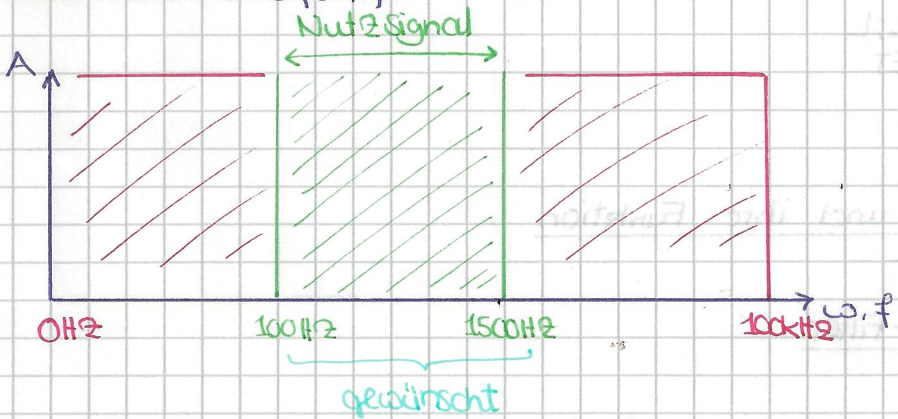
Filterschaltungen aus R, C, L

Messungen an realen Systemen zeigen üblicherweise dieses Verhalten:

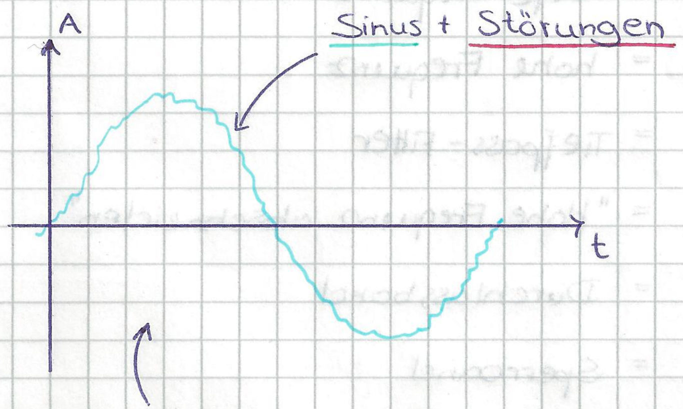
(z.B. Automobil Steuerung, Mikrophon Aufnahmen, Dehnmess-Streifen...)



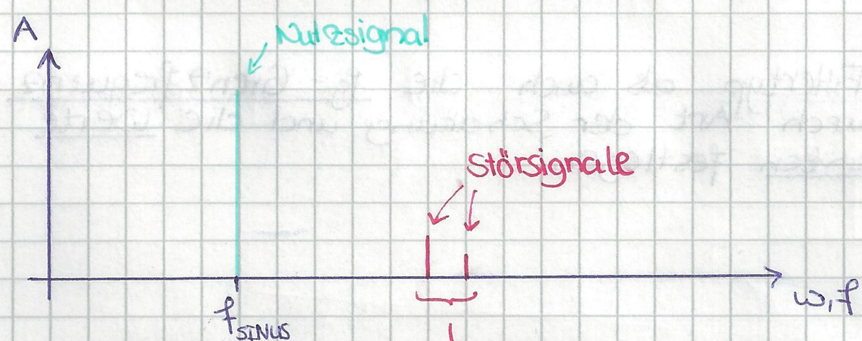
Außer den Nutzsignalen (Nutzband) erhalten wir auch Störsignale (Störband) bei einer Messung

⇒ das Messsignal besteht aus einem Gemisch aus Nutz- und Störsignal.

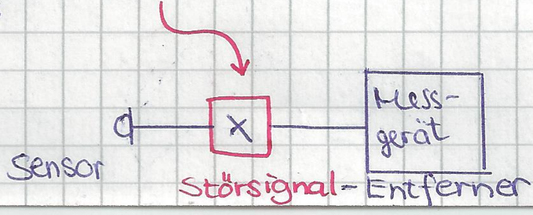
Als Zeitdiagramm: wir messen eine sinusförmige Kurve und erhalten:



Das Spektrum dieses Signals zeigt:



Frage:



"Störsignal"-Entferner heißen: Filter

Filter-Typen:

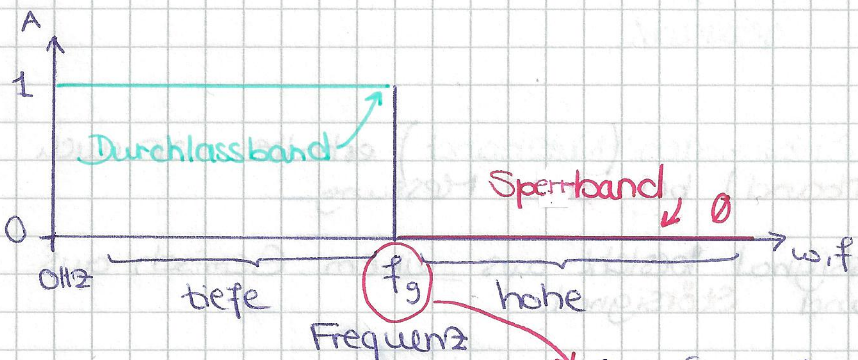
- digital → digitale Signal-verarbeitung
- analog → R,C,L VGET

Wir verwenden analoge Schaltungen aus R's, C's, L's um analoge Filter aufzubauen.

→ Dabei gibt es 4 Grundtypen an Filtern.

Filternamen und ihre Funktion

1.) Tiefpass-Filter



f_g = Grenzfrequenz

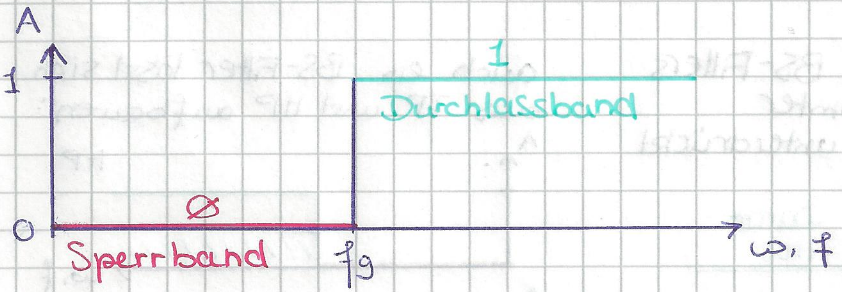
engl.

low frequency	= tiefe Frequenz
high frequency	= hohe Frequenz
low pass filter	= Tiefpass-Filter
= high cut filter	= "Hohe Frequenz abschneiden"
pass band	= Durchlassband
stop band	= Sperrband
cut off frequency	= Grenzfrequenz

Sowohl der Filtertyp als auch die f_g-Grenzfrequenz lassen sich durch Art der Schaltung und die Werte der Komponenten festlegen.

