WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	GN	MSS

FSR - Klausurensammlung

100 Punkte

15 LP lm

HAW Hamburg
Department EuI
Prof. Dr. J. Missun

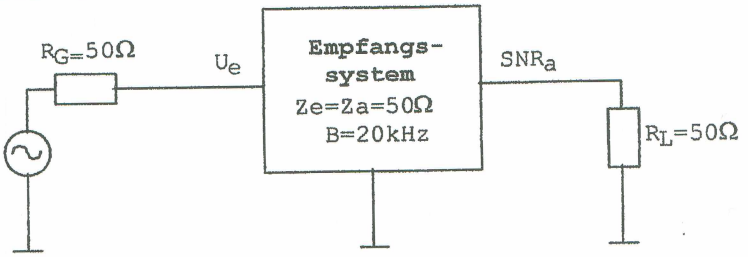
Gruppe A

Klausur Grundlagen Nachrichtentechnik
Semestergruppe E4b, 25.1.2013

Name. [illegible] CR Matr.-Nr. _____

Hinweis: An Unterlagen dürfen nur das GN-Vorlesungsskript und persönliche Mitschriften benutzt werden, die Verwendung von alten Klausuren ist nicht zulässig. Formeln dürfen/sollen aus dem Script übernommen werden, aber immer mit Quellenangabe.
Bei allen Aufgaben muss der Lösungsweg klar erkennbar sein!

1. Aufgabe (15 Punkte)
Ein Empfangssystem hat eine Bandbreite von 20kHz und 50Ω Ein- und Ausgangswiderstand. Bei einer Eingangsspannung von 6μV wird am Ausgang bei 50Ω Lastwiderstand ein Signal-Rauschabstand von 30dB gemessen (T=290K).
Am Eingang tritt nur thermisches Rauschen auf.

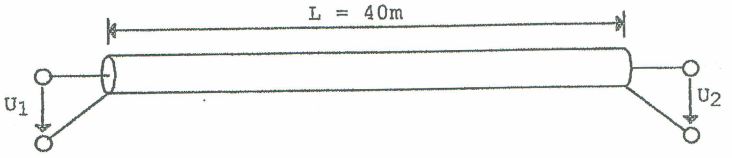


a. Welche Rauschzahl und welches Rauschmaß hat das System?

b. Bei welcher Eingangsspannung ist das Signal-Rauschverhältnis am Ausgang gleich 1?

c. Wie ändern sich das Ergebnis bei b. (mit Zahlenangeben), wenn die Bandbreite verdoppelt wird?

2. Aufgabe (25 Punkte)
An einer **schwach gedämpften Leitung** von 40m Länge wurden bei einer Frequenz von 1MHz und reflexionsfreiem Abschluss folgende Messungen gemacht: $|U_1| = 1V$, $|U_2| = 0{,}9V$



Die Phasenverschiebung zwischen Ein- und Ausgangsspannung betrug 70°. Bei Leerlauf am Ausgang wurde eine gesamte Leitungskapazität von 5nF gemessen.

a. Berechnen Sie den Dämpfungsbelag der Leitung in dB/m und den Phasenbelag in rad/m!

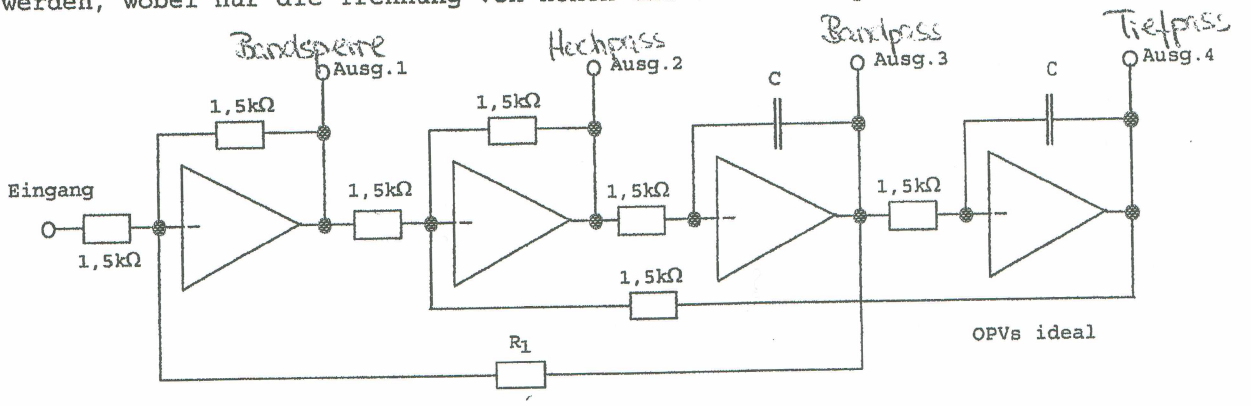
b. Bestimmen Sie die Leitungsbeläge C', L', R' (Annahme: G'=0)

c. Wie groß sind Betrag und Phasenwinkel (in Grad) des Wellenwiderstands?

RÜCKSEITE!
---------->

1/R

3. Aufgabe (35 Punkte)
Die dargestellte Universal-Filterschaltung soll als Frequenzweiche eingesetzt werden, wobei nur die Trennung von hohen und tiefen Frequenzen benötigt wird.



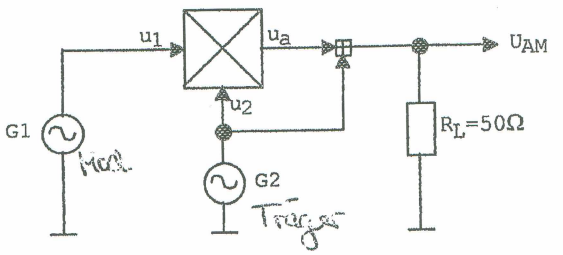
a. An welchen Ausgängen tritt Hochpass- bzw. Tiefpassverhalten auf?

b. Geben Sie die Übertragungsfunktionen für Hoch- und Tiefpass in Normalform* an!

c. Berechnen Sie für den Tiefpass R_1 und C für Butterworth-Verhalten und eine Grenzfrequenz von 3kHz!

d. Zeigen Sie rechnerisch, dass der Hochpass die gleiche Grenzfrequenz wie der Tiefpass hat!

4. Aufgabe (25 Punkte)
Der dargestellte Modulator soll ein AM-Signal mit 2MHz Trägerfrequenz erzeugt werden. Im unmodulierten Zustand soll an R_L eine Leistung von 20mW (ca. 13dBm) abgegeben werden. Die Modulationsfrequenz beträgt 5kHz.
Für den Multiplizierer gilt: $u_a = u_x \cdot u_y \cdot 0{,}5V^{-1}$



a. Stellen Sie eine allgemeine Gleichung für die Zeitfunktion $u_{AM}(t)$ auf und leiten Sie daraus die Gleichungen für den maximalen und minimalen Scheitelwert von $u_{AM}(t)$ ab. Für die Eingänge des Multiplizierers gilt:
$u_1(t) = \hat{u}_1 \cdot \cos(\omega_1 t)$ und $u_2(t) = \hat{u}_2 \cdot \cos(\omega_2 t)$
Mod. Träger

b. Welche Frequenzen müssen die Generatoren G1 und G2 abgeben?

c. Berechnen Sie die Ausgangsspannungen für G1 und G2 (Effektivwerte) für einen Modulationsgrad von 30% und 20mW Trägerleistung am Ausgang.

d. Skizzieren Sie das Ausgangsspektrum mit der Angabe von Pegeln in dBm und Frequenzen!

***Normalform:** Nennerpolynom muss die Form $1 + a_1 \cdot j\omega + a_2 \cdot (j\omega)^2 + \ldots$ haben.

2/12

1. Aufgabe) Formeln Seite (2-1.1)

geg.: $B = 20\,kHz$

$U_e = 6\,\mu V$

$SNR_a = 30\,dB$

$T = 290\,K$

a) ges.: F und $F'(dB)$

$SNR_e = \frac{P_{se}}{P_{re}}$ $\qquad P_{re} = k \cdot T \cdot B = 1{,}38 \cdot 10^{-23}\,\frac{Ws}{K} \cdot 290\,K \cdot 20\,kHz$

$P_{re} = 8{,}004 \cdot 10^{-17}\,W$

$P_{se} = \frac{U_e^2}{R} = \frac{(6\,\mu V)^2}{50\,\Omega}$

$P_{se} = 7{,}2 \cdot 10^{-13}\,W$

$SNR_e = \frac{7{,}2 \cdot 10^{-13}\,W}{8{,}004 \cdot 10^{-17}\,W} = 8{,}996 \cdot 10^3$ ✓

$SNR_e(dB) = 10 \log(SNR_e) = 39{,}54\,dB$ ✓

$F(dB) = SNR_e(dB) - SNR_a(dB) = 39{,}54\,dB - 30\,dB = \underline{9{,}54\,dB}$

$F = 10^{\frac{F(dB)}{10}} = 10^{\frac{9{,}54\,dB}{10}} = \underline{8{,}99}$ ✓ (8P)

b) geg.: $SNR_a = 1 \Rightarrow [SNR_a(dB) = 10 \cdot \log(SNR_a) = 0\,dB]$

$SNR_e = F \cdot SNR_a = 8{,}99 \cdot 1 = 8{,}99$ ✓

$SNR_e = \frac{P_{se}}{P_{re}} \Rightarrow P_{se} = SNR_e \cdot P_{re} = 8{,}99 \cdot 8{,}004 \cdot 10^{-17}\,W$

$P_{se} = 7{,}2 \cdot 10^{-16}\,W$

$U_e = \sqrt{P_{se} \cdot R}$

$\underline{U_e} = \sqrt{7{,}2 \cdot 10^{-16}\,W \cdot 50\,\Omega} = \underline{189{,}68\,nV}$ ✓ (4P)

25.1.13

1. Aufgabe

c) $B = 40\,kHz$

$$P_{re} = \underbrace{8{,}004 \cdot 10^{-17}\,W}_{P_{rauh}} \cdot 2 = 1{,}6008 \cdot 10^{-16}\,W$$

$$P_{se} = SNR_e \; P_{re} = 8{,}99 \cdot 1{,}6008 \cdot 10^{-16}\,W = 1{,}44 \cdot 10^{-15}\,W$$

$$\underline{\underline{U_e}} = \sqrt{P_{se} \cdot R} = \sqrt{1{,}44 \cdot 10^{-15}\,W \cdot 50\,\Omega} = \underline{\underline{268{,}33\,nV}}$$

3P

~~Formeln Seite (2-4 + 2-8)~~

2. Aufgabe

geg.: $\ell = 40m$

$f = 1MHz$

$|U_1| = 1V$

$|U_2| = 0{,}9V$

$\Delta\varphi = 70°$

$C = 5nF$

a)

$$\Delta\varphi = \beta \cdot \ell \cdot \frac{360°}{2\pi} \Rightarrow \beta = \frac{\Delta\varphi \cdot 2\pi}{\ell \cdot 360°}$$ ✓

$$\underline{\underline{\beta}} = \frac{70° \cdot 2\pi}{40m \cdot 360°} = \underline{\underline{30{,}54 \cdot 10^{-3} \frac{rad}{m}}}$$ ✓ 2P

$$a_L = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_1}{U_2}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{1V}{0{,}9V}\right) = 0{,}915\,dB$$ ✓ Seite (2-8)

$$\underline{\underline{\alpha}} = \frac{a_L}{\ell} = \frac{0{,}915\,dB}{40m} = \underline{\underline{22{,}88 \cdot 10^{-3} \frac{dB}{m}}}$$ ✓ 4P

b) Formeln Seite (2-4)

$$\underline{\underline{C'}} = \frac{C}{\ell} = \frac{5nF}{40m} = \underline{\underline{125\,pF/m}}$$ ✓ 2P

$$\beta = \omega\sqrt{L' \cdot C'} \Rightarrow \sqrt{L' \cdot C'} = \frac{\beta}{\omega}$$ ✓

$$\underline{\underline{L'}} = \frac{\beta^2}{\omega^2 \cdot C'} = \frac{\left(30{,}54 \cdot 10^{-3} \frac{rad}{m}\right)^2}{(2 \cdot \pi \cdot 1MHz)^2 \cdot 125pF/m} = \underline{\underline{189\,nH/m}}$$ ✓ 5P

$$\alpha = \frac{R'}{2\sqrt{L'/C'}}$$ ✓ mit $$\alpha\left(\text{in } \frac{NP}{m}\right) = \frac{\alpha(\text{in } dB/m)}{8{,}686} = \frac{22{,}88 \cdot 10^{-3} \frac{dB}{m}}{8{,}686} = 2{,}6 \cdot 10^{-3} \frac{NP}{m}$$ ✓

S/12

25.1.13

2b)

$$R' = \alpha \cdot 2\sqrt{\frac{L'}{C'}} = 2{,}6 \cdot 10^{-3}\,\frac{Np}{m} \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{189\,nH/m}{125\,pF/m}}$$

$$\underline{R' = 0{,}202\,\Omega/m}$$ ✓ 6P

c) Formeln Seite (2-5)

$$|Z_W| = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{189\,nH/m}{125\,pF/m}} = 38{,}88\,\Omega$$ ✓ 3P

$$\angle Z_W = -\frac{R'}{2\omega L'} = -\frac{0{,}202\,\frac{\Omega}{m}}{2 \cdot 2\pi\, 1\,MHz \cdot 189\,nH/m} = -4{,}87°$$ ✓ 3P

$$\underline{Z_W = 38{,}88\,\Omega\,\angle -4{,}87°}$$

25.1.13

3. Aufgabe) Formeln Seite (3-11)

a) Hochpassverhalten: Ausgang 2 ✓
Tiefpassverhalten: Ausgang 4 ✓

2P

b) Hochpass: mit $\tau = R \cdot C = 1{,}5k\Omega \cdot C$ ✓

$$\frac{U_2}{U_e} = \frac{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega}{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega} \cdot \frac{(j\omega\tau)^2}{1 + \frac{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega}{1{,}5k\Omega \cdot R_1}(j\omega\tau) + \frac{1{,}5k\Omega}{1{,}5k\Omega}(j\omega\tau)^2}$$

$$\frac{U_2}{U_e} = \frac{(j\omega\tau)^2}{1 + \frac{1{,}5k\Omega}{R_1} j\omega\tau + (j\omega\tau)^2}$$ ✓

4P

Tiefpass: mit $\tau = 1{,}5k\Omega \cdot C$

$$\frac{U_4}{U_e} = \frac{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega}{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega}{1{,}5k\Omega \cdot R_1} j\omega\tau + \frac{1{,}5k\Omega}{1{,}5k\Omega}(j\omega\tau)^2}$$

$$\frac{U_4}{U_e} = \frac{1}{1 + \frac{1{,}5k\Omega}{R_1} j\omega\tau + (j\omega\tau)^2}$$ ✓

4P

c) $f_g = 3kHz$
$a_1 = 1{,}414$ $b_1 = 1$ Butterworth

$$\frac{a_1}{\omega_g} = \frac{1{,}5k\Omega \cdot \tau}{R_1} = \frac{1{,}5k\Omega \cdot 1{,}5k\Omega \cdot C}{R_1}$$ ✓

$$\frac{b_1}{\omega_g^2} = \tau^2 = (1{,}5k\Omega)^2 \cdot C^2 \Rightarrow C^2 = \frac{b_1}{\omega_g^2 \cdot (1{,}5k\Omega)^2}$$ ✓

$$C = \sqrt{\frac{1}{(2\pi\, 3kHz)^2 \cdot (1{,}5k\Omega)^2}} = 35{,}37nF$$ ✓

4P

7/12 5

25.1.13

3c)

$$R_1 = \frac{1{,}5\,k\Omega \cdot 1{,}5\,k\Omega \cdot C \cdot \omega_g}{a_1} = \frac{(1{,}5\,k\Omega)^2 \cdot 35{,}37\,nF \cdot 2\pi \cdot 3\,kHz}{1{,}414}$$

$$\underline{\underline{R_1 = 1{,}06\,k\Omega}}$$ ✓ 4 P

d)

$$\left|\frac{U_4}{U_e}\right| = \frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2\tau^2)^2 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\omega\tau\right)^2}}$$ Tiefpass

$$\left|\frac{U_2}{U_e}\right| = \frac{(\omega\tau)^2}{\sqrt{(1-\omega^2\tau^2)^2 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\omega\tau\right)^2}}$$ Hochpass

$$\left|\frac{U_4}{U_e}\right| = \left|\frac{U_2}{U_e}\right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$$ ✓

$$\cancel{\frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2\tau^2)^2 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\omega\tau\right)^2}} = \frac{(\omega\tau)^2}{\sqrt{(1-\omega^2\tau^2)^2 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\omega\tau\right)^2}}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{(1-\omega^2\tau^2)^2 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\omega\tau\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$ Tiefpass ✓

$$(1-\omega^2\tau^2)^2 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\omega\tau\right)^2 = 2$$ ✓

$$1 - 2\omega^2\tau^2 + \omega^4\tau^4 + \left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\right)^2\omega^2\tau^2 = 2$$

$$\omega^2\tau^2\left(\left(\frac{1{,}5\,k\Omega}{R_1}\right)^2 - 2\right) + \omega^4\tau^4 = 1 \quad \Rightarrow \text{Tiefpass}$$ ✓

8/12 6

25.1.13

3d) Hochpass

$$\frac{(\omega\tau)^2}{\sqrt{(1-\omega^2\tau^2)^2+\left(\frac{1{,}5k\Omega}{R_1}\right)^2\omega^2\tau^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\omega^2\tau^2\sqrt{2} = \sqrt{1-2\omega^2\tau^2+\omega^4\tau^4+\left(\frac{1{,}5k\Omega}{R_1}\right)^2\omega^2\tau^2}$$

$$\omega^4\tau^4\,2 = 1-2\omega^2\tau^2+\omega^4\tau^4+\left(\frac{1{,}5k\Omega}{R_1}\right)^2\omega^2\tau^2$$

$$\omega^4\tau^4(2-1)+\omega^2\tau^2\left(\left(\frac{1{,}5k\Omega}{R_1}\right)^2-2\right)=1$$

$$\underline{\omega^4\tau^4+\omega^2\tau^2\left(\left(\frac{1{,}5k\Omega}{R_1}\right)^2-2\right)=1} \Rightarrow \text{Hochpass} \checkmark$$

identisch mit Tiefpass

$$\underline{\omega^4\tau^4+\omega^2\tau^2\left(\left(\frac{1{,}5k\Omega}{R_1}\right)^2-2\right)=1} \Rightarrow \text{Tiefpass} \checkmark$$

Hochpassgleichung = Tiefpassgleichung
bedeutet, dass die gleiche Grenzfrequenz haben!

OK

178

9/12

25.1.13

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	GN	HSS

FSR - Klausurensammlung

4. Aufgabe)

geg.: $f_{Tr} = 2\,MHz$

unmoduliert an R_L $P_{AM} = 20\,mW$ (13dBm)

$f_{mod.} = 5\,kHz$

$K = 0{,}5\,V^{-1}$

a) Formeln Seite (5-6)

$u_a = u_x \cdot u_y \cdot 0{,}5\,V^{-1} = u_x \cdot u_y \; K$

$u_{AM}(t) = K \cdot u_1(t) \cdot u_2(t) + u_2(t)$ ✓

$= K \cdot \hat{u}_1 \cdot \cos(\omega_1 t) \cdot \hat{u}_2 \cdot \cos(\omega_2 t) + \hat{u}_2 \cdot \cos(\omega_2 t)$

$u_{AM}(t) = \hat{u}_2 \cdot \cos(\omega_2 t) +$ ✓

$\frac{K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}{2} \cdot \cos((\omega_2 - \omega_1)t) +$ ✓ 5P

$\frac{K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}{2} \cdot \cos((\omega_2 + \omega_1)t)$ ✓

[Umgeformt mit: $\cos(x) \cdot \cos(y) = \frac{1}{2}[\cos(x-y) + \cos(x+y)]$]

maximaler Scheitelwert

$\underline{\hat{u}_{AM\,max}} = \hat{u}_2 + 2 \cdot \frac{K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}{2} = \underline{\hat{u}_2 + K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}$ ✓

4P

minimaler Scheitelwert ✓

$\underline{\hat{u}_{AM\,min}} = \hat{u}_2 - 2 \cdot \frac{K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}{2} = \underline{\hat{u}_2 - K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}$

[$\hat{u}_2$ ≙ Trägerspannung
$\hat{u}_1$ ≙ Modulationsspannung]

10/12

~~SS~~ / WS 12/13 | Semester E4 | Fach GN | Dozent MSS
FSR - Klausurensammlung

4b)

G_1 muss $f_{mod} = 5\,kHz$ ✓ (2P)

G_2 muss $f_{Tr} = 2\,MHz$ ✓

c) ges.: U_{1eff}, U_{2eff} Formeln Seite $\binom{5-4}{5-5}$

$m = 30\%$

$P_{Tr} = 20\,mW$

$$U_{Tr} = \sqrt{P_{Tr} \cdot R} = \sqrt{20\,mW \cdot 50\,\Omega} = 1\,V$$

$$\hat{u}_{Tr} = U_{TR} \cdot \sqrt{2} = 1\,V \cdot \sqrt{2} = 1{,}41\,V$$

$$m = 2 \cdot \frac{\hat{u}_{Seite}}{\hat{u}_{Tr}} \cdot 100\% \Rightarrow \hat{u}_{Seite} = \frac{m \cdot \hat{u}_{Tr}}{2 \cdot 100\%}$$

$$\hat{u}_{Seite} = \frac{30\% \cdot 1{,}41\,V}{2 \cdot 100\%} = 0{,}212\,V$$

$$\hat{u}_{Tr} = \hat{u}_2 = 1{,}41\,V \Rightarrow U_{2eff} = \frac{\hat{u}_2}{\sqrt{2}} = 1\,V$$

$$\hat{u}_{Seite} = \frac{K \cdot \hat{u}_1 \cdot \hat{u}_2}{2} \Rightarrow \hat{u}_1 = \frac{\hat{u}_{Seite} \cdot 2}{\hat{u}_2 \cdot K}$$ ✓

$$\hat{u}_1 = \frac{0{,}212\,V \cdot 2}{1{,}41\,V \cdot 0{,}5\,V^{-1}} = 0{,}6\,V \Rightarrow U_{1eff} = \frac{\hat{u}_1}{\sqrt{2}} = 0{,}42\,V$$

$G_1 \Rightarrow U_{1eff} = 0{,}42\,V$ ✓ (8P)

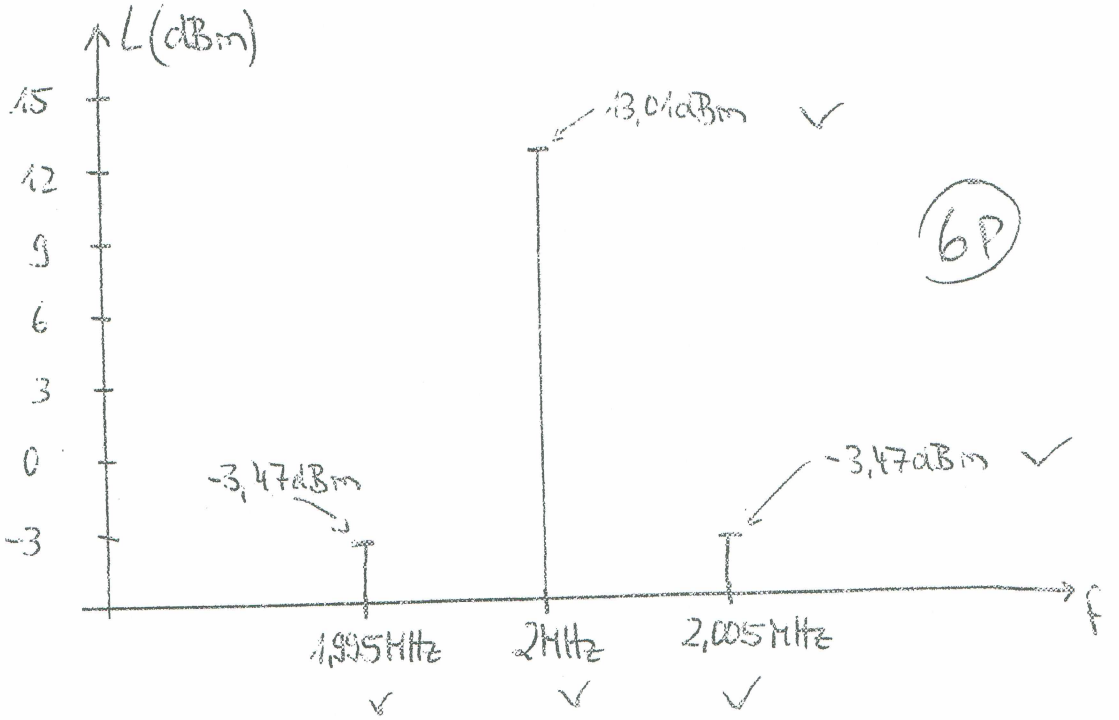
$G_2 \Rightarrow U_{2eff} = 1\,V$ ✓

25.1.13

4d) $L_{Tr} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{Tr}}{1mW}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{20mW}{1mW}\right) = 13{,}01\,dBm$

$$P_{Seite} = \frac{\left(\frac{\hat{u}_{Seite}}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} = \frac{\left(\frac{0{,}212V}{\sqrt{2}}\right)^2}{50\Omega} = 449{,}44\,\mu W$$

$$L_{Seite} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{Seite}}{1mW}\right) = -3{,}47\,dBm$$



6P

12/12

10