

96 Punkte  
15 LP

Klausur Grundlagen Nachrichtentechnik  
Semestergruppe E4b, 7.7.2005

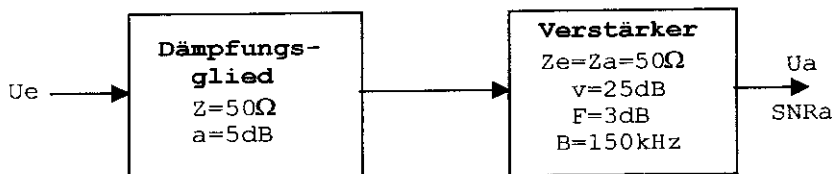
Name: Lars Behag

Matr.-Nr. \_\_\_\_\_

**Hinweis:** Formeln dürfen nur aus dem Umdruck des GN-Vorlesungsskriptums bzw. aus GN-Übungen oder mathematischen Formelsammlungen übernommen werden, aber immer mit Quellenangabe! In allen anderen Fällen muss der Lösungsweg (Rechengang) vollständig mit angegeben werden.

**1. Aufgabe** (20 Punkte)

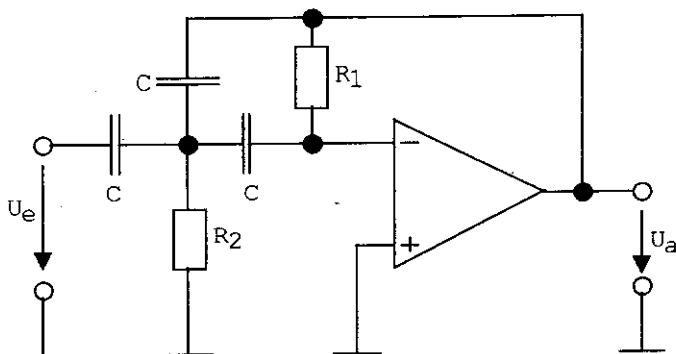
Ein Empfangssystem besteht aus einem Dämpfungsglied mit 5dB Dämpfung und einem Schmalbandverstärker mit 25dB Verstärkung, 150kHz Bandbreite und 3dB Rauschmaß. ( $T=290K$ )



- a. Wie groß sind Gesamtverstärkung und Gesamt rauschmaß?
- b. Bei welcher Eingangsspannung tritt am Ausgang ein Signal-Rauschabstand von 40dB auf?

**2. Aufgabe** (30 Punkte)

Das aktive Filter 2. Ordnung ist zu analysieren.



- a. Geben Sie Übertragungsfunktion  $U_a/U_e = f(\omega)$  in Normalform\* an!
- b. Berechnen Sie für den Fall  $R_1 = 4,5 \cdot R_2$  aus a. die allgemeine Gleichung für die Grenzfrequenz  $f_g$  in möglichst einfacher (kurzer) Form!
- c. Berechnen Sie  $R_1$  und  $R_2$  für Tschebyscheffverhalten,  $C = 10nF$  und  $f_g = 10kHz$ !

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

RÜCKSEITE!

### 3. Aufgabe (20 Punkte)

Von einer schwach gedämpften Leitung haben die Beläge die Werte

$$L' = 0,5 \mu\text{H/m}, \quad C' = 150 \text{ pF/m}, \quad R' = 0,5 \Omega/\text{m}, \quad G' = 0 \text{ S/m}$$

- ☒ a. Skizzieren Sie das Ersatzschaltbild eines Leitungselements!
- ☒ b. Berechnen Sie Wellenwiderstand (komplex), Dämpfungs- und Phasenkoeffizient für  $f = 2 \text{ MHz}$ !
- ☒ c. In ein  $50 \text{ m}$  langes Stück dieser Leitung wird eine sinusförmige Spannung mit  $U_1 = 1 \text{ V}$ ,  $f = 2 \text{ MHz}$  eingespeist. Welche Amplitude und welche Phasenverschiebung (in Grad) hat die Spannung am Leitungsende, wenn dort keine Reflexion auftritt?

