

# Fachhochschule Regensburg

## Fachbereich Elektrotechnik

Prüfungsfach: **Schaltungstechnik (SC), SS 2000**

Prüfungstermin: 18. Juli 2000      Studiengruppe: E5D & E5N

Prüfungsdauer: 90 Minuten (planmäßig: 08.15 – 09.45 Uhr)

Zugelassene Hilfsmittel: Formelsammlung

Aufgabensteller: Prof. Dr. Martin Schubert

Prüfungsteilnehmer/in: (Bitte leserlich in Druckbuchstaben)      Sem.: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

Vorname: \_\_\_\_\_      MatNr: \_\_\_\_\_

>>>>> **Alle Aufgabenblätter sind als Bestandteil der Lösung mit abzugeben !** <<<<<

**Alle zusätzlichen Blätter** können nur dann gewertet werden, wenn Sie durch Angabe des Namens, des Datums und der bearbeiteten Aufgabe **eindeutig zuzuordnen** sind !

**Maximal erreichbare Punktzahl: 95 Punkte.**

Runden Sie Zahlenwerte typischerweise auf drei geltende Ziffern oder auf so viele Ziffern, wie offensichtlich notwendig sind (z.B.  $x=0,9997$ , wenn das Ergebnis  $x < 1$  sein muß).

>>>>> **Rot ist Korrekturfarbe, bitte keinen Rotstift verwenden !** <<<<<

### Weitere Hinweise:

Die Aufgaben sind so aufgebaut, daß Folgefehler nach Möglichkeit vermieden werden. Eine Aufgabe muß nicht in jedem Fall aufgegeben werden, wenn der Faden einmal abreißt.

Kalkuliert wurde ein Zeitbedarf von ca. einem Punkt pro Minute. Verwenden Sie nicht zu viel Zeit für Aufgaben, die nur wenige Punkte bringen.

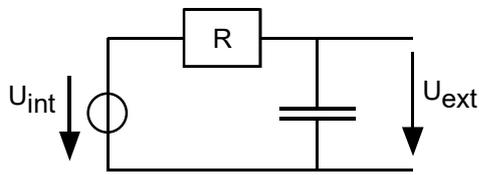
Hinweis zur Korrektur: „FF“, steht für Folgefehler.

Punkte:	Note:	Datum:	Prüfer:
---------	-------	--------	---------

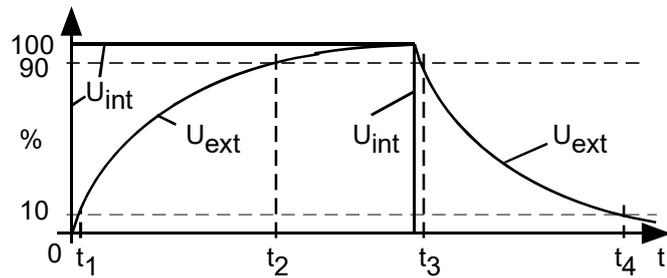
# 1 Grundlagen

( $\Sigma=10P$ )

(a)



(b)



**Abbildung 1: (a)** RC-Glied,

**(b)** Sprungantworten

Den Ausgang einer komplizierten Schaltung stellt man oft als RC-Glied dar, dessen Ausgangsspannung  $U_{\text{ext}}$  der internen Spannungsquelle  $U_{\text{int}}$  folgt.

Aufgabe: Die interne Spannung  $U_{\text{int}}$  springt in  $t=0$  von 0% auf 100% ihres digitalen Signalwertes. Berechnen Sie nachvollziehbar die Anstiegszeit  $t_r=t_2-t_1$  (rise time,  $U_{\text{ext}}$  steigt von 10% auf 90%) als Funktion der Grenzfrequenz  $f_g$  des RC-Gliedes. (Berechnung auf 4 geltende Ziffern genau, dann auf 2 Ziffern runden.) **(9P)**

