

Klausur Medizinelektronik

Teil 1: Aufgaben (R. Brucher)

Teil 2: Aufgaben (M. Gross)

Hilfsmittel: bekannt

Semester: MT4

Datum: 13. Juli 2012 Dauer: 90 Minuten

Hochschule Ulm

**Hochschule Ulm**
Mechatronik/Medizintechnik
Prof. Dr. R. Brucher

Name: _____

Musterlösung

Vorname: _____

Brucher

Matr.-Nr.: _____

Punkte: _____ (Brucher)

Punkte: _____ (Gross)

Punkte: _____ (total) Note: _____

Teil 1:

Tragen Sie Ihre persönlichen Daten in den Kopf ein. Vergessen Sie nicht, jedes Blatt in der Kopfzeile mit Ihrem Namen zu versehen.

Benutzen Sie die Lösungsblätter!

Zwischenrechnungen auf eventuell beigelegten Notizblättern werden für die Klausur nicht berücksichtigt.

Der Umfang der Aufgaben ist für 100 Minuten ausgelegt!

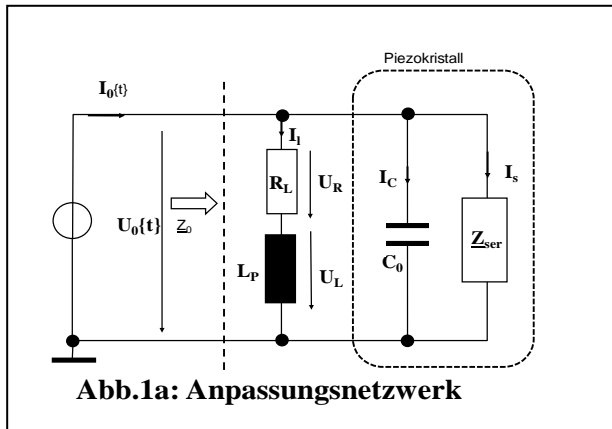
Teil 1 (Brucher)

	maximale Punktezahl	erreichte Punktezahl
Aufgabe 1:	20	
Aufgabe 2:	18	
Aufgabe 3:	23	
Gesamt:	61	

Teil 2 (siehe M. Gross)

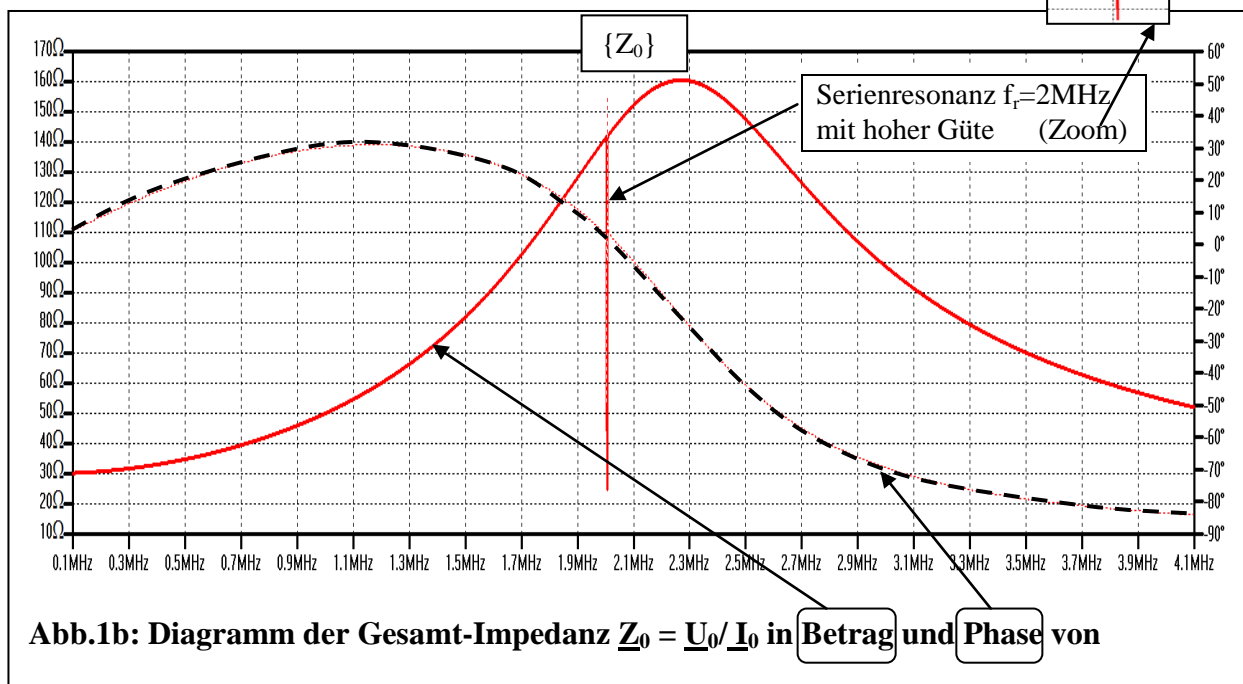
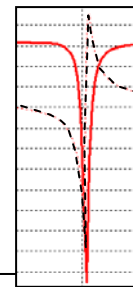
Aufgabe 1: Parallelanpassung eines Piezokristalls**(20 Punkte)**