### 4. Aufgabe (10 Punkte)

Ein Verstärker hat eine Übertragungskennlinie

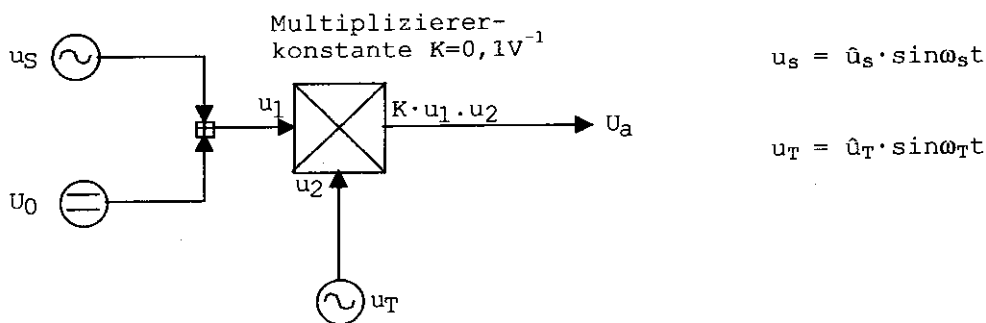
$$U_a = 10 \cdot u_e + 1 \text{ V}^{-1} \cdot u_e^2 + 0,25 \text{ V}^{-2} \cdot u_e^3$$

und wird mit  $u_e = 1 \text{ V} \cdot \sin \omega_e t$  im Arbeitspunkt  $U_{e0} = 0 \text{ V}$  angesteuert.

- ☒ a. Berechnen Sie den Klirrfaktor der Ausgangsspannung!
- ☒ b. Welche Ausgangsleistung wird in einem Lastwiderstand von  $50 \Omega$  erzeugt?

### 5. Aufgabe (20 Punkte)

Der dargestellte AM-Modulator ist zu analysieren!



- ☒ a. Geben Sie die allgemeine Gleichung für  $u_a(t)$  in einer Form an, bei der die einzelnen Spektralkomponenten der AM-Schwingung in einer Summe auftreten!
- ☒ b. Warum hängt der Modulationsgrad nicht von  $u_T$  ab?
- ☒ c. Wie groß muss  $U_0$  gewählt werden, damit bei  $\hat{u}_s = 2 \text{ V}$  ein Modulationsgrad von 60% erzeugt wird?
- ☒ d. Skizzieren Sie das Betragsspektrum am Ausgang mit Angabe von Amplitude und Frequenz für die Fälle

1.  $\hat{u}_s = \hat{u}_T = 1 \text{ V}$  und  $U_0 = 0 \text{ V}$ ,  $f_s = 50 \text{ kHz}$ ,  $f_T = 1 \text{ MHz}$
2.  $U_0 = \hat{u}_T = 1 \text{ V}$  und  $\hat{u}_s = 0 \text{ V}$ ,  $f_s = 50 \text{ kHz}$ ,  $f_T = 1 \text{ MHz}$

und geben Sie dabei an, ob die Spektrallinien die Spitzen- oder Effektivwerte der Amplituden darstellen.

②

Skript S. 4-6

Schaltung: Hochpass mit Mehrfachgekoppelung. ✓

$$a) \quad Y_1 = j\omega C \quad Y_2 = \frac{1}{R_2} \quad Y_3 = j\omega C \quad Y_4 = j\omega C$$

$$Y_5 = \frac{1}{R_1}$$

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{-(j\omega)^2 C^2}{\frac{1}{R_1} (j\omega C + \frac{1}{R_2} + j\omega C + j\omega C) + (j\omega)^2 C^2}$$

$$= \frac{-(j\omega)^2 C^2}{\frac{1}{R_1 R_2} + j\omega 3 \frac{C}{R_1} + (j\omega)^2 C^2}$$

$$= \frac{-(j\omega)^2 C^2 R_1 R_2}{1 + j\omega 3 C R_1 + (j\omega)^2 C^2 R_1 R_2}$$

8P

~~$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{-(j\omega)^2 C^2 R_1 R_2}{1 + j\omega 3 C R_1 + (j\omega)^2 C^2 R_1 R_2}$$~~

②

Lars Berth

-2-

c)