30.11.15

2.) Hochpass - Filter



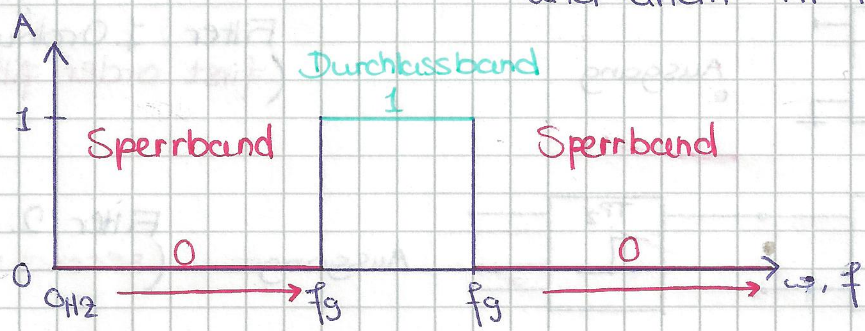
"hohe Frequenzen dürfen passieren"

engl. = high pass filter = Hochpass Filter

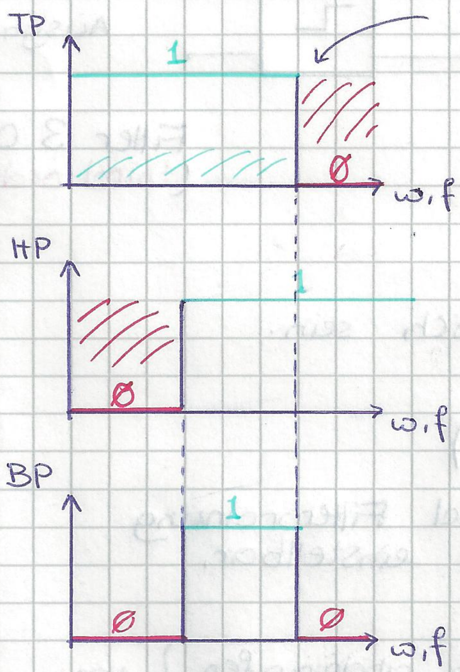
low cut filter = "tiefe Frequenzen abschneiden"

3.) Bandpass - Filter

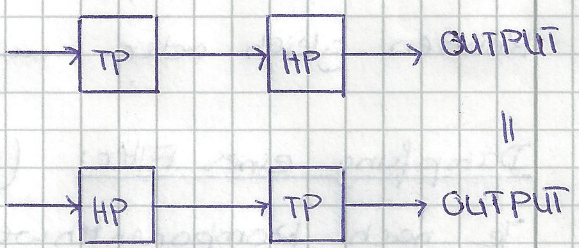
→ ist aufgebaut aus einem TP und einem HP Filter



ideale Kennlinie

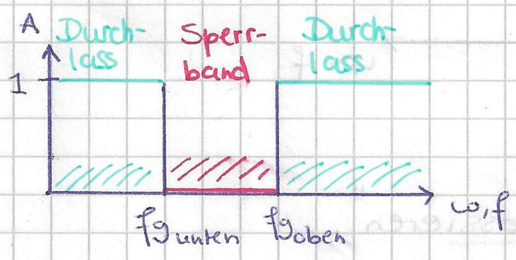


Hintereinanderschaltung von TP und HP

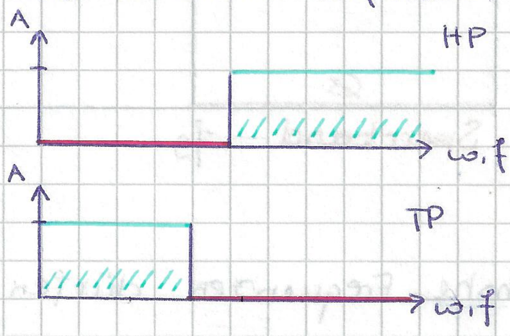


4.) Bandsperre-Filter = Notch-Filter

Mit Hilfe eines BS-Filters wird ein bestimmter Frequenzbereich unterdrückt.

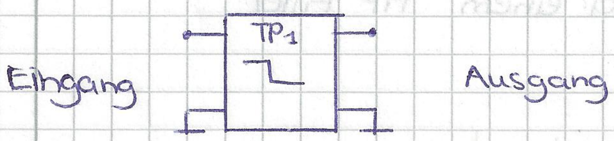


auch ein BS-Filter lässt sich aus TP und HP aufbauen:

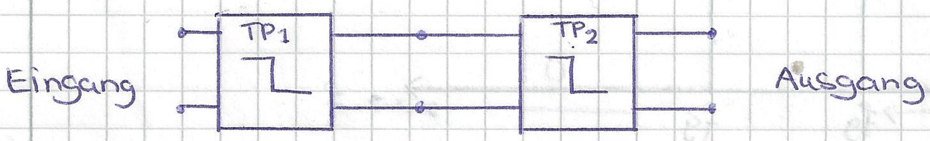


Fachbegriffe (technical term) bei Filtern

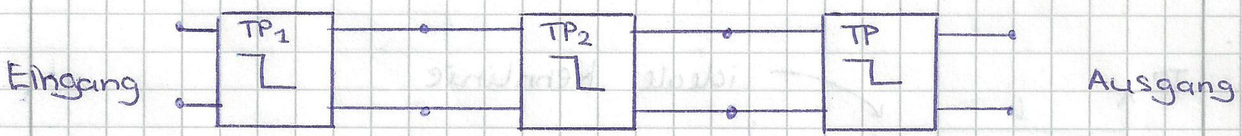
Ordnung eines Filters: (order)



Filter 1. Ordnung (first order filter)



Filter 2. Ordnung (second order filter)



Filter 3. Ordnung (third order filter)

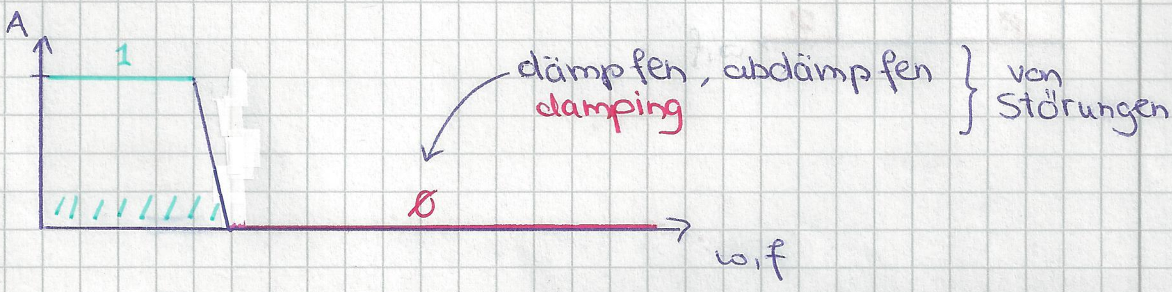
die Grenzfrequenzen f_{g_i}

mit $i \in \{1, 2, 3, \ldots\}$

können gleich oder unterschiedlich sein.

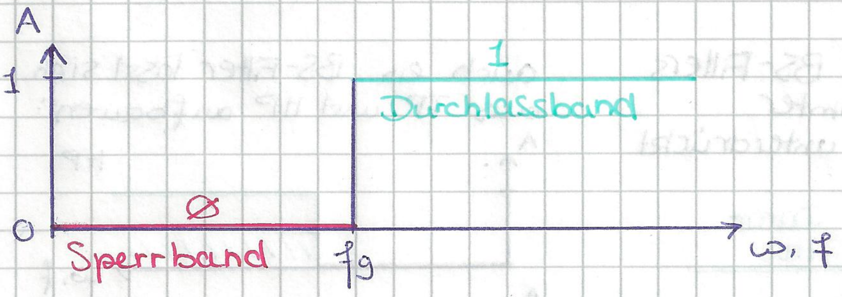
Dämpfung eines Filter: (damping)

Je nach Komponentenwerten und Filterordnung ist der Grad der Dämpfung einstellbar.