Abb. 1a zeigt ein Anpassungsnetzwerk an einen Piezokristall mittels einer parallelen Induktivität L_P mit ihrem Verlustwiderstand R_L . Der Kristall weist neben der elektrischen Kapazität C_0 eine Serienresonanz-Impedanz Z_{ser} bei $f_r = 2\text{MHz}$ mit hoher Güte auf. Abb. 1b zeigt die Frequenzabhängigkeit der Gesamt-Impedanz Z_0 mit klar erkennbarem Verlauf des Parallelschwingkreises C_0 und L_P mit geringer Güte.



Geg. :

$$\begin{aligned} C_0 &= ? \\ R_L &= ? \\ L_P &= 4,6\mu\text{H} \end{aligned}$$

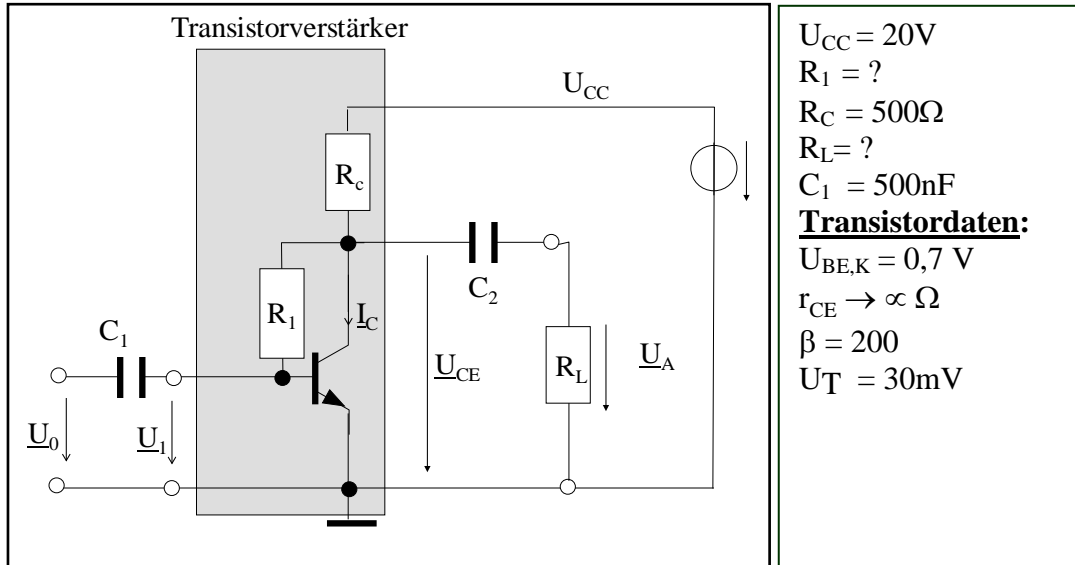


- Welchen Verlustwiderstand R_L weist die parallelgeschaltete Spule auf?