Wie berechnet man die Abfallzeit (fall time) von 90% auf 10%, beziehungsweise  $t_f=t_4-t_3$  gemäß Abb. 1, wenn die Anstiegszeit  $t_r$  gegeben ist? **(1P)**

## 2 HF - Verstärker mit Bipolar-Transistor (Σ=45P)

Sie sehen in Abb. 2 eine Empfängerschaltung. Die Antenne ist als Generator mit Innenwiderstand  $R_G$  dargestellt, gefolgt von einer Leitung mit  $Z_w=50\Omega$  Wellenwiderstand. Um Reflexionen auf der Leitung zu vermeiden, muß diese mit einer Last von  $50\Omega$  abgeschlossen werden.

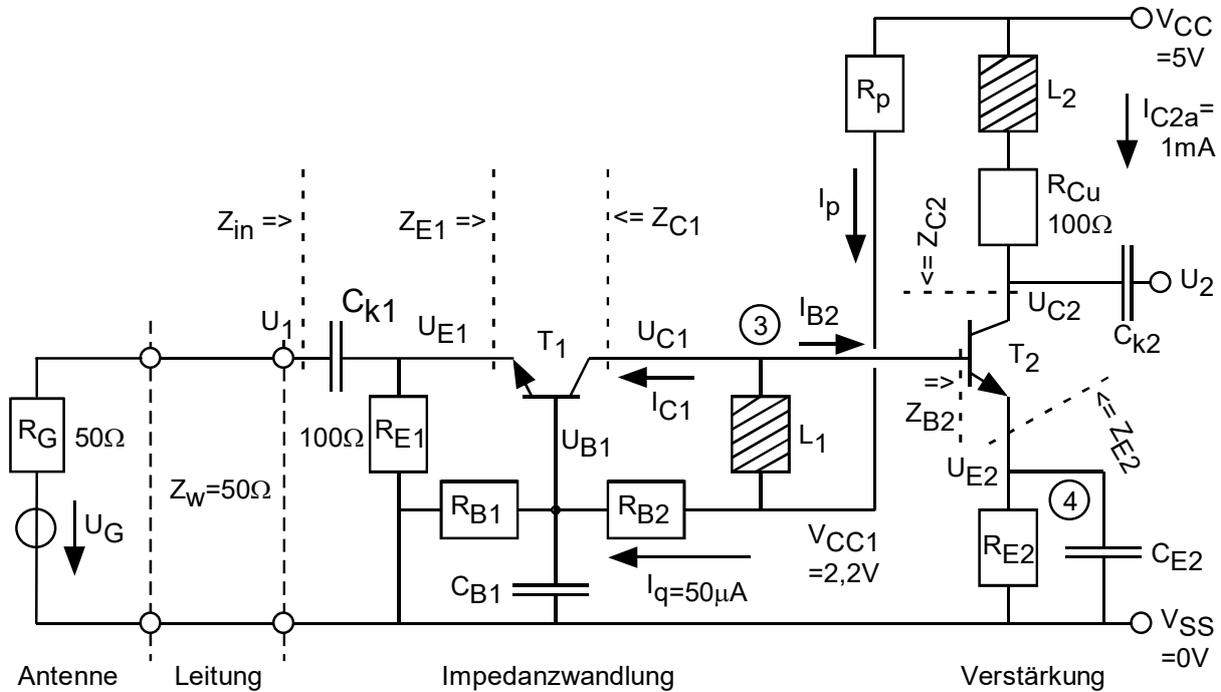


Abbildung 2 : HF - Verstärker mit Bipolar-Transistor und  $50\Omega$  Eingangswiderstand

**Gegeben:**

- Temperatur :  $T = 300\text{ K}$ ,  $\rightarrow$  Temperaturspannung :  $u_T = 26\text{ mV}$ ,
- Spannungen + Ströme:  $V_{CC} = 5\text{ V}$ ,  $V_{CC1} = 2,2\text{ V}$ ,  $I_{C2a} = 1\text{ mA}$
- Transistor T1 :  $V_{A1} = 52\text{ V}$  (Early-Voltage),  $U_{BE1} = 0,67\text{ V}$ ,  $\beta_1 = 130$ ,  $U_{CE,sat,1} = 0,3\text{ V}$
- Transistor T2 :  $V_{A2} = 52\text{ V}$  (Early-Voltage),  $U_{BE2} = 0,70\text{ V}$ ,  $\beta_2 = 100$ ,  $U_{CE,sat,2} = 0,3\text{ V}$
- Kapazitäten :  $C_B, C_{k1}, C_{k2}$  : für die interessierenden AC-Signale sei  $X_C \cong 0\Omega$ .
- Induktivitäten :  $L_{C1}, L_{C2}$  : für die interessierenden AC-Signale sei  $X_L \rightarrow \infty$ .

a) Zeigen Sie, daß  $I_{C1a}=260\mu\text{A}$  und  $U_{E1a}=26\text{mV}$ , wenn der Strom durch  $T_1$  so eingestellt wird, daß die Antennenleitung mit ihrem Wellenwiderstand von  $Z_w=50\Omega$  abgeschlossen wird. (Der Index 'a' steht für 'im Arbeitspunkt'. Machen Sie die Näherung  $I_{C1} \cong I_{E1} \gg I_{B1}$ ).

$Z_{E1} = \dots$  , weil  $\dots$  (2P)

mit  $Z_{E1} = \dots \Rightarrow I_{C1a} = \dots = 260\ \mu\text{A}$  (2P)

$U_{E1a} = \dots = 26\text{ mV}$  (1P)

b) Der Querstrom  $I_q$  durch die Widerstände  $R_{B1}$ ,  $R_{B2}$  wird auf  $I_q = 50 \mu A$  festgelegt. Ist die Faustregel  $I_q \geq 10 I_B$  damit erfüllt ? O ja    O nein    (1P)

$I_{B1a} = \dots = \dots \mu A$

c) Berechnen Sie  $R_{B1}$  und  $R_{B2}$ . (Einfluß von  $I_{B1}$  vernachlässigen, Erinnerung:  $U_{BE1}=0,67V$ .)

$U_{B1a} = \dots \cong 0,70 \text{ V} \quad (1P)$

$R_{B1} = \dots = \dots \text{ K}\Omega \quad (1P)$

$R_{B2} = \dots = \dots \text{ K}\Omega \quad (2P)$

d) Wo liegt der Arbeitspunkt  $U_{C1a}$  des Kollektors der ersten Stufe ? (1P)

$U_{C1a} = \dots = \dots \text{ V}$

e) Zeigen Sie, daß  $U_{E2a}=1,5V$  sein muß. (1P)

$U_{E2a} = \dots = 1,5 \text{ V}$

f) Stellen Sie  $I_{C2a}=1mA$  ein ! (2P)

$\dots = \dots = \dots$

g) Wie groß ist der Arbeitspunkt-Basisstrom  $I_{B2a}$  der zweiten Stufe? (1P)

$I_{B2a} = \dots = \dots \mu A$

h) Bemessen Sie den Widerstand  $R_p$  so, daß  $V_{CC1} = 2,2 \text{ V}$  wird.

$I_p = \dots = \dots \mu A \quad (2P)$

$R_p = \dots = \dots \text{ K}\Omega \quad (1P)$

i) Zeigen Sie, daß der Arbeitspunkt  $U_{C2a}$  des Kollektors der zweiten Stufe bei  $4,9V$  liegt. (1P)

$U_{C2a} = \dots = 4,9 \text{ V}$

j) Bei welcher Spannung  $U_{C2,min}$  geht der Kollektor der zweiten Stufe in Sättigung ? (1P)

$U_{C2,min} = \dots = \dots \text{ V}$

k) Wie groß ist die maximale Ausgangsamplitude  $|\hat{u}_{C2}|$  der zweiten Stufe ? (1P)

$|\hat{u}_{C2}| = \dots = \dots \text{ V}$

l) Wie groß ist die AC – Eingangsimpedanz  $Z_{B2}$  der zweiten Stufe? **(1P)**

$$Z_{B2} = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

m) Wie groß ist die AC – Ausgangsimpedanz  $Z_{out,2}$  der zweiten Stufe? (Hinweis:  $X_{L2} \rightarrow \infty!$ ) **(2P)**

$$Z_{out,2} = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

n) Wie groß ist der Übertragungsleitwert  $g_{m2}$  des Transistors  $T_2$  ? **(1P)**

$$g_{m2} = \dots = \dots \text{ 1}/\Omega$$

o) Zeigen Sie, daß für die Spannungsverstärkung der 2. Stufe bei  $R_L \rightarrow \infty$  gilt:  $A_{V2} = -2000$  **(1P)**

$$A_{V2} = \dots = -2000$$

p) Welchen gesamten Kleinsignal-Emitterwiderstand  $R_{E,T1}$  'sieht' der Emitter von  $T_1$  ? **(2P)**

$$R_{E,T1} = \dots = \dots \Omega$$

q) Wie groß ist der Kleinsignalparameter  $r_{CE1}$  des Transistors  $T_1$  ? **(1P)**

$$r_{CE1} = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

r) Zeigen Sie, daß der Kollektor von  $T_1$  eine Kleinsignalimpedanz von  $Z_{C1} \cong 266 \text{ K}\Omega$  zum Knoten 3 beiträgt. **(1P)**

$$Z_{C1} = \dots = 266 \text{ K}\Omega$$

s) Berechnen Sie die Impedanz  $Z_3$  des Knotens 3 gegen Masse (mit 3 geltenden Ziffern!) **(1P)**

$$Z_3 = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

t) Der Eingangsleitwert  $g_{m1} = i_{E1}/v_{E1}$  der ersten Stufe ist bekannt. Wie groß ist der Übertragungsleitwert  $G_{m1} = i_{C1}/v_{E1}$  der ersten Stufe? (Abschätzung:  $i_E \cong i_C$ .) **(1P)**

$$G_{m1} = \dots = \dots \text{ 1}/\Omega$$

u) Zeigen Sie, daß sich die Spannungsverstärkung der ersten Stufe mit  $A_{V1} \cong 26$  abschätzen läßt. **(1P)**

$$A_{V1} = \dots = \dots \cong 26$$

v) Wie groß ist die AC - Spannungsverstärkung der gesamten Schaltung für  $R_L \rightarrow \infty$ ? (1P)

$$A_{V\infty} = \dots = \dots$$

w) Wie groß ist die Kleinsignal-Ausgangsimpedanz  $Z_{out}$  der gesamten Schaltung? (1P)

$$Z_{out} = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

x) Der Ausgang wird mit  $R_L=52\text{K}\Omega$  belastet. Zeigen Sie, daß die Spannungsverstärkung der gesamten Schaltung sich damit zu  $A_v(R_L)=-26000$  ergibt. (1P)

$$A_v(R_L=52\text{K}\Omega) = \dots = -26000$$

y) Wie groß ist die Stromverstärkung der gesamten Schaltung für  $R_L = 52 \text{ K}\Omega$ ? (2P)

$$A_i(R_L=52\text{K}\Omega) = \dots = \dots$$

z) Wie groß ist die Leistungsverstärkung der gesamten Schaltung für  $R_L = 52 \text{ K}\Omega$ ? (1P)

$$A_P(R_L=52\text{K}\Omega) = \dots = \dots$$

**Berechnung der Kapazitäten für eine untere Grenzfrequenz von  $f_{gu}=100\text{KHz}$**

Zeigen Sie, daß der Emitter von  $T_2$  eine Impedanz von  $Z_{E2}\cong 2,7\text{K}\Omega$  zum Knoten 4 beiträgt. (Rechnen Sie auf 4 geltende Ziffern genau.) (1P)

$$Z_{E2} = \dots = \dots \Omega$$

Berechnen Sie die Kapazität  $C_{E2}$  so, daß sie einen Pol in  $f_{gu}$  verursacht. (2P)

$$C_{E2} = \dots = \dots \text{ F}$$

Berechnen Sie die Kapazität  $C_{k1}$  so, daß sie einen Pol in  $f_{gu}$  verursacht. (1P)

$$C_{k1} = \dots = \dots \text{ F}$$

Berechnen Sie die Kapazität  $C_{k2}$  so, daß sie für  $R_L=52\text{K}\Omega$  einen Pol in  $f_{gu}$  verursacht. (1P)

$$C_{k2} = \dots = \dots \text{ F}$$

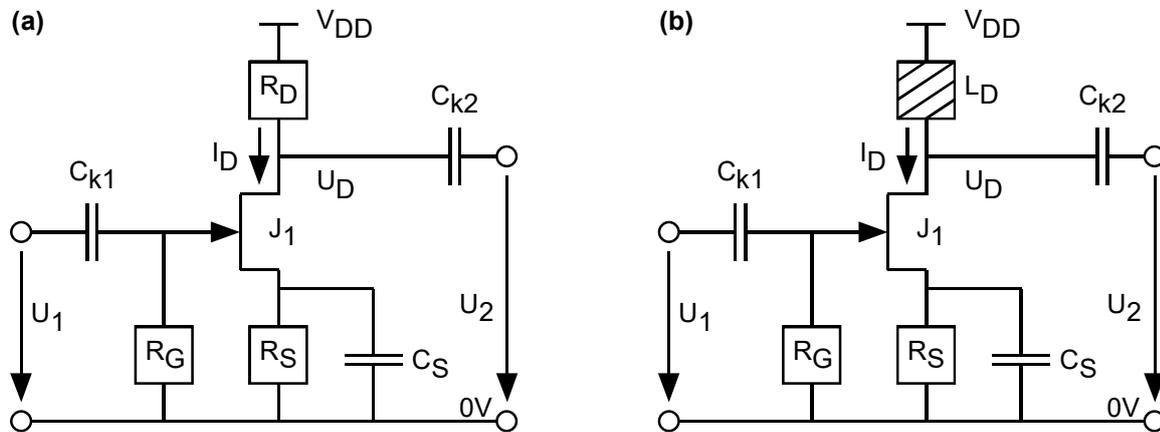
Wählen Sie Werte für  $C_{E2}$ ,  $C_{k1}$ ,  $C_{k2}$  so, daß der HF-Verstärker in  $f_{gu}$  eine Dämpfung von mindestens -3dB hat.

$$C_{E2} = \dots, \quad C_{k1} = \dots, \quad C_{k2} = \dots \quad (1P)$$

### 3 Verstärkerschaltungen mit JFET

( $\Sigma=25P$ )

Abb. 3 zeigt zwei Grundsaltungen einer Verstärkerstufe mit JFET, die sich nur in der Wahl des Drain-Widerstandes unterscheiden: Im Bildteil (a) ist es der Drain-Widerstand  $R_D$ , im Bildteil (b) wird  $R_D$  durch die Induktivität  $L_D$  ersetzt.



**Abbildung 3 :** Verstärkerstufe mit JFET: (a) mit Drain-Widerstand und (b) mit Induktivität

Gegeben:  $V_T=-2V$ ,  $I_{DSS}=10mA$ ,  $\lambda=0,02V^{-1}$ ,  $V_{DD}=5V$ ,  $I_{Da}=2,5 mA$

#### 3.1 JFET - Verstärkerstufe mit Drain-Widerstand

( $\Sigma=15P$ )

Drücken Sie im Folgenden alle Formeln als Funktion des gegebenen Argumentes aus.

a) Wie groß ist die Gate-Source-Spannung des JFETs im Arbeitspunkt? (2P)

$$U_{GSa}(I_{Da}) = \dots = \dots V$$

b) Wie groß ist der Source-Widerstand  $R_S$  ? (2P)

$$R_S(U_{GSs}) = \dots = \dots \Omega$$

c) Wie groß ist der Übertragungsleitwert  $g_m$  des JFETs? (2P)

$$g_m(I_D) = \dots = \dots mS$$

d) Es sei der Arbeitspunkt  $U_{Da} = \frac{1}{2}(V_{DD} + |V_T|)$ . Wie groß ist der Drain-Widerstand  $R_D$  ?

$$U_{Da} = \dots = \dots V \quad (1P)$$

$$R_D(I_D) = \dots = \dots \Omega \quad (2P)$$

e) Wie groß ist die Ausgangsimpedanz  $Z_{out}$  der Schaltung? (Annahme:  $r_{DS} \gg R_D$ ). (1P)

$$Z_{out}(R_D) = \dots = \dots \Omega$$

f) Wie groß ist die Spannungsverstärkung  $A_{V\infty}$  dieser Stufe für  $R_L \rightarrow \infty$ ? (2P)

$$A_{V\infty}(g_m, Z_{out}) = \dots = \dots$$

g) Drücken Sie die Spannungsverstärkung  $A_{V\infty}$  dieser Stufe für  $R_L \rightarrow \infty$  als Funktion des Drain-Stromes aus (nur Formel). (2P)

$$A_{V\infty}(I_D) = \dots$$

h) Folgerung: Wenn wir  $A_{V\infty}$  darstellen als  $A_{V\infty} = const \cdot I_D^x$ , dann ist  $x = \dots$  (1P)

### 3.2 JFET - Verstärkerstufe mit Drain-Induktivität (Σ=10P)

Wir ersetzen nun den Widerstand  $R_D$  durch die Induktivität  $L_D$ . Es gelte  $X_L = \omega L_D \rightarrow \infty$ . Neu berechnet werden nur die Größen, die sich ändern.

a) Wo liegt nun der Arbeitspunkt  $V_{Da}$  der Schaltung? (1P)

$$U_{Da}(I_D) = \dots = \dots \text{ V}$$

b) Wie groß ist der Drain-Source-Widerstand  $r_{DS}$ ? (2P)

$$r_{DS}(I_D) = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

c) Wie groß ist der Kleinsignal-Ausgangsimpedanz der Schaltung? (Erinnerung:  $X_L \rightarrow \infty$ ) (2P)

$$Z_{out}(r_{DS}) = \dots = \dots \text{ K}\Omega$$

d) Wie groß ist die Spannungsverstärkung  $A_{V\infty}$  dieser Stufe für  $R_L \rightarrow \infty$ ? (2P)

$$A_{V\infty}(g_m, Z_{out}) = \dots = \dots$$

e) Drücken Sie die Spannungsverstärkung  $A_{V\infty}$  dieser Stufe für  $R_L \rightarrow \infty$  als Funktion des Drain-Stromes aus (nur Formel). (2P)

$$A_{V\infty}(I_D) = \dots$$

Folgerung: Wenn wir  $A_{V\infty}$  darstellen als  $A_{V\infty} = const \cdot I_D^x$ , dann ist  $x = \dots$  (1P)

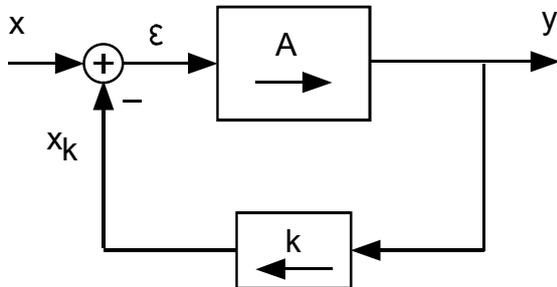
## 4 Rückgekoppelte Systeme

( $\Sigma=15P$ )