30.11.15

2.) Hochpass - Filter



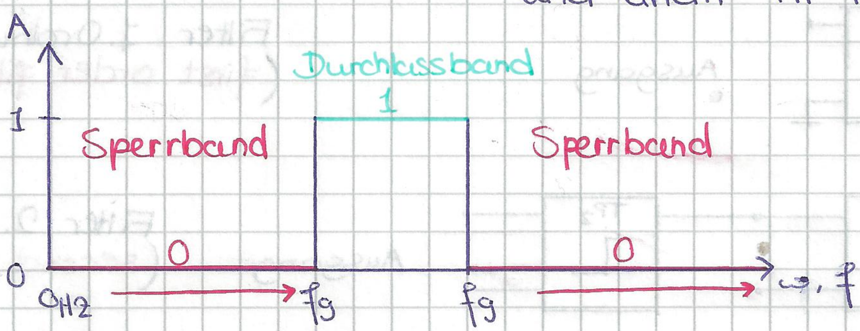
"hohe Frequenzen dürfen passieren"

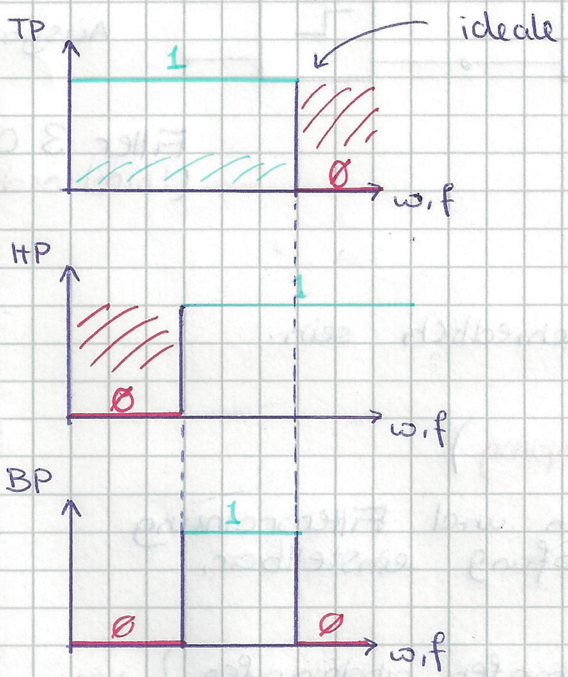
engl. = high pass filter = Hochpass Filter

low cut filter = "tiefe Frequenzen abschneiden"

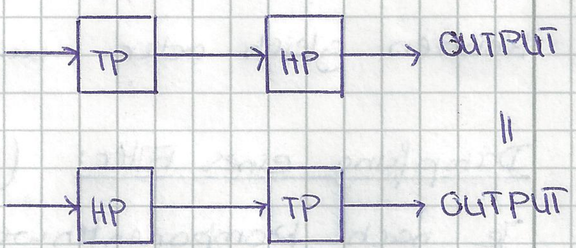
3.) Bandpass - Filter

→ ist aufgebaut aus einem TP und einem HP Filter



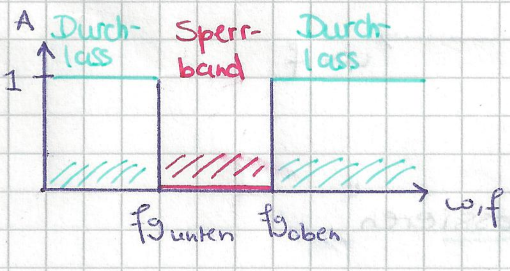


Hintereinanderschaltung von TP und HP

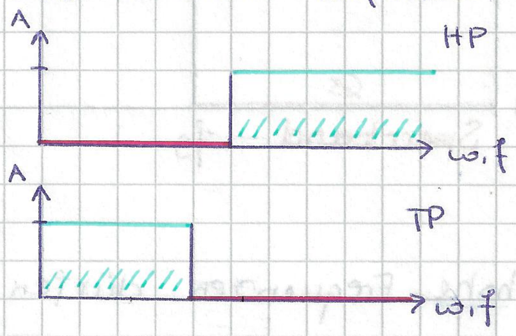


4.) Bandsperre - Filter = Notch-Filter

Mit Hilfe eines BS-Filters wird ein bestimmter Frequenzbereich unterdrückt.

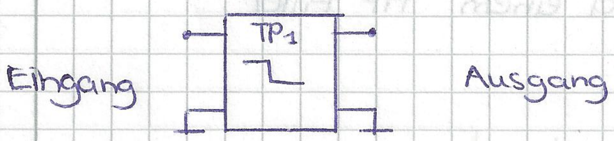


auch ein BS-Filter lässt sich aus TP und HP aufbauen:

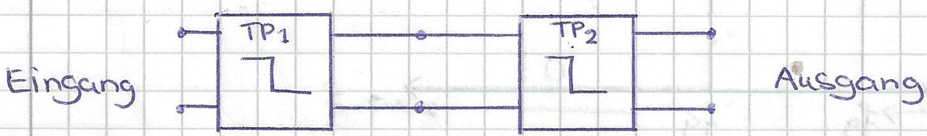


Fachbegriffe (technical term) bei Filtern

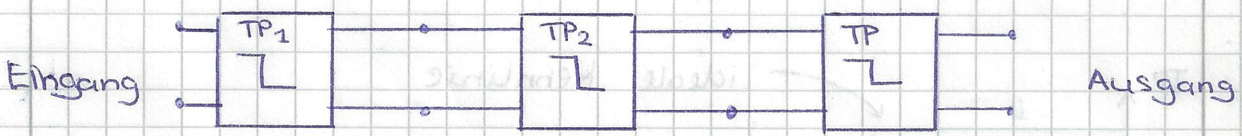
Ordnung eines Filters: (order)



Filter 1. Ordnung (first order filter)



Filter 2. Ordnung (second order filter)



Filter 3. Ordnung (third order filter)

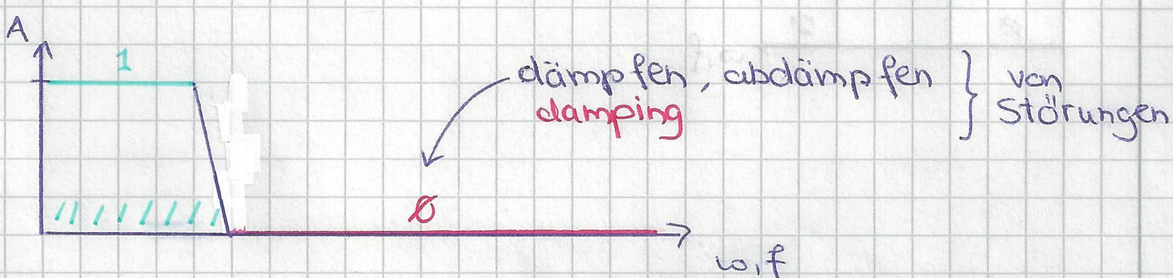
die Grenzfrequenzen f_{g_i}

mit $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$

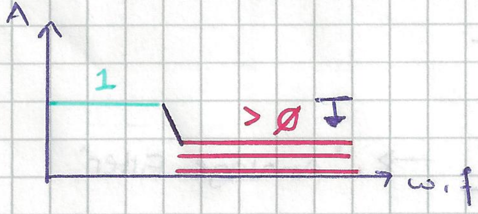
Können gleich oder unterschiedlich sein.

Dämpfung eines Filter: (damping)

Je nach Komponentenwerten und Filterordnung ist der Grad der Dämpfung einstellbar.



30.11.15



Der Grad der Dämpfung wird unter Verwendung einer Bezugsgröße in dB angegeben!