- Welchen Wert muss C_0 aufweisen, damit man mit einer parallelen Induktivität $L_P = 4,6\mu\text{H}$ so anpassen kann, dass die Resonanzfrequenz f_P des Parallelschwingkreises möglichst auf die Serienresonanz $f_r = 2\text{MHz}$ abgestimmt ist, d.h. beide identisch sind?
- Skizzieren Sie die Ortskurve von Z_0 unter Vernachlässigung des Serienresonanz-Impedanz.

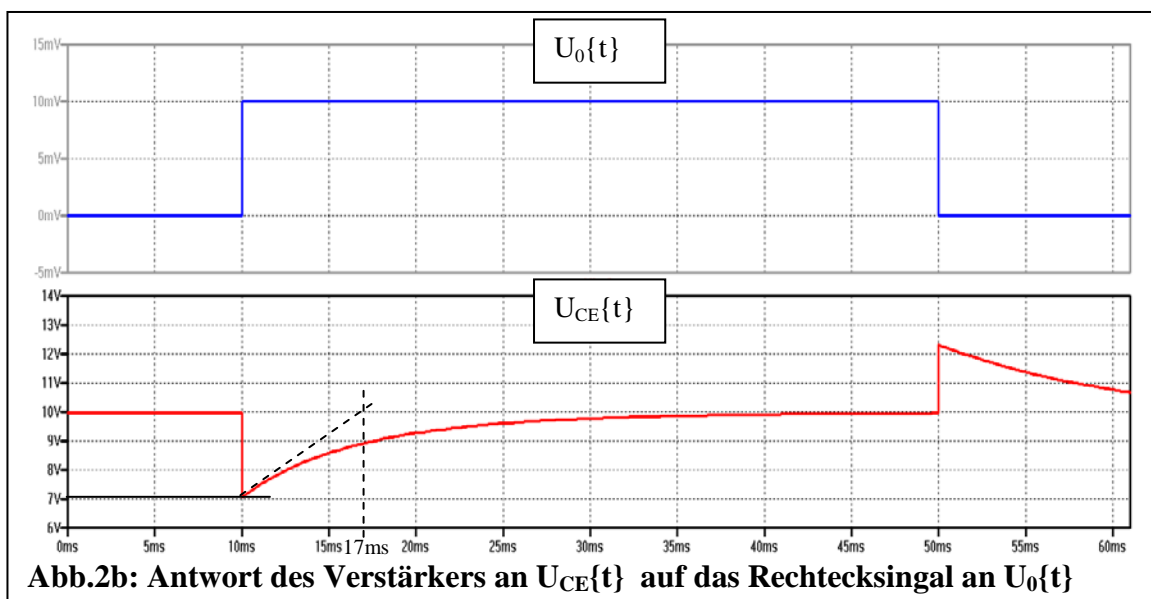
Aufgabe 2: Sprungantwort eines Transistorvorverstärker (18 Punkte)

Abb.2a zeigt einen Transistorverstärker, der mittels seiner Sprungantwort (Abb.2b) analysiert werden soll. Aus den Sprungantworten sind die einzelnen Bauelemente in Ihren Größenwerten abzulesen.

Es gilt, den Verstärker richtig zu dimensionieren und dessen Frequenzgang zu diskutieren.

