_i} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{H_i R_1}\right)}$$

$$\Rightarrow \quad = \frac{1}{\frac{1}{H_i} - \frac{1}{sC_1R_1} + \frac{1}{sC_1R_1H_i}} \qquad \frac{1}{H_i} = \frac{sC_2R_2 + 1}{sC_2R_2}$$

$$= \frac{1}{\frac{sC_2R_2+1}{sC_2R_2} - \frac{1}{sC_1R_1} + \frac{sC_2R_2+1}{s^2C_1R_1C_2R_2}}$$

→ Doppelbrüche auflösen

$$\rightarrow \quad = \frac{s^2C_1C_2R_1R_2}{(sC_2R_2+1)sC_1R_1 - sC_2R_2 + sC_2R_2 + 1}$$

$$= \frac{s^2C_1C_2R_1R_2}{s^2C_1C_2R_1R_2 + sC_1R_1 + 1}$$

← Nullstellen ablesen

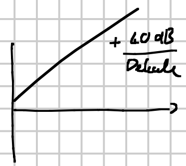
← Polstellen berechnen

□

c) Polstellen und Nullstellen bestimmen. → 1. ~~alt~~ allgemein
↳ 2. mit konkreten Werten

$C_1 = C_2 = 100\,nF, \quad R_1 = 250\,k\Omega, \quad R_2 = 100\,k\Omega$

Nullstellen: $\quad s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad s_{0;1,2} = 0$ ← doppelte Nullstelle



Polstellen: $\quad s^2 C_1 C_2 R_1 R_2 + s R_1 C_1 + 1 = 0$

$$\Leftrightarrow \quad s^2 + \frac{s}{C_2 R_2} + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2} = 0$$

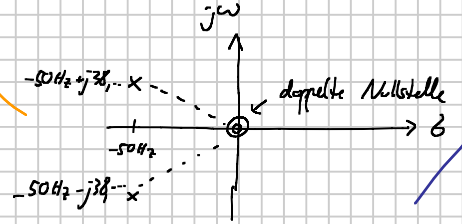
$$\Leftrightarrow \quad s_{\infty;1,2} = -\frac{1}{2C_2R_2} \pm \sqrt{\frac{1}{4C_2^2R_2^2} - \frac{1}{R_1R_2C_1C_2}}$$

mit Werten:

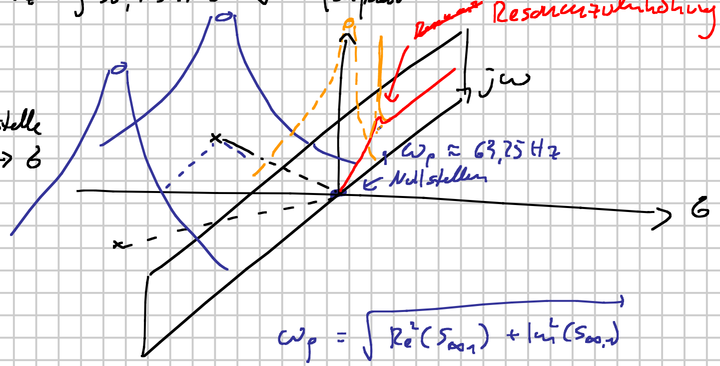
$$\left.\begin{aligned} s_{\infty 1} &= -50\,Hz + j\,38{,}73\,Hz \\ s_{\infty 2} &= -50\,Hz - j\,38{,}73\,Hz \end{aligned}\right\}$$ konjugiert komplexes Polpaar

Exkurs

d)

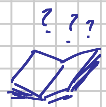


[Skript weiterlesen]