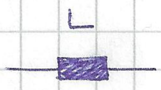
Leistung P

Spannung U, Strom I

07.12.15 Elementare Filterschaltungen

⚠ Wichtig für Ingenieure → "Analoge Filter"

Es gibt nur zwei Bauelemente, die auf ω d.h. auf eine Frequenz reagieren.



und

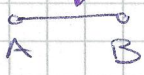
$X_L = j\omega L$ | $X_C = \frac{1}{j\omega C}$

Impedanz: frequenzabhängiger Widerstand

	$\omega = \emptyset \Rightarrow X_L = \emptyset$	$\omega = \emptyset \Rightarrow X_C \to \infty$
	$\omega \to \infty \Rightarrow X_L \to \infty$	$\omega \to \infty \Rightarrow X_C \to \emptyset$

zur Vorstellung von Impedanzen X

"X" $\to \emptyset$ d.h. Widerstand geht gegen Null

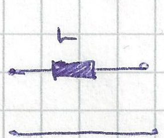
$\Rightarrow$  $\hat{=}$ Kupferleitung

"X" $\to \infty$ d.h. Widerstand unendlich groß

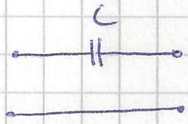
$\Rightarrow$  $\hat{=}$ Unterbrechung

Beschaltung der Bauelemente L und C

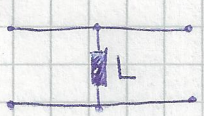
L(ω) | C(ω)

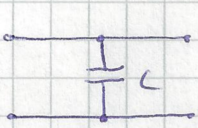


Reihenschaltung



Parallelschaltung

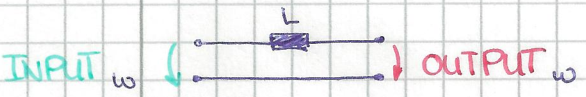




07. 12. 15

Durch den Frequenz(ω)-abhängigen Widerstand bei L und C bewirken Reihenschaltung und Parallelschaltung schon Filterwirkungen.

Qualitative Beobachtung



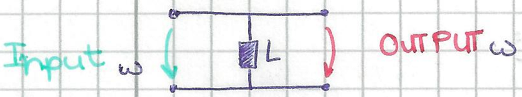
Gleichsignal

$\omega = \emptyset \Rightarrow X_L = \emptyset$ — $\boxed{\text{Tiefpass}}$

$\omega \to \infty \Rightarrow X_L \to \infty$ — Hoch dämpfen

Lowpass = Highcut

- mit zunehmendem ω nimmt der Widerstand zu.



highpass = lowcut

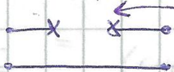
$\omega = \emptyset \Rightarrow X_L = \emptyset$ — Tief dämpf

Kurzschluss

$\omega \to \infty \Rightarrow X_L \to \infty$ — $\boxed{\text{Hochpass}}$

Unterbrechung

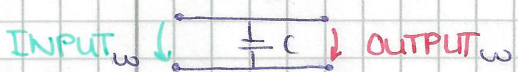
$\omega = \emptyset \Rightarrow X_C \to \infty$ — Tief dämpf



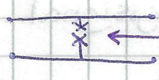
Unterbrechung

$\omega \to \infty \Rightarrow X_C \to \emptyset$ — $\boxed{\text{Hochpass}}$

Kurzschluss
Kupferleitung

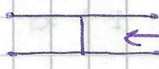


$\omega = \emptyset \to X_C \to \infty$ — tiefe Freq. ω dürfen passieren — $\boxed{\text{Tiefpass}}$



Unterbrechung

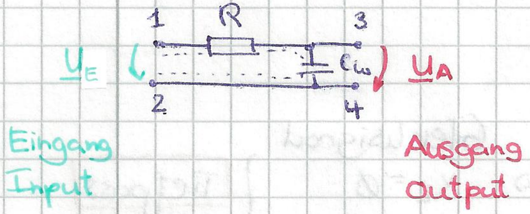
$\omega \to \infty \Rightarrow X_C \to \emptyset$ — Hoch dämpf



Kurzschluss

Aus den 2 Bauelementen L und C und den Schaltungstypen Reihen- und Parallelschaltung alle analogen Filterschaltungen!

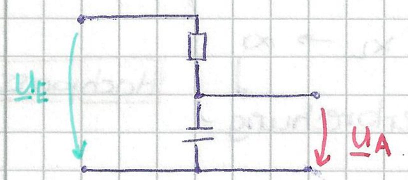
Beispiel für Tiefpassschaltung aus R und C



Wie ändert sich in Abhängigkeit von R und C das Filterverhalten?

Übertragungsfunktion $\frac{U_A}{U_E}$ berechnen.

die gleiche Schaltung anders gezeichnet:



$\rightarrow$ frequenzabhängiger$_\omega$ Spannungsteiler

umformen

$$\text{Übertragungsfunktion} \quad \underline{F}(j\omega) = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$

Kann das stimmen?

a.) $\omega = \emptyset \Rightarrow \underline{F}(j\emptyset) = \frac{1}{1+\emptyset} = 1$ für Übertragungsfunktion

d.h. der INPUT = Eingangssignal $\uparrow$ wird 1:1 zum OUTPUT übertragen.

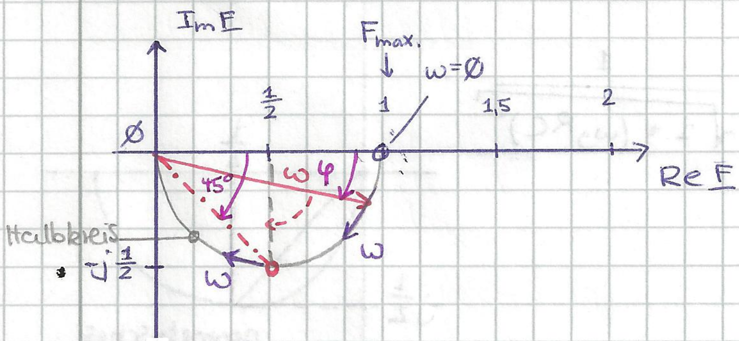
b.) $\omega \rightarrow \infty \Rightarrow \underline{F}(j\infty) = \frac{1}{1+\infty} \rightarrow \emptyset$

d.h. der INPUT = Eingangssignal wird garnicht zum OUTPUT übertragen

$\Rightarrow$ aus a.) und b.) folgt das Tiefpassverhalten der Schaltung

Wie sieht der Raum zwischen $\omega = 0$ und $\omega \to \infty$ aus? 07.12.15

Zeichne die Ortskurve: bei $\omega = 0$ ist $\underline{F}(j\omega) = 1 \ (+j0)$



Startet man mit dem Zeiger für $\omega = 0$, so erhält man den Betrag $= 1$ und $\varphi_{\omega=0}$..

Vergrößert man die Werte von ω bis hin zu $\omega \to \infty$ dann nimmt der Betrag ab $\to 0$ und $\varphi_{\omega \to \infty} \to -90°$.

Aus der Ortskurve lassen sich Amplituden (Betrag) und Phasendiagramm zeichnen ($\to$ Berechnen).

Berechnung Amplitudengang: Formel notwendig $|\underline{F}(j\omega)|$

(Betrag: $\sqrt{Re^2 + Im^2}$)

$$|\underline{F}(j\omega)| = \left| \frac{1}{1 + j\omega RC} \right| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (\omega RC)^2}}$$

Der Punkt an dem $|\underline{F}(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ist, d.h. der Real-Anteil ist gleich dem Imaginär-Anteil nennt man ω_g = Grenzfrequenz.