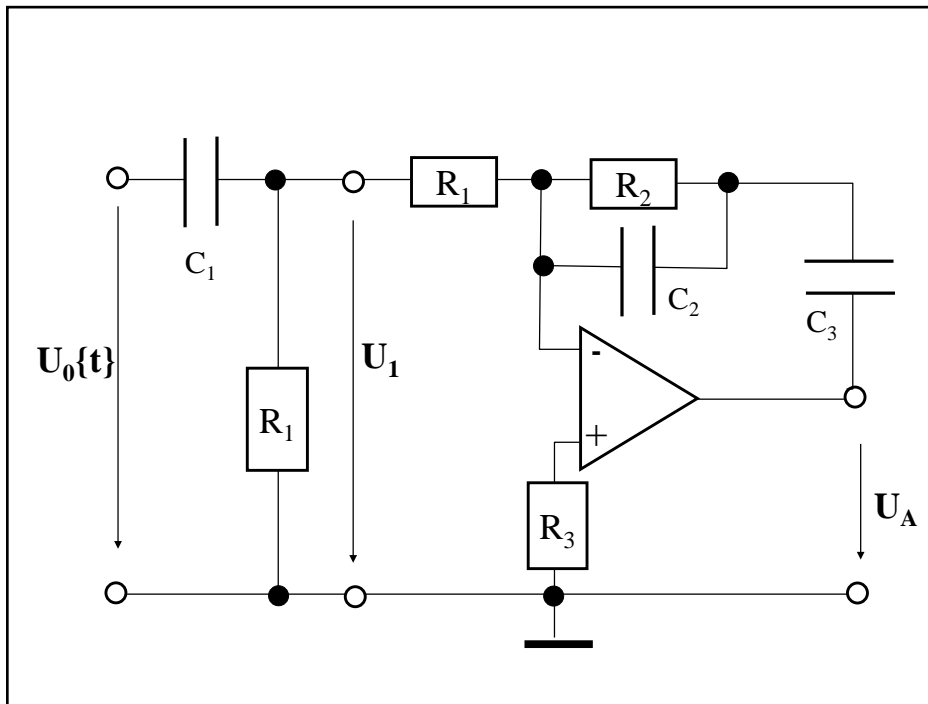
Abb. 2a: Elektrischer Schaltkreis des Transistorverstärkers


- Dimensionieren Sie R_1 für den Arbeitspunkt so, dass für den Arbeitspunkt $U_{CE,A} = 10V$ gilt.
- Wie in Abb.2b gezeigt, wird ein entsprechendes Rechtecksignal U_0 eingespeist und die zugehörige Antwort an U_{CE} gemessen. Zeichnen Sie das WESB und ermitteln Sie dann anhand des charakteristischen Verlaufs von $U_{CE}\{t\}$ die Werte für R_L und C_1
- Dimensionieren Sie nun C_2 so, dass der Frequenzverlauf von $\underline{F} = \underline{U}_A/\underline{U}_0$ nur eine untere Grenzfrequenz aufweist.



Aufgabe 3: OP-Linearverstärker und Bodediagramm**(23 Punkte)**

Abb.3 zeigt eine OP-Schaltung, die es gilt als Filter in ihrem Frequenzgang zu untersuchen

Abb. 3:OP-Schaltung

OP₂-Daten:
idealer OP

R_1	$= 100$
R_2	$= 1k$
C_1	$= 20\mu F$
C_2	$= 1\mu F$
C_3	$= 10\mu F$

- Welche typische Filterübertragungsfunktion hat $\underline{F}_1 = \underline{U}_1 / \underline{U}_0$? Berechnen Sie hierzu auch die charakteristische Frequenz.
- Ermitteln Sie die Übertragungsfunktion von $\underline{F}_2 = \underline{U}_A / \underline{U}_1$ und berechnen Sie die typischen Frequenzen.
- Skizzieren Sie das Bodediagramm $\underline{F} = \underline{U}_A / \underline{U}_0$ zusammengesetzt aus \underline{F}_1 und \underline{F}_2

Lösungsblatt für Aufgabe 1:

(20):

Teilaufgabe 1a): Ermittlung des Verlustwiderstandes R_L aus dem Diagramm R_L :