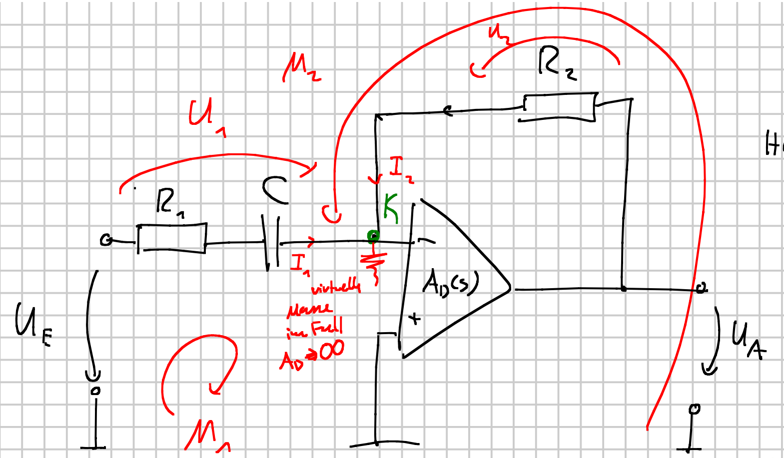


$$\omega_p = \sqrt{Re^2(s_{\infty 1}) + Im^2(s_{\infty 1})}$$

$$= \sqrt{50^2\,Hz^2 + 38{,}73^2\,Hz^2} \approx 63{,}25\,Hz$$



3.2.6



$H(s) = -\frac{Z_2}{Z_1}$ Grundstruktur: invertierender Verstärker

$= -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} = -\frac{sCR_2}{sR_1C+1}$

"Blick schärfen"

mit Hinschauen

a) $H(s) = ?$ es gilt zunächst: $A_D \to \infty$, $U_D = 0$

Schaltung schrittweise durchrechnen

K: $I_1 + I_2 = 0$

M_1: $U_E = U_1$

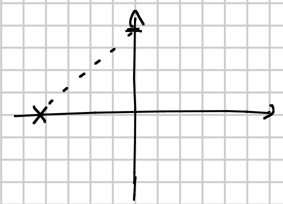
M_2: $U_A = U_2$

$\Rightarrow \underbrace{\frac{U_E}{R_1 + \frac{1}{sC}}}_{I_1} + \underbrace{\frac{U_A}{R_2}}_{I_2} = 0 \Leftrightarrow H(s) = \frac{U_A}{U_E} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} = -\frac{sCR_2}{sCR_1 + 1}$ □

b) $R_2 = R_1$, Normierung auf $\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$, $\omega_0 = \frac{1}{R_1 C}$, $|H(j\Omega)|$ bestimmen und Bode-Diagramm zeichnen

1. Übergang Fourierbereich (nach Stabilitätsprüfung $Re(s_\infty) < 0$) ✓

$\rightarrow H(j\omega) = -\frac{j\omega CR_2}{j\omega CR_2 + 1}$

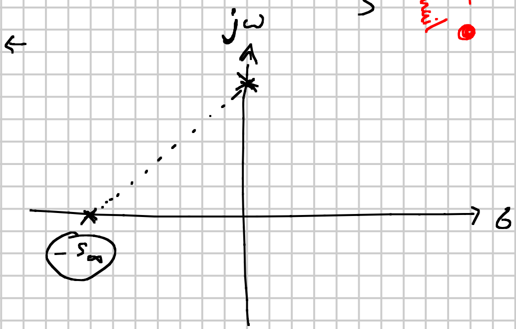


2. ω_0 einsetzen: $\omega_0 = \frac{1}{R_1 C} = \frac{1}{R_2 C}$

$\rightarrow H(j\omega) = - \dfrac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{j\frac{\omega}{\omega_0} + 1}$

3. $\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$ einsetzen

$\rightarrow H(j\Omega) = \dfrac{-j\Omega}{j\Omega + 1} \leftarrow$



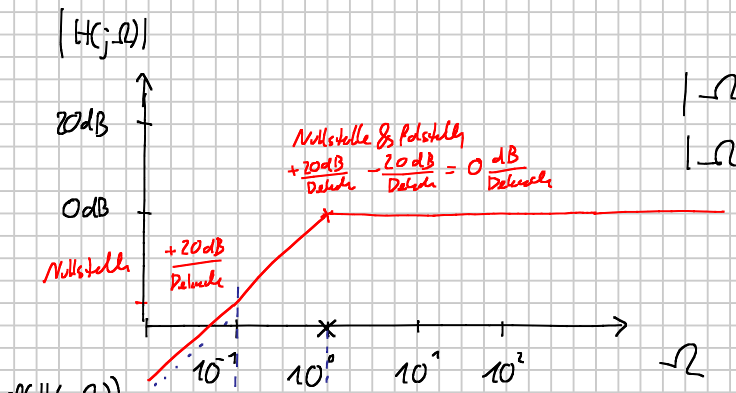
S

Email!