Hier gilt: $F(\omega_g) = F_{max} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$ und $\varphi(\omega_g) = 45°$.

$F(\omega_g) = 1 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_g RC)^2}}$, es muss also gelten:

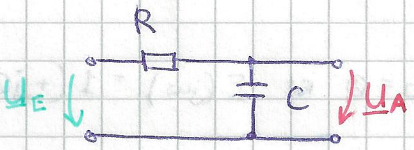
(direkter Vergleich der Nenner)

$$\sqrt{2} = \sqrt{1 + (\omega_g RC)^2}$$
$$2 = 1 + (\omega_g RC)^2$$
$$1 = (\omega_g RC)^2$$

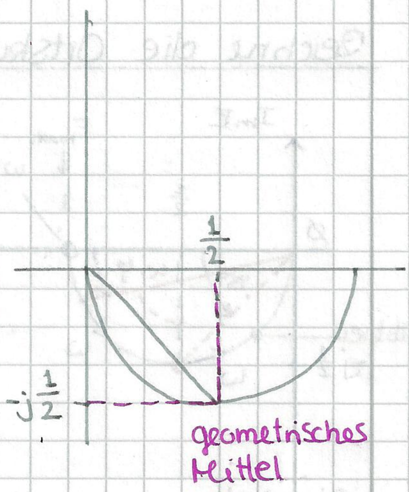
ist richtig, wenn $\boxed{\omega_g = \frac{1}{RC}}$ ist.

Das entspricht einer $\boxed{f_g = \frac{1}{2\pi RC}}$

14.12.15



Tiefpass



$$F(\omega_g) = F_{max} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega_g RC)^2}}$$

$$\hookrightarrow f_g = \frac{1}{2\pi RC}$$

bei f_g ist $Z_C = Z_R$

"Impedanz"
Wechselsignal widerstand
(Gleichsignal)

$$\omega_g = \frac{1}{RC}$$

$$\varphi(\omega_g) = -\arctan(\omega_g RC)$$
$$= -\arctan(1) = -45°$$

Allgemeine Darstellung von Tiefpässen

unabhängig von R und C

Man führt eine Normierung ein:

nicht mit Ohm verwechseln!

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_g} = \frac{f}{f_g} \quad [\text{ohne Einheit}]$$

"groß Omega"

normierte Frequenz liegt zwischen 0 und ∞

Somit ergibt sich eine normierte Übertragungsfkt. für jeden $\boxed{\text{Filtertyp}}$ (Hochpass, Tiefpass)

$$\underline{F}(j\Omega) = \frac{1}{1 + j\Omega}$$

und der daraus abgeleitete Amplitudengang lautet:

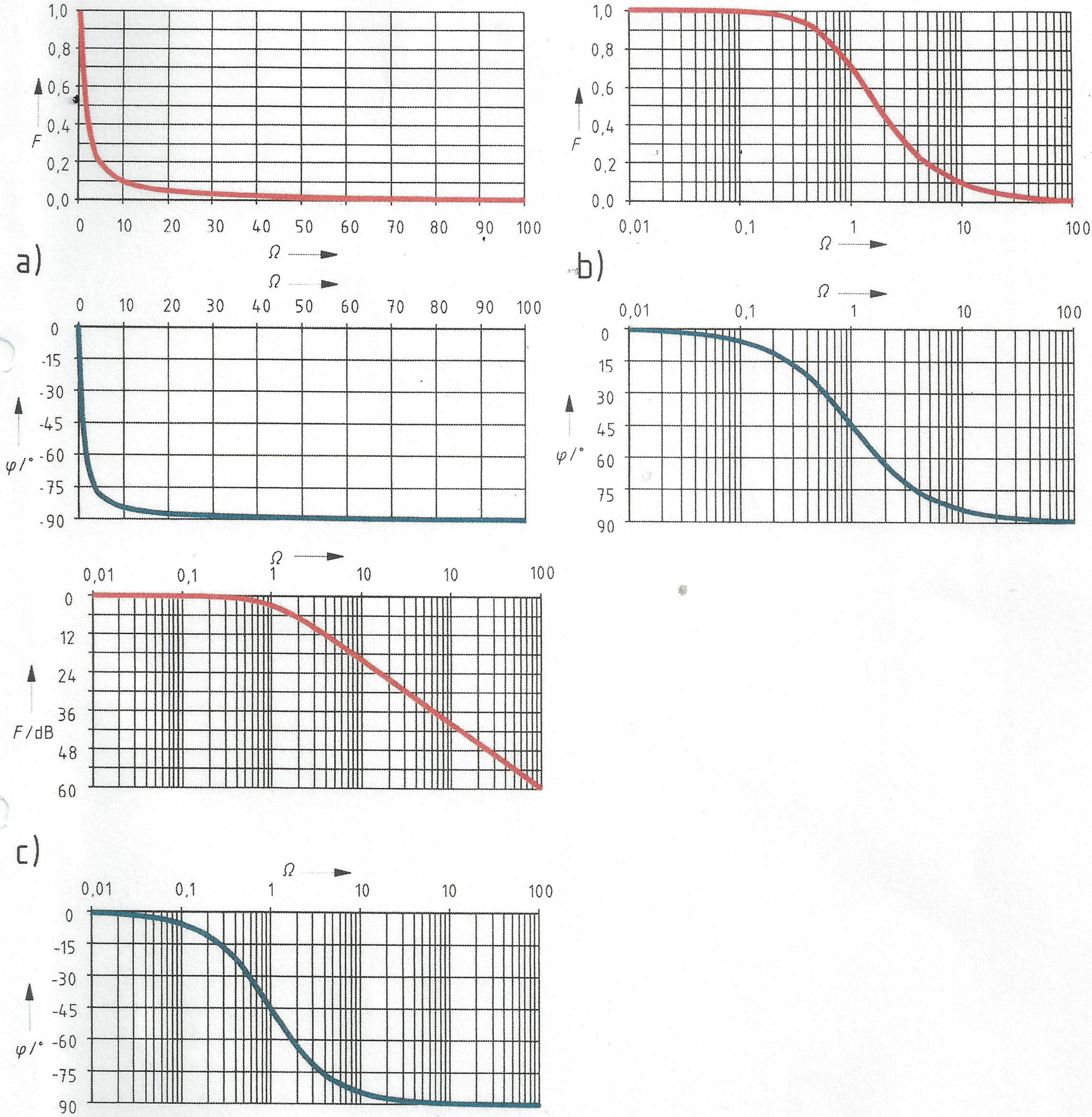
$$\boxed{\underline{F}(\Omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \Omega^2}}}$$

und der Phasengang lautet:

$$\boxed{\varphi(\Omega) = -\arctan(\Omega)}$$

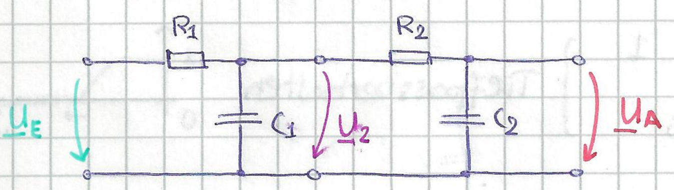
07.12.15

Filterschaltung Tiefpass 1. Ordnung



Amplituden- und Phasengang der Schaltung als Funktion der auf die Grenzfrequenz normierten Frequenz Ω bei linear geteilten Achsen (a), logarithmisch geteilter normierter Frequenzachse (b) sowie als Bode-Diagramm mit Pegelangaben (c)