(3):

Im Diagramm bei niedrigen Frequenzen strebt Z_0 dem Wert von R_L zu:

Aus Diagramm gilt daher

$$Z_0 \{ f < 0,1 \text{ MHz} \} = R_L = 30 \Omega$$

Teilaufgabe 1b): Berechnung der Kapazität C_0 basierend auf $f_p=f_s$ und $L_p=4,6\mu\text{H}$ L_p :

(7):

(P:4) die Admittanz des Parallelschwingkreis ist:

$$Y_0 = j\omega C_0 + \frac{1}{R_L + j\omega L_p} = j\omega C_0 + \frac{R_L - j\omega L_p}{R_L^2 + (\omega L_p)^2} = j \left(\omega C_0 - \frac{\omega L_p}{R_L^2 + (\omega L_p)^2} \right) + \frac{R_L}{R_L^2 + (\omega L_p)^2}$$

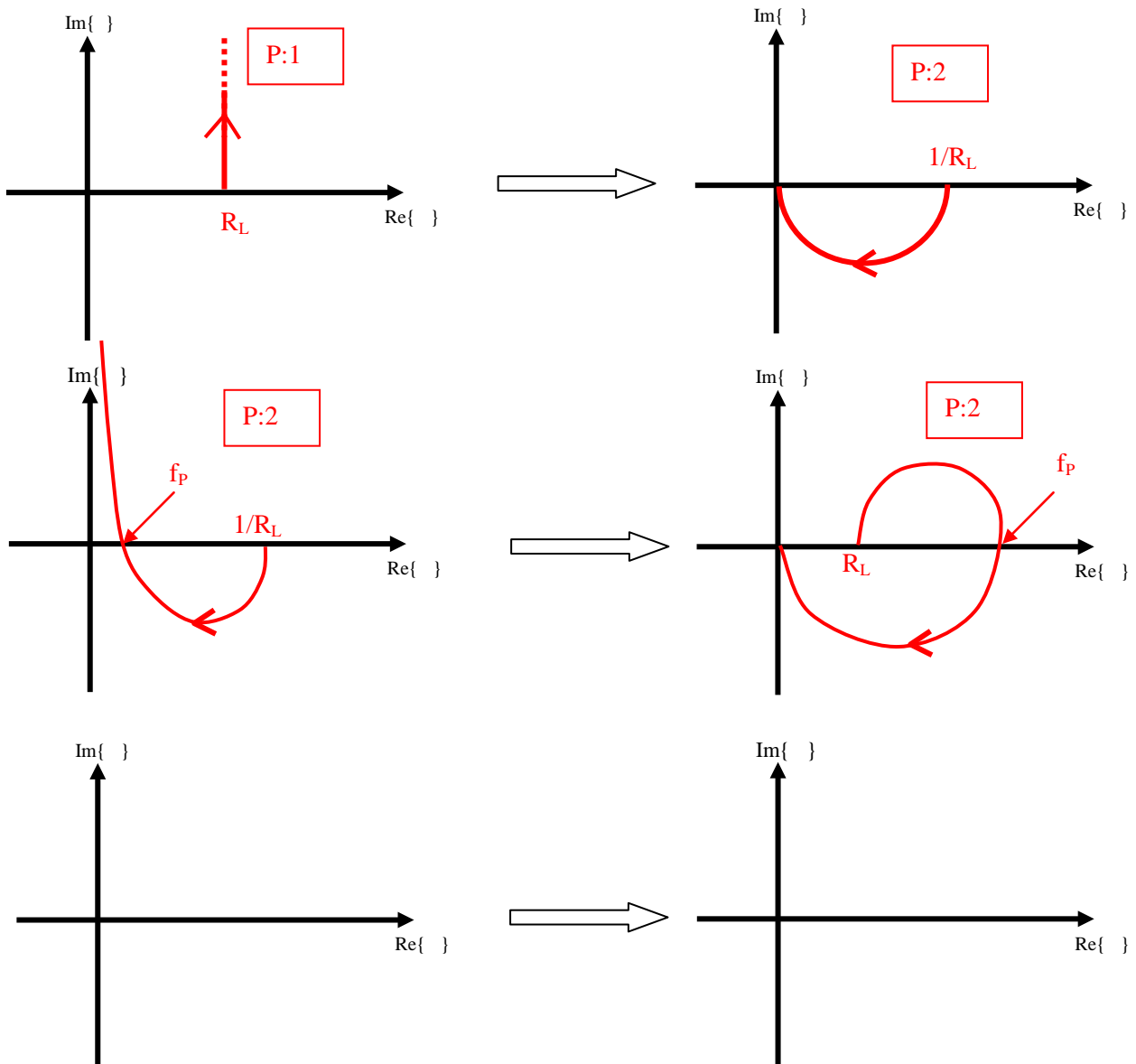
(P:3) Im Resonanzfalle gilt $\text{Im}\{Y_0\} = 0 \Rightarrow$