Nullstellen: $\rightarrow |\Omega_{0;1}| = 0 \leftarrow$

Beträge für Knickfrequenzen

Polstellen: $\rightarrow |\Omega_{\infty;1}| = 1 \leftarrow$

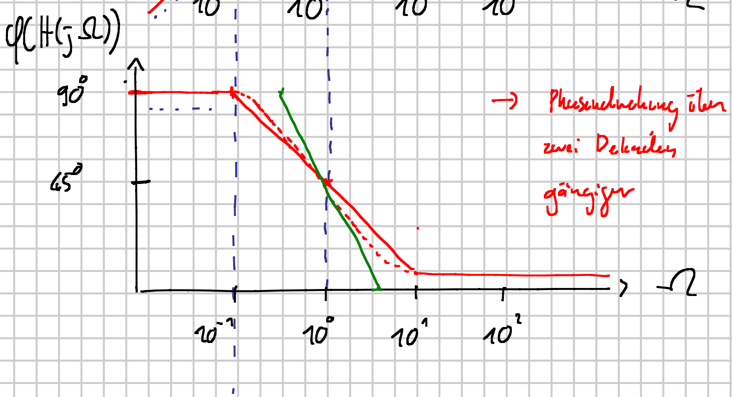


$|\Omega_{\infty;1}| = 1 \quad - \frac{20\,dB}{Dekade}$ ab $\Omega = 10^0$

$|\Omega_{0;1}| = 0 \quad \rightarrow + \frac{20\,dB}{Dekade} \quad \rightarrow$ Wie ist der genaue Verlauf?

$H(j\Omega) = \dfrac{-j\Omega}{j\Omega + 1}$

$\lim_{\Omega \to \infty} H(j\omega) = -1 \quad \rightsquigarrow \lim_{\Omega \to \infty} |H(j\Omega)| = 1$

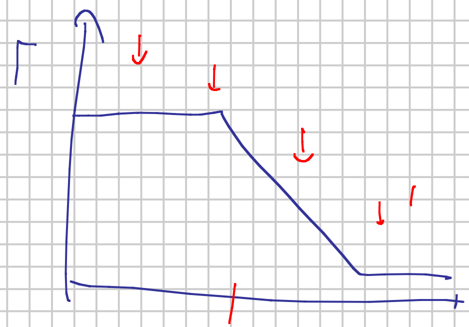


$\rightarrow$ Phasendrehung über zwei Dekaden gängiger

$\ulcorner H(j\Omega) = - \dfrac{1}{j\Omega + 1}$

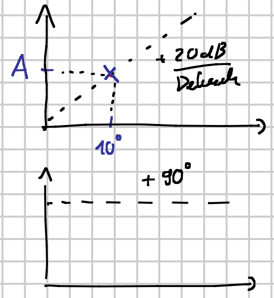
$\lim_{\Omega \to 0} H(j\Omega) = -1$

"Leerlaufverstärkung" $\lrcorner$



c)

$\Omega \leq 10^{-1}$	$10^{-1} \leq \Omega \leq 10^{0}$	$10^{0} \leq \Omega \leq 10^{1}$	$10^{1} \leq \Omega$
invertierender Differenzierer	differenzierendes Verhalten	Übergangsbereich	invertierender Verstärker

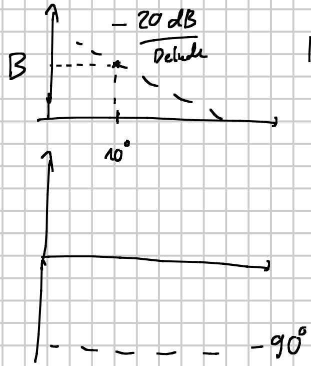


Differenzieren

$H(s) = s \cdot A$ ←

$$\left. H(j\omega) \right|_{\omega = 1\,Hz} = \underline{\underline{1 \cdot A}}$$

Verstärkung bei 1 Hz



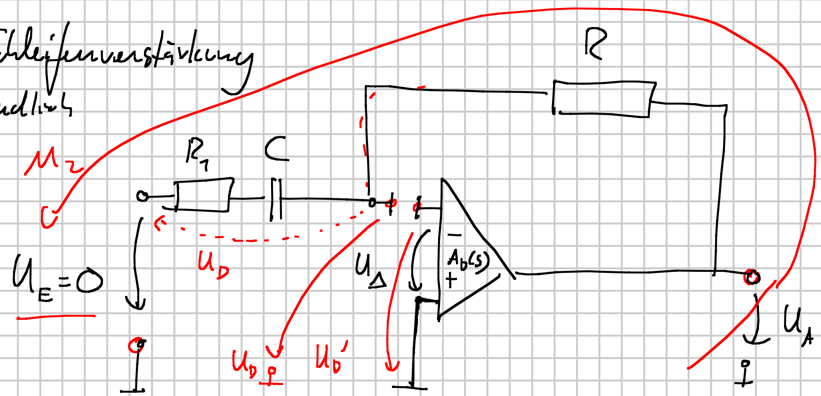
$H(s) = \frac{B}{s}$

$$\left. H(j\omega) \right|_{\omega = 1\,Hz} = \underline{\underline{B}}$$

Integrieren

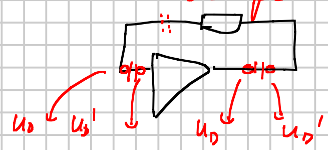
d) Schleifenverstärkung

$A_D(s)$ endlich



wichtig:

- $U_E = 0$
- immer in Schleife auftrennen



$$\boxed{g(s) = -\frac{U_D}{U_D'}}$$

- U_D' ~~[illegible]~~ nähe am Eingang des OpVs
- U_D nähe am Ausgang des OpVs

$U_A = -U_\Delta \cdot A_D(s)$, $U_\Delta = U_D'$

$U_A = -A_D(s) \cdot U_D'$

Spannungsteiler : $U_D = \dfrac{\frac{1}{sC} + R_1}{\frac{1}{sC} + R_2 + R_1} \cdot U_A$ $\Rightarrow$ $g(s) = -\dfrac{U_D}{U_D'} = A_D(s) \cdot \dfrac{s(R_1 + 1}{s(R_1 + CR) + 1}$

OpV-Verstärkung

Rückkopplungsnetzwerk H_k

e) f)

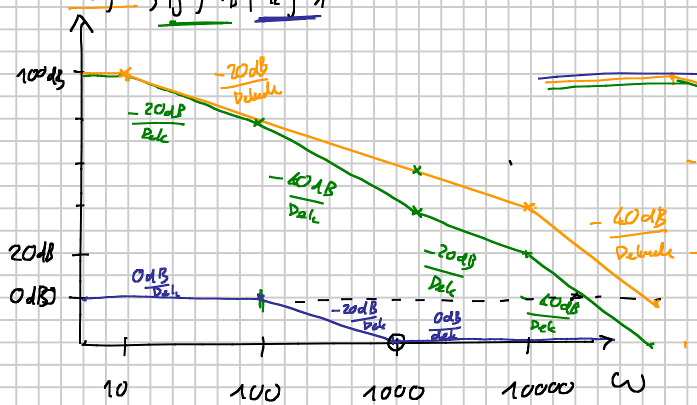
$R_2 = 100k\Omega$, $C = 100nF$, $R_1 = 10k\Omega$ ← Werte einsetzen

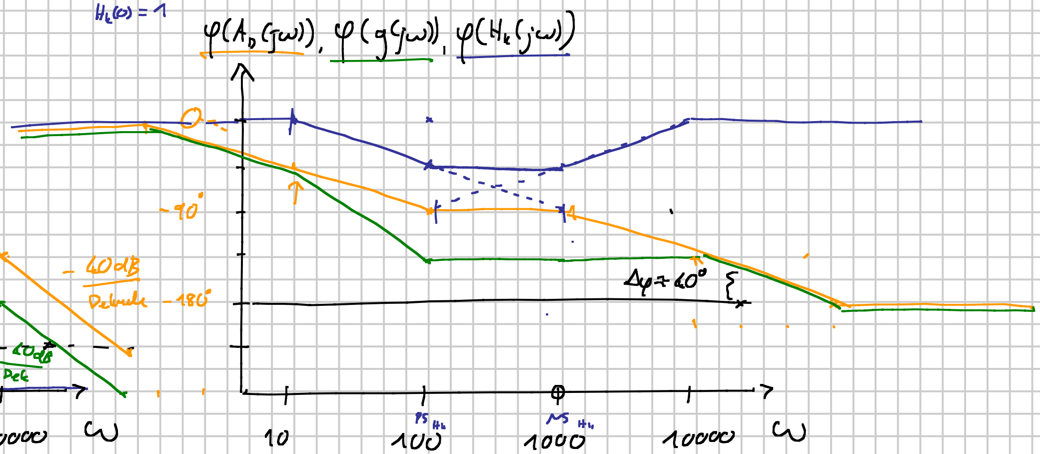
(keine Normierung)

Nullstelle H_k : $\omega = 1000Hz$

Polstelle H_k : $\omega = 100\,Hz$

$H_k(0) = 1$





g) Was ist der Sinn von R_1?

→ Mit R_1 lässt sich Nullstelle positionieren

→ Nullstelle hebt Phasengang und Amplitudengang an

→ mehr Phasenreserve wenn Nullstelle nach rechts verschoben wird

⟹ R_1 variieren; Stabilität anpassen

→ externe Frequenzgangskompensation