Anderes Beispiel: 2-stufiger RC-Filter 14.12.15



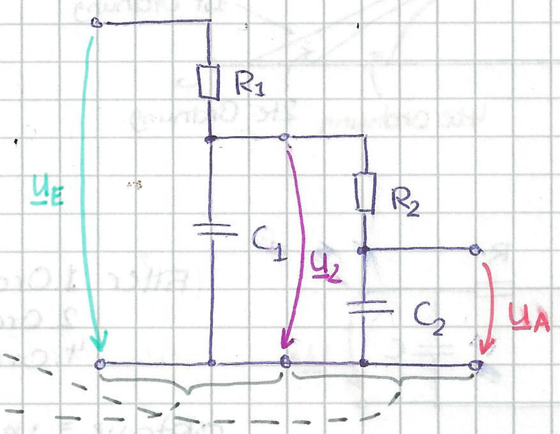
$R_1 = R_2$
$C_1 = C_2$

Diese Schaltung entspricht einem 2-stufigem Spannungsteiler:

- allgemeine Ü-Fkt.:

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_A(j\omega)}{\underline{U}_E(j\omega)}$$

$$= \frac{\underline{U}_A(j\omega)}{\underline{U}_2(j\omega)} \cdot \frac{\underline{U}_2(j\omega)}{\underline{U}_E(j\omega)}$$



Werte einsetzen und umformen $\Rightarrow$ ...

$$\underline{F}(j\omega) = \frac{1}{1 + (j\omega RC)^2 + 3\,j\omega RC}$$

ersetze jRC durch T "Time constant" $\rightarrow$
$$= \frac{1}{1 + (\omega T)^2 + 3\omega T}$$

an dieser Darstellung erkennt man die Ordnung des Filters: suche nach der höchsten Potenz (in unserem Beispiel $(\;)^2$)

$\Rightarrow$ es handelt sich um die Ordnung 2

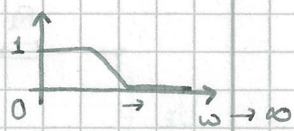
$\Rightarrow$ Filter 2-ter Ordnung ("second order filter")

Wir betrachten den Amplitudengang:

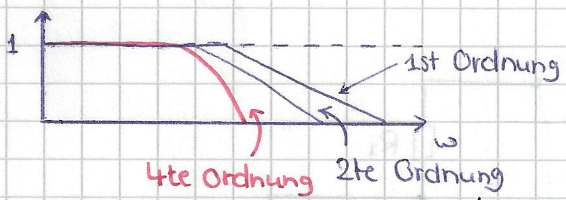
$$|F(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{(1-(\omega T)^2)^2 + (3\omega T)^2}}$$

wie reagiert $F(j\omega)$ bei:

$$\left.\begin{aligned} F(\omega \to \emptyset) &= \frac{1}{1} = 1 \\ F(\omega \to \infty) &= \frac{1}{\infty} = 0 \end{aligned}\right\} \text{Tiefpassverhalten}$$

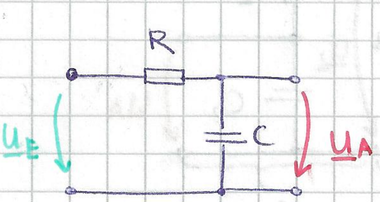


Filterordnungen und ihre Wirkung



Im Amplitudengang nimmt die Dämpfung zu!

je höher die Ordnung, desto stärker die Dämpfung!



Filter 1. Ordnung $\hat{=}$ -6 dB / Oktave
2. Ordnung $\hat{=}$ -12 dB / Oktave
4. Ordnung $\hat{=}$ -24 dB / Oktave

Oktave = Verdoppelung der Frequenz (ω-Werte)

Was bedeutet "normierter Filter"

Frequenznormierung : $\omega T = \Omega$ hat nix mit Ohm zu tun!
Omega

Tiefpass

Übertragungsfunktion: (TP 2ter Ordnung) : $F(j\Omega) = \dfrac{1}{1-\Omega^2 + 3j\Omega}$

Amplitudengang (TP 2) : $F(\Omega) = \dfrac{1}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + (3\Omega)^2}}$

Phasengang (TP2) : $\varphi(\Omega) = -\arctan \dfrac{3\Omega}{1-\Omega}$

$\Rightarrow$ Pro Filtertyp erhält man den normierten Amplituden- und Phasengang. allgemein gültig

nach dem Einsetzen der realen Werte für R und C erhält man den individuellen Amplituden- und Phasengang.

$\Rightarrow$ Filterentwurfssoftware

Bode Diagramme

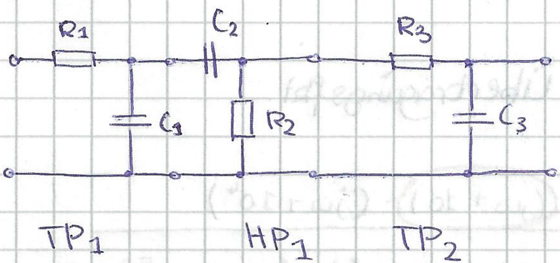
Problem: 1.) aus einer Amplitudengangsgleichung erkennt

$$F(j\Omega) = \frac{1}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + (3j\Omega)^2}}$$

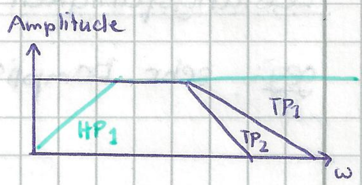
man den Amplitudengang sehr schlecht.

2.) Kombiniert man größere Filter aus Filtergrundelementen (TP, HP) dann werden die Amplituden- und Phasengleichungen noch schwieriger.

Ziel:

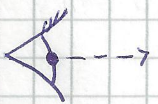


→



aus der gegebenen Schaltung das Amplituden Diagramm konstruieren!

Bode



beobachtete folgendes:

jeder Term $(1-\Omega^2)$ in der Übertragungsfunktion bewirkt etwas im
- Amplituden
- Phasen

Diagramm.

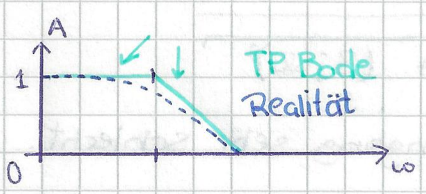
Es existiert ein Zusammenhang zwischen mathematischer und graphischer Darstellung.

Ausdruck: Grundelemete der Bode Diagramme:

$$\Omega = \frac{\omega}{\omega_0}$$

Asymptotische Bode Diagramme

um schneller zeichnen zu können verwendet man Geradenstücke um einen Amplitudengang zu beschreiben.



In der Realität gibt es keine Knicke! sondern nur abgerundete Kurvenformen.

Beim Bode-Diagramm werden Geradenstücke gezeichnet an welche sich die reale Kurvenform anschmiegt.

→ asymptotische Annäherung

Leistungsfähigkeit

P. etwas leichter

geg.: sehr komplizierte Übertragungsfkt.

$$F(j\omega) = 10^5 \cdot \frac{(j\omega + 10)\cdot(j\omega + 10^4)}{(j\omega + 10^2)\cdot(j\omega + 10^3)\cdot(j\omega + 10^5)}$$

Konstruiere das Bode Diagramm:

Tipp: alle Terme von $F(j\omega)$ immer auf diese Form bringen:

$$1 \pm \frac{j\omega}{\omega}$$

Bsp.: $(10 + j\omega) = 10\left(1 + \frac{j\omega}{10}\right)$

Hier:

Zeile 6 in Grundelementen

$$10^5 \cdot \frac{10\left(1 + \frac{j\omega}{10}\right) \cdot 10^4\left(1 + \frac{j\omega}{10^4}\right)}{10^2\left(1 + \frac{j\omega}{10^2}\right) \cdot 10^3\left(1 + \frac{j\omega}{10^3}\right) \cdot 10^5\left(1 + \frac{j\omega}{10^5}\right)}$$

Zeile 8 in Grundelementen

Nun sortiere die Frequenzen (hier im Bsp. stimmt die Reihenfolge schon)

Nun pro Term in der Tabelle nach dem Bodeelement (→ Bodedarstellung) suchen und Bodeasymptote in Bodediagramm einzeichnen.

14.12.15

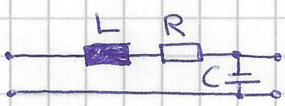
• wird in der Prüfung P. gestellt.

Grundelemente der Bode Diagramme

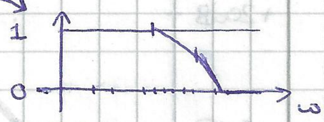
	Übertragungsfunktion $H(j\omega)$	**Amplituden-Frequenzgang** $\lvert H(j\omega)\rvert$ in dB	**Phasen-Frequenzgang** $\angle(H(j\omega))$
1.	A (konstante)	$20 \cdot \log\lvert A\rvert$	$\begin{cases} \pi & \text{falls } A<0 \\ 0 & \text{falls } A>0 \end{cases}$
2.	$j\dfrac{\omega}{\omega_0}$	+20dB/Dekade, 0dB bei ω_0	$\dfrac{\pi}{2}$
3.	$-j\dfrac{\omega}{\omega_0}$	+20dB/Dekade, 0dB bei ω_0	$-\dfrac{\pi}{2}$
4.	$j\dfrac{\omega_0}{\omega}$	-20dB/Dekade, 0dB bei ω_0	$\dfrac{\pi}{2}$
5.	$-j\dfrac{\omega_0}{\omega}$	-20dB/Dekade, 0dB bei ω_0	$-\dfrac{\pi}{2}$
6.	$\left(1+j\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)$	Knick bei ω_0, dann +20dB/Dekade	$+\dfrac{\pi}{2}$ über zwei Dekaden
7.	$\left(1-j\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)$	Knick bei ω_0, dann +20dB/Dekade	$-\dfrac{\pi}{2}$ über zwei Dekaden
8.	$\dfrac{1}{\left(1+j\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)}$	Knick bei ω_0, dann -20dB/Dekade	$-\dfrac{\pi}{2}$ über zwei Dekaden
9.	$\dfrac{1}{\left(1-j\dfrac{\omega}{\omega_0}\right)}$	Knick bei ω_0, dann -20dB/Dekade	$+\dfrac{\pi}{2}$ über zwei Dekaden

Konstruktion des Bode-Diagramms 21.12.15

Schaltung → Ü-Funktion → Bode-Diagramm



$F(j\omega) = \frac{\text{-----}}{\text{-----}}$



letztes Mal: Beispiel Ü-Funktion (ohne Schaltung)

$$F(j\omega) = 10^5 \cdot \frac{(j\omega + 10)\cdot(j\omega + 10^4)}{(j\omega + 10^2)(j\omega + 10^3)(j\omega + 10^5)}$$

Tipp: alle Faktoren auf die Form $1 \pm \frac{j\omega}{\omega_e}$ bringen

$$= 10^5 \cdot \frac{10\cdot\left(1 + \frac{1}{10}j\omega\right)\cdot 10^4\left(1 + \frac{1}{10^4}j\omega\right)}{10^2\left(1 + \frac{1}{10^2}j\omega\right)\cdot 10^3\left(1 + \frac{1}{10^3}j\omega\right)\cdot 10^5\left(1 + \frac{1}{10^5}j\omega\right)}$$

ausklammern

$$F(j\omega) = \frac{\left(1 + \frac{1}{10}j\omega\right)\left(1 + \frac{1}{10^4}j\omega\right)}{\left(1 + \frac{1}{10^2}j\omega\right)\left(1 + \frac{1}{10^3}j\omega\right)\left(1 + \frac{1}{10^5}j\omega\right)}$$

Um aus dieser Formel das BODE-DIAGRAMM zu konstruieren, mache:

a.) Sortiere die Terme (1 + ...) nach Frequenzen

$$F(j\omega) = \left(1 + \frac{1}{10}j\omega\right)\cdot\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{10^2}j\omega\right)}\cdot\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{10^3}j\omega\right)}\cdot\left(1 + \frac{1}{10^4}j\omega\right)\cdot\frac{1}{\left(1 + \frac{1}{10^5}j\omega\right)}$$

Grund-Elemente der Bode-Diagramme

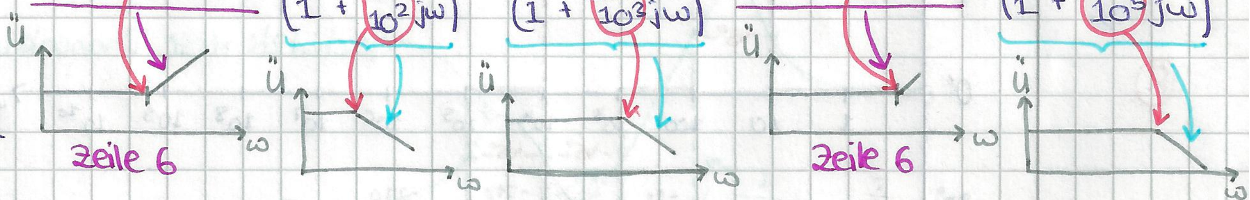
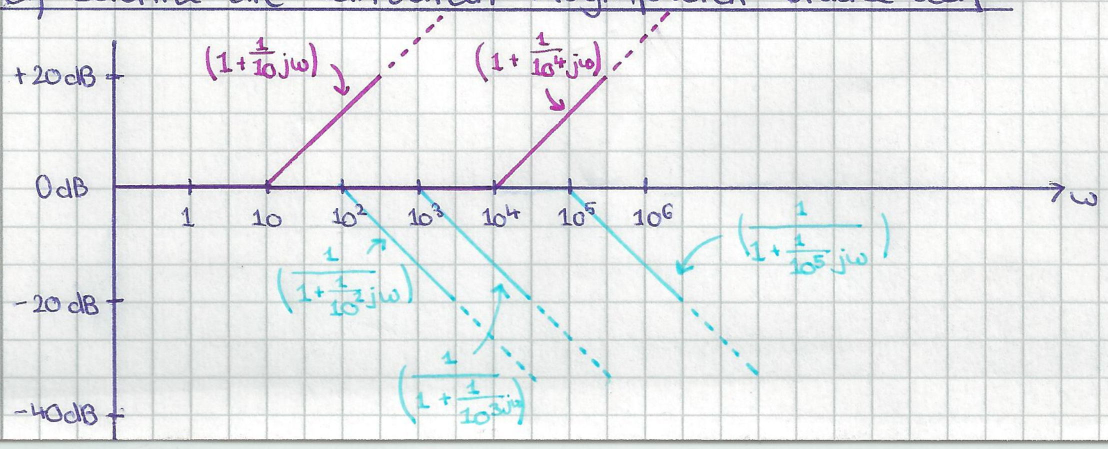


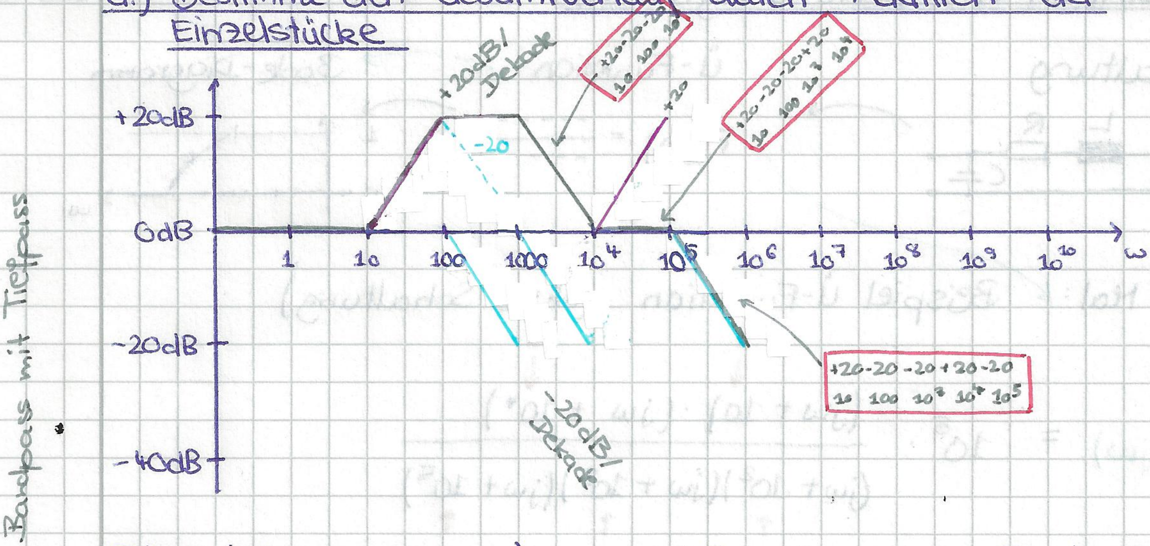
Tabelle math. Term → Auswirkung im Bode-Diagramm

b.) Suche aus Tabelle das passende "BODE-Segment"

c.) Zeichne die einzelnen Asymptoten Stücke auf



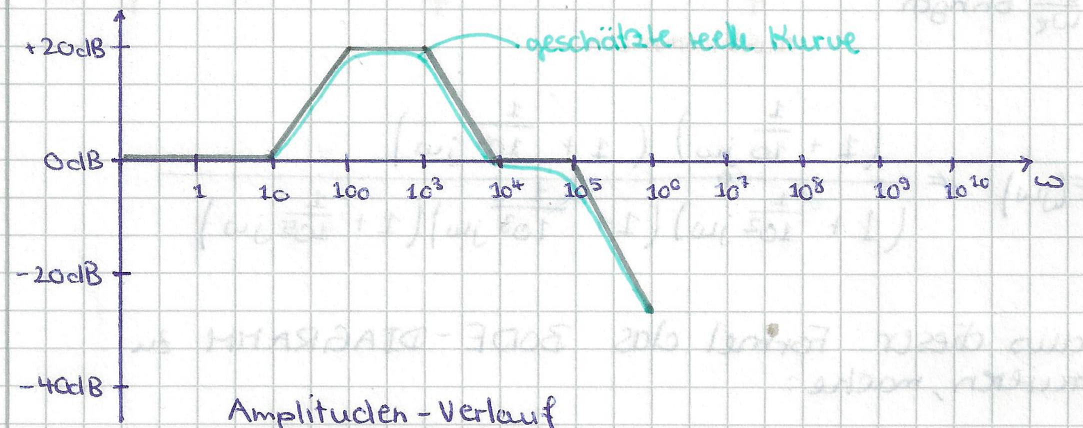
d.) Bestimme den Gesamtverlauf durch "Addition" der Einzelstücke



Fahre (wie ein Scanner) von $\omega = \emptyset \rightarrow \omega \rightarrow \infty$ die X-Achse entlang und summiere (punkt für punkt) die Geraden auf.

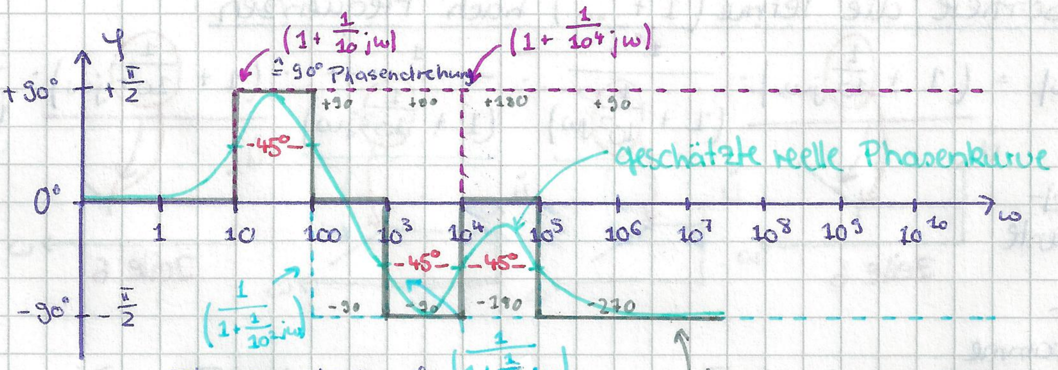
Ergebnis: asymptotisches Bode-Diagramm

P.



Amplituden-Verlauf

P.



Phasen-Verlauf

Asymptotischer Phasenverlauf

Thema: Wechselstromnetze

Übungsaufgaben - Bode Diagramm

Aufgabe 3

Gegeben ist die Frequenzgangfunktion $F(j\omega) = \dfrac{(j\omega + 0{,}5)\,(j\omega + 2)}{(j\omega + 0{,}1)\,(j\omega + 1)}$

a.) bringen Sie die Frequenzgangfunktion auf eine geeignete Form, welche die Konstruktion eines Bode-Diagramms erlaubt.

b.) skizzieren Sie den Verlauf des Bode-Diagramms der Amplitude und der Phase ohne vorher zu normieren.

Aufgabe 4

Gegeben ist die Frequenzgangfunktion $F(j\omega) = 10\left(1 + \dfrac{1}{j2\omega}\right)$

a.) bringen Sie die Frequenzgangfunktion auf eine geeignete Form, welche die Konstruktion eines Bode-Diagramms erlaubt.

b.) skizzieren Sie den Verlauf des Bode-Diagramms der Amplitude und der Phase ohne vorher zu normieren.

Aufgabe 5

Gegeben ist die Frequenzgangfunktion $F(j\omega) = \dfrac{(1 + 10j\omega)}{(1 + 4j\omega)\,(1 + j\omega)}$

a.) skizzieren Sie den Verlauf des Bode-Diagramms der Amplitude und der Phase ohne vorher zu normieren.

Aufgabe 6

Gegeben ist die Frequenzgangfunktion $F(j\omega) = \dfrac{(j\omega + 20)}{(0{,}1j\omega)\,(j\omega+10)}$

a.) bringen Sie die Frequenzgangfunktion auf eine geeignete Form, welche die Konstruktion eines Bode-Diagramms erlaubt.

b.) skizzieren Sie den Verlauf des Bode-Diagramms der Amplitude und der Phase ohne vorher zu normieren.

Bemerkung zu Aufgabe 4.:

$$F(j\omega) = 10 \cdot \left(1 + \frac{1}{2j\omega}\right)$$ P.

umformen: $$10 \cdot \left(\frac{1 + 2j\omega}{\emptyset + 2j\omega}\right)$$

BODE ✓