Formeln Skript S 4-7

$$R_1 = \frac{3}{9} \cdot \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

$$R_2 = \frac{9}{35} \cdot \frac{1}{2\pi f_0 C}$$

Tschekyochs: Skript S 4-4

$$a = 1,065 \quad b = 1,031$$

$$R_1 = \frac{3}{1,065} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 10 \text{ kHz} \cdot 10 \text{ nF}} = \underline{\underline{4,48 \text{ k}\Omega}} \quad \checkmark$$

$$R_2 = \frac{1,065}{3 \cdot 1,031} \cdot \frac{1}{2\pi \cdot 10 \text{ kHz} \cdot 10 \text{ nF}} = \underline{\underline{293 \Omega}} \quad \checkmark$$

129

b)

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{-j\omega^2 C^2 4,5 R_2^2}{1 + j\omega 3CR_2 + (j\omega)^2 C^2 4,5 R_2^2}$$

$$\left| \frac{U_a}{U_e} \right| = \frac{\omega^2 C^2 4,5 R_2^2}{\sqrt{(1 - \omega^2 C^2 4,5 R_2^2)^2 + (3\omega C R_2)^2}} \stackrel{!}{=} \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} \quad \checkmark$$

$$V_{\max} = \left| \frac{U_a}{U_e} \right|_{\omega \rightarrow \infty} = \frac{\omega^2 C^2 R_2^2 \cdot 4,5}{\omega^2 C^2 4,5 R_2^2} = \underline{\underline{1}} \quad \text{weiter auf Seite 25-}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow 2C^4 4,5 R_2^4 \omega_g^4 &= (1 - \omega_g^2 C^2 4,5 R_2^2)^2 + (3\omega_g C R_2)^2 \\ \omega_g^4 2C^4 4,5 R_2^4 &= 1 - 2\omega_g^2 C^2 4,5 R_2^2 + \omega_g^4 C^4 4,5 R_2^4 + 9\omega_g^2 C^2 R_2^2 \\ 0 &= 1 + 11,25 \omega_g^4 C^4 R_2^4 - 9\omega_g^2 C^2 R_2^2 = 1 + 11,25 \omega_g^4 C^4 R_2^4 \\ \omega_g &= \sqrt[4]{\frac{-1}{11,25 C^4 R_2^4}} = \underline{\underline{\frac{1}{11,25^{1/4} \cdot C \cdot R_2}}} \end{aligned}$$

zu ②:

Low Belf

-26-

b)

$$2 \cdot 4,5^2 \omega_y^4 C^4 R_2^4 = (1 - \omega_y^2 C^2 4,5 R_2^2)^2 + (3 \omega C R_2)^2$$

$$40,5 \omega_y^4 C^4 R_2^4 = 1 - \cancel{2 \cdot 4,5^2 \omega_y^2 C^2 R_2^2} + \cancel{20,25 \omega_y^4 C^4 R_2^4} + \cancel{9 \omega^2 C^2 R_2^2}$$

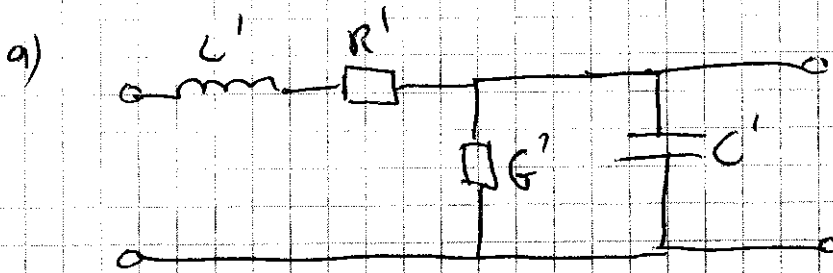
$$20,25 \omega_y^4 C^4 R_2^4 = 1$$

$$\Rightarrow \omega_y = \sqrt[4]{\frac{1}{20,25 C^4 R_2^4}} \Rightarrow \frac{1}{2,121 \cdot C \cdot R_2}$$

$$\Rightarrow f_y = \frac{1}{2\pi \cdot 2,121 \cdot C \cdot R_2 \sqrt{}} = \frac{1}{13,327 \cdot C \cdot R_2}$$