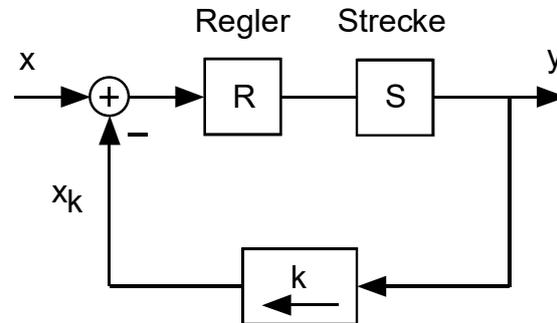
### 4.1 Lineare Regelsysteme

( $\Sigma=9P$ )

(a)



(b)



**Abbildung 4.1:** (a) Prinzipieller Aufbau eines Regelkreises, (b) Regelkreis mit Regler und Strecke.

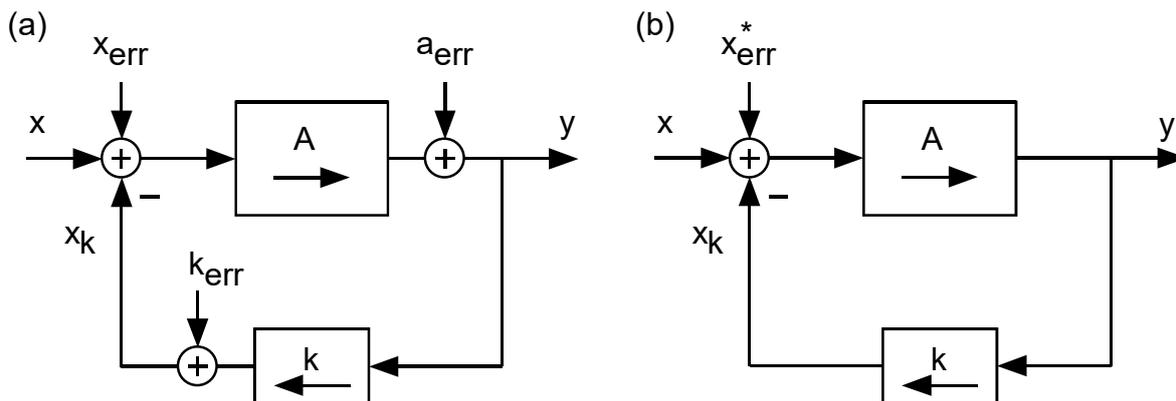
Abb. 4.1(a) zeigt ein Regelsystem. Wie verhält sich  $y(s)$  als Funktion von  $x(s)$ ,  $A(s)$ ,  $k(s)$ ? Welche Vereinfachung ist möglich für  $kA \rightarrow \infty$ ?

(8P)

Abb. 4.1(b) zeigt ein Regelsystem mit dem Regler  $R(s)$  und der geregelten Strecke  $S(s)$ . Wie verhält sich  $y(s)$  in diesem Fall als Funktion von  $R(s)$ ,  $S(s)$ , ...? Was passiert für  $kRS \rightarrow \infty$ ? (1P)

**4.2 Fehlerquellen in linearen Reglern**

**(Σ=6P)**



**Abbildung 4.2:** Regelschleife **(a)** mit Fehlerquellen, **(b)** alle Fehlerquellen zu einem äquivalenten Eingangsrauschen umgerechnet.

Abb. 4.2(a) zeigt eine Regelschleife mit den drei Fehlerquellen  $x_{err}(s)$ ,  $a_{err}(s)$  und  $x_{k, err}(s)$ . In Abb. 4.2(b) sind alle drei Fehlerquellen in einen äquivalenten Eingangsfehler  $x^*_{err}(s)$  umgerechnet. Geben Sie die Formel für  $x^*_{err}(s)$  als Funktion von  $x_{err}(s)$ ,  $a_{err}(s)$  und  $k_{err}(s)$  an. Die Formel ist herzuleiten! **(2P)**

Wie verhält sich  $x^*_{err}(s)$  für  $A(s) \rightarrow \infty$ ? **(1P)**

Welche der drei Fehler in Abb. 4.2(a) lassen sich durch ein großes  $A(s)$  unterdrücken und welche lassen sich so nicht unterdrücken? **(2P)**