$$C_0 = \frac{L_p}{R_L^2 + (\omega_{\text{res}} L_p)^2} = \frac{4,6\mu\text{H}}{(30)^2 + (12,5\text{MHz} \cdot 4,6\mu\text{m})^2} = \frac{4,6\mu\text{H}}{(30)^2 + (57,5)^2} = 1,1\text{nF}$$

Teilaufgabe 1c): Ortskurve $Z_0\{f\}$ unter Vernachlässigung der Serienresonanz Z_{ser} \underline{Z}_0 :

(10):

$$(P:3) \quad Z_0 \approx \frac{1}{j\omega C_0 + \frac{1}{R_L + j\omega L}}$$



Lösungsblatt für Aufgabe 2 :

(18):

Teilaufgabe 2a):

Dimensionierung des Widerstandes R_1 für den Arbeitspunkt $U_{CE,A}=10V$ Für DC gilt Maschenanalyse \Rightarrow

(3):

$$U_{CE,A} = U_{BE,k} + R_1 I_{B,A} \Rightarrow$$

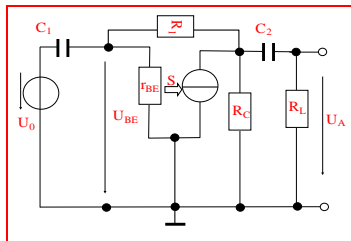
$$R_1 = \frac{U_{CE,A} - U_{BE,K}}{I_{B,A}} = \frac{9,3V}{100\mu A} = 93k$$

$$I_{C,A} = \frac{U_{CC} - U_{CE,A}}{R_C} = \frac{10V}{500\Omega} = 20mA \Rightarrow I_{B,A} = \frac{1}{\beta} I_{C,A} = 100\mu A$$

Teilaufgabe 2b):

WESB:

(3):

Berechnung von C_1 und R_L :Kapazität C_1 :

(5):

Der Hochpass durch C_1 bewirkt

die Zeitkonstante aus der ersten Sprunghöhe zum statischen Endzustand

$$\tau = C_1 R_{ers} = 7ms \Rightarrow C_1 = \frac{\tau}{R_{ers}} = \frac{7ms}{152\Omega} = 46\mu F$$

$$R_{ers} = R_{1,Miller} \parallel r_{BE} \approx 152\Omega$$

$$r_{BE} = \frac{U_T}{I_{B,A}} = \frac{30mV}{100\mu A} = 300\Omega$$

$$R_{1,Miller} = \frac{R_1}{(1-V)} \bigg|_{V=\frac{10V-7V}{10mV}=-300} = \frac{93k}{301} = 309\Omega$$

Teilaufgabe 2b) (Fortsetzung):

Widerstand R_L :

(4):

Die Sprunghöhe bedeutet die Verstärkung bei hohen Frequenzen (C_1 =Kurzschluss)