100

3



2P

$$Z_W = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}} \quad (\text{allgemein})$$

b) → schwach gedämpft: (S 3-5)

$$Z_W = \sqrt{\frac{95 \Omega/m + j 2\pi 2 \text{ MHz} \cdot 0,5 \frac{\text{mH}}{\text{m}}}{j 2\pi 2 \text{ MHz} \cdot 150 \frac{\text{pF}}{\text{m}}}}$$

$$= 57,78 \Omega - j 2,295 \Omega \hat{=} 57,83 \Omega \cdot e^{-j 2,275}$$

Schwach gedämpft:  $\alpha \approx \frac{R'}{2\sqrt{L'/C'}}$  (Skript S 3-4)

$$\alpha = 4,33 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{m}} \quad \checkmark$$

$\beta \approx \omega \sqrt{L'C'}$

12P

$$\beta \approx 2\pi 20 \text{ MHz} \cdot \sqrt{0,5 \mu\text{H/m} \cdot 150 \text{ pF/m}} = 108,83 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{m}} \quad \checkmark$$

b) Reflexionskoeffizient Abschlus

$$A = e^{-\alpha \cdot L} = e^{-4,33 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \text{ m}} = 0,8053 = \frac{U_2}{U_1}$$

$$U_2 = U_1 \cdot 0,8053 = 0,8053 \text{ V} \quad \checkmark$$

6P

$$\varphi = -\beta \cdot L \quad (\text{aus Praktikumsunterlagen}) = -108,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{rad}}{\text{m}} \cdot 50 \text{ m} = -5,44 \text{ rad} = -311,77^\circ \quad \checkmark$$

(4)

$$a) \quad U_a = 10 \, \text{V} \cdot u_e + 1 \, \text{V}^{-1} \cdot u_e^2 + 0,25 \, \text{V}^{-2} \cdot u_e^3$$

$$u_e = 1 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t)$$

$$\begin{aligned} U_a &= 10 \, \text{V} \sin(\omega_e t) + 1 \, \text{V}^{-1} (1 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t))^2 + 0,25 \, \text{V}^{-2} (1 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t))^3 \\ &= 10 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t) + 1 \cdot \sin^2(\omega_e t) + 0,25 \, \text{V} \cdot \sin^3(\omega_e t) \quad \checkmark \end{aligned}$$

Beitrag 5. 333 :

$$\sin^2 x = \frac{1}{2} (1 - \cos(2x))$$

$$\sin^3 x = \frac{1}{4} (3 \sin x - \sin(3x))$$

$$\begin{aligned} \rightarrow U_a &= 10 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t) + 0,5 \, \text{V} (1 - \cos(2\omega_e t)) + 0,1875 \, \text{V} (3 \sin(\omega_e t) - \sin(3\omega_e t)) \\ &= 10 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t) + 0,5 \, \text{V} - 0,5 \, \text{V} \cdot \cos(2\omega_e t) \\ &\quad + 0,1875 \cdot \sin(\omega_e t) - 0,0625 \, \text{V} \cdot \sin(3\omega_e t) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow U_a &= 10,1875 \, \text{V} \cdot \sin(\omega_e t) + 0,5 \, \text{V} - 0,5 \, \text{V} \cdot \cos(2\omega_e t) \\ &\quad - 0,0625 \, \text{V} \cdot \sin(3\omega_e t) \quad \checkmark \end{aligned}$$

(4)

a) Weiter:

$$f=0 \rightarrow U_{a0} = \underline{0,5V}$$

$$f=\omega_c \Rightarrow U_{a1} = 10,187V / \sqrt{2} = \underline{7,2V}$$

$$f=2\omega_c \Rightarrow U_{a2} = -0,5V / \sqrt{2} = \underline{-0,354V}$$

$$f=3\omega_c \Rightarrow U_{a3} = -0,0625V / \sqrt{2} = \underline{0,0442V}$$

$$k = \sqrt{\frac{U_2^2 + U_3^2}{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}} = \sqrt{\frac{(0,354V)^2 + (0,0442V)^2}{(7,2V)^2 + (0,354V)^2 + (0,0442V)^2}}$$

$$k = 0,04948 \hat{=} \underline{4,95\%} \quad \checkmark$$

b) Summe der Einzellastungen

$$P = \frac{1}{R} \sum_{i=0}^3 U_{ai}^2 = \frac{1}{50\Omega} (7,2V^2 + 0,5V^2 + 0,354V^2 + 0,0442V^2)$$

$$= \underline{\underline{1,044W}} \quad \checkmark$$

10P



⑤

a)  $U_a = U_1 \cdot U_2 \cdot K$

$$U_1 = U_0 + \hat{U}_S \cdot \sin(\omega_S t)$$

$$U_2 = \hat{U}_T \cdot \sin(\omega_T t)$$

$$U_a = U_0 \cdot \hat{U}_T \cdot \sin(\omega_T t) \cdot K + \hat{U}_S \cdot \hat{U}_T \cdot K \cdot \sin(\omega_T t) \cdot \sin(\omega_S t)$$

$$\sin x \cdot \sin b = \frac{1}{2} (\cos(x-b) - \cos(x+b)) \quad \checkmark$$

$$\rightarrow U_a = \underbrace{U_0 \cdot \hat{U}_T \cdot K \cdot \sin(\omega_T t)}_{\text{Träger}} + \underbrace{\frac{\hat{U}_S \cdot \hat{U}_T \cdot K}{2} [\cos(\omega_T - \omega_S) - \cos(\omega_T + \omega_S)]}_{\text{oberes und unteres Seitenband}} \quad \checkmark \quad (5P)$$

b)  $m = 2 \cdot \frac{U_{\text{Seite}}}{U_{\text{Tr}}} = \frac{\hat{U}_S \cdot \hat{U}_T \cdot K}{U_0 \cdot \hat{U}_T \cdot K} = \frac{\hat{U}_S}{U_0} \quad \checkmark$

$\rightarrow \hat{U}_T$  kürzt sich heraus!  $\checkmark$

(3P)

c)  $m = 60\% \leq 0,6 = \frac{\hat{U}_S}{U_0}$

$$\rightarrow U_0 = \frac{\hat{U}_S}{0,6} = \frac{2V}{0,6} = \underline{\underline{3,33V}} \quad \checkmark$$

(4P)

⑤

Lars Bethege

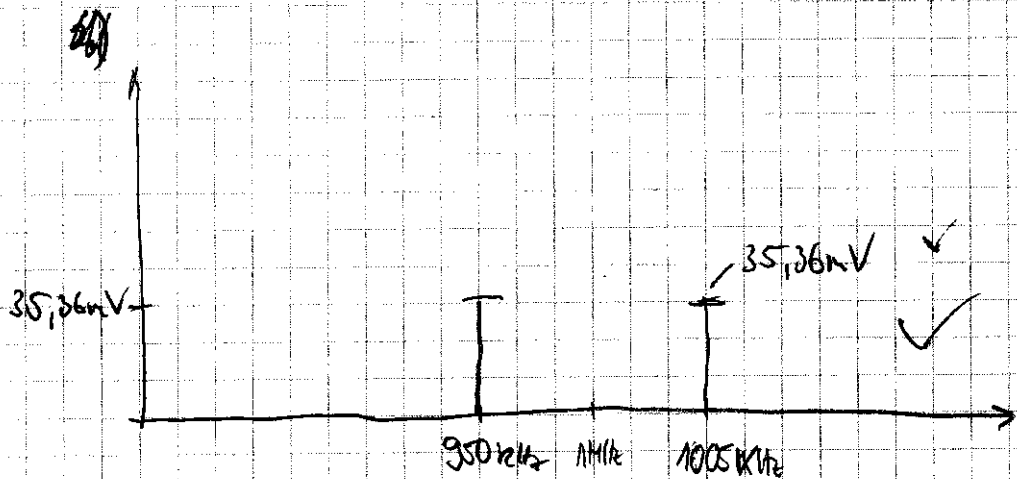
d)

$$1.) \hat{u}_s = \hat{u}_r = 1V, U_0 = 0V, f_c = 50kHz, f_T = 10kHz$$

$$\hat{u}_{\text{Träger}} = U_0 \cdot \hat{u}_T \cdot K = \underline{\underline{0V}}$$

$$\hat{u}_{\text{Seite}} = \frac{\hat{u}_s \cdot \hat{u}_T \cdot K}{2} = \frac{1V \cdot 1V \cdot 0,1V}{2} = \underline{\underline{0,05V}}$$

→ Träger taucht im Spektrum nicht auf!  
 ⇒ Zweiseitenbandmodulation!



Im Spektrum (Betragsspektrum) werden i. A. Effektivwerte angegeben.

$$\rightarrow U_{\text{Seite}} = \frac{0,05V}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{35,36mV}}$$

Fall 2 siehe S. 8

(5) d) Fall 2:

$$U_0 = \hat{u}_r = 1V, \quad \hat{u}_s = 0V, \quad f_0 = 50kHz, \quad f = 1MHz$$

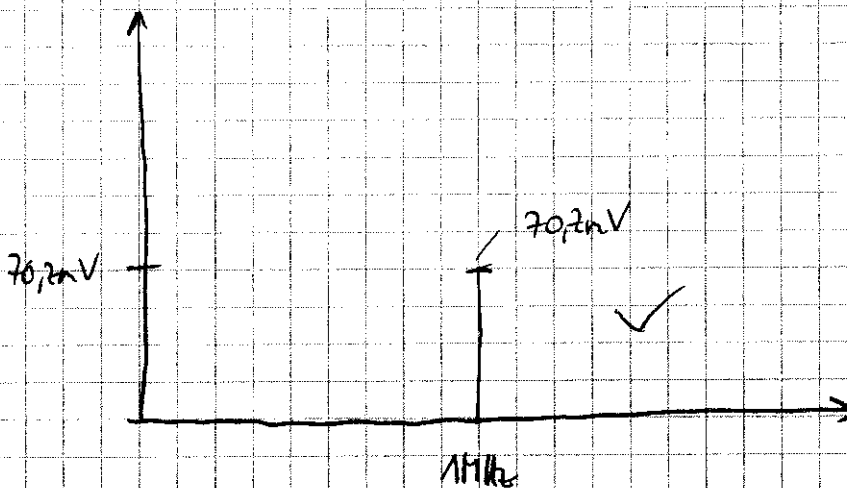
$$\hat{u}_{\text{Trägerspekt.}} = U_0 \cdot \hat{u}_r \cdot k = \underline{\underline{0,1V}}$$

$$\hat{u}_{\text{seite}} = \frac{\hat{u}_s \cdot \hat{u}_r \cdot k}{2} = \underline{\underline{0V}}$$

→ Unmoduliertes Signal!

⇒ nur Träger vorhanden.

$$\text{Effektivwert} = \frac{0,1V}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{70,7mV}} \quad \checkmark$$



(4P)

①

a)

$$F_{ges} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{V_{p1}} \quad \checkmark$$

$$F_1 = F_{DG} = 5 \text{ dB} \quad (\text{dc passives System}) \rightarrow F_1 \stackrel{0,5}{=} 10$$

$$= 3,162 \quad \checkmark$$

$$V_{p1} = V_{PDG} = 10^{-\frac{5 \text{ dB}}{10}} = 0,3162$$

$$F_2 = 10^{\frac{3}{10}} = 33,33 \quad \checkmark$$

$$F_{ges} = 3,162 + \frac{33,33 - 1}{0,3162}$$

$$\approx 2!$$

$$= 105,418 \Rightarrow F_{ges}(\text{dB}) = 10 \cdot \log(F_{ges})$$

$$= 20,23 \text{ dB} \quad \checkmark$$

5P

$$V_{ges} = V_1(\text{dB}) + V_2(\text{dB}) = -5 \text{ dB} + 25 \text{ dB} = 20 \text{ dB} \quad \checkmark$$

3P

b)  $\text{SNR}_a = 40 \text{ dB}$

$$\text{SNR}_e = F + \text{SNR}_a = 65,23 \text{ dB} \stackrel{!}{=} 333 \cdot 10^6 \quad \checkmark$$

$$P_{r1} = K \cdot T \cdot B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 290 \text{ K} \cdot 150 \text{ MHz} = 600,3 \cdot 10^{-18} \text{ W} \quad \checkmark$$

$$P_{s1} = P_{r1} \cdot \text{SNR}_e = 600,3 \cdot 10^{-18} \text{ W} \cdot 333 \cdot 10^6 = 2,00 \text{ nW} \quad \checkmark$$

$$\rightarrow u_e = \sqrt{P_{s1} \cdot R_0} = \sqrt{2 \text{ nW} \cdot 50 \Omega} = 0,316 \mu\text{V} \quad \checkmark$$

keine  
fehler

8P