Transistorverstärkung

$$V\{f \rightarrow \infty\} = -S(R_C \parallel R_L) \Big|_{S=\frac{I_{C,A}}{U_T}=0,666} = \frac{10V - 7V}{10mV} = 300 \Rightarrow$$

$$(R_C \parallel R_L) = \frac{300}{S} = R_p = 450\Omega \Rightarrow \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = R_p \Rightarrow R_L = \frac{R_p R_C}{R_C - R_p} = \boxed{4,5k}$$

Teilaufgabe 2c):

Dimensionierung von C_2 basierend auf der Identität mit der Grenzfrequenz von C_1 :

(3):

Die Grenzfrequenz von HP mit (C_1) \Rightarrow

$$\omega_{HP} = 1/\tau_1 = 1/7ms = 143Hz$$

Ladezeitkonstante für C_2 :

$$\tau_2 = C_2 R_{ers} = \frac{1}{\omega_1} = 7ms \quad R_{ers} = (R_C \parallel R_L) = R_p = 450\Omega$$

$$C_2 = \tau_2 / R_{ers} = \frac{7ms}{450\Omega} = \boxed{15,5\mu F}$$

Lösungsblatt für Aufgabe 3 :

(23):

Teilaufgabe 3a):

Übertragungsfunktion $\underline{F}_1 = \underline{U}_1 / \underline{U}_0$

(3):

Die Schaltung F_1 ist ein HP, der durch den zweiten R_1 zusätzlich belastet ist: \Rightarrow Ladezeitkonstante von C_1 :

$$\tau_1 = C_1 R_{ers} = C_1 (R_1 \parallel R_1) = \frac{1}{\omega_1} = 20 \mu F \cdot 50 \Omega = 1 ms$$

$$\omega_1 = 1 kHz$$

Teilaufgabe 3b):

Herleitung des Übertragungsfunktion $\underline{F}_2 = \underline{U}_A / \underline{U}_1$

(10):

(P:7) F_2 ist ein invertierender Verstärker \Rightarrow

$$F_2 = \frac{U_A}{U_1} = -\frac{Z_F}{R_1}$$

$$\underline{Z}_F = \frac{1}{j\omega C_3} + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j\omega C_2} = \frac{1}{j\omega C_3} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2} = \frac{j\omega R_2 C_3 + 1 + j\omega R_2 C_2}{(j\omega C_3) \cdot (1 + j\omega R_2 C_2)} = \frac{1 + j\omega R_2 (C_2 + C_3)}{(j\omega C_3) \cdot (1 + j\omega R_2 C_2)}$$

$$F_2 = \frac{U_A}{U_1} = -\frac{Z_F}{R_1} = -\frac{1 + j\omega R_2 (C_2 + C_3)}{(j\omega R_1 C_3) \cdot (1 + j\omega R_2 C_2)} = -\frac{\boxed{1 + j\omega / \omega_{23}}}{\boxed{(j\omega / \omega_{13})} \cdot \boxed{(1 + j\omega / \omega_{22})}}$$

Berechnung der charakteristischen Frequenzen von $\underline{F}_2 = \underline{U}_A / \underline{U}_1$:

(P:3) ω_i Werte:

$$\omega_{23} = \frac{1}{R_2(C_2 + C_3)} = \frac{1}{1k \cdot 11\mu F} = \frac{1}{11ms} \boxed{= 90Hz}$$

$$\omega_{13} = \frac{1}{R_1 C_3} = \frac{1}{100 \cdot 10\mu F} = \frac{1}{1ms} \boxed{= 1kHz}$$

$$\omega_{22} = \frac{1}{R_2 C_2} = \frac{1}{1k \cdot 1\mu F} = \frac{1}{1ms} \boxed{= 1kHz}$$

Teilaufgabe 3c):

(10):

Vollständiges Bodediagramm der Übertragungsfunktion $\underline{F} = \underline{U}_A / \underline{U}_0$:

