

# Fachhochschule Regensburg

## Fachbereich Elektrotechnik / Mikroelektronik

Prüfungsfach: **Schaltungstechnik (SC), Sommersemester 2002**

Prüfungstermin: 16. Juli 2002      Studiengruppen: E5D, E5N

Prüfungsdauer: 90 Minuten (planmäßig: 10.45 – 12.15 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: 100 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:

1. Konkreten Zahlenwerten ist immer ein Ausdruck voranzusetzen, der die Herkunft der Zahl belegt.
2. Bei „Zeigen Sie, dass...“ oder „Leiten Sie ... her“ wird ein nachvollziehbarer Lösungsweg erwartet.
3. Die Aufgaben sind so aufgebaut, dass Folgefehler nach Möglichkeit vermieden werden. Nach „Zeigen Sie, dass...“ z.B. kann man auch dann weitermachen, wenn der Beweis misslingt.
4. Kalkuliert wurde ein Zeitbedarf von ca. einem Punkt pro Minute. Verwenden Sie nicht zu viel Zeit für Aufgaben, die nur wenige Punkte bringen.
5. Zur Korrektur: "FF" steht für Folgefehler, wenn trotz falscher Zahlen Punkte vergeben werden.

Punkte:	Note:	Datum:	Prüfer: Prof. Dr. M. Schubert
---------	-------	--------	-------------------------------

# 1 Technische Dokumentation lesen

(Σ=12P)

Sie finden im Anhang einige Datenblätter zu drei verschiedenen Operationsverstärkern (OPs). Komplettieren Sie mit Hilfe dieser Datenblättern Tabelle 1. Suchen Sie nach Möglichkeit typische Werte bei 25°C heraus. (Unterschiedliche Betriebsspannungen müssen leider hingenommen werden. ½ Punkt je richtigem Wert.) (11P)

**Tabelle 1:** Typische Parameter dreier handelsüblicher OPs bei T=25°C und  $R_L \rightarrow \infty$

Parameter	Akronym im Unterricht	TL081M $V_{CC}=\pm 15V$	OP07 $V_S=\pm 15V$	LM7301 $V_S=5V$	Dim.	Kommentare
Supply Voltage, Maximum	$\max\{V_S\}, \max\{V_{CC}\}$		44		V	maximale Betriebsspannung ( $V^+ - V^-$ )
Supply Voltage, Minimum	$\min\{V_S\}, \min\{V_{CC}\}$		6		V	minimale Betriebsspannung ( $V^+ - V^-$ )
Common Mode Rejection Ratio	CMRR				dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR				dB	
Large Signal Diff. Volt. Gain	$A_V$				V/mV	at $R_L \rightarrow \infty$
					dB	
Input Offset Voltage	$U_{off}$				mV	
Input Bias Current	$I_B$				nA	DC Eingangsstrom (von ... bis ...)
Slew Rate	SR				V/ $\mu$ s	at $R_L \rightarrow \infty$

Vergleichen Sie die DC-Eingangsströme und die Offset-Spannungen. Bei welchen OPs vermuten Sie FET-Eingänge und bei welchen bipolare Eingänge? (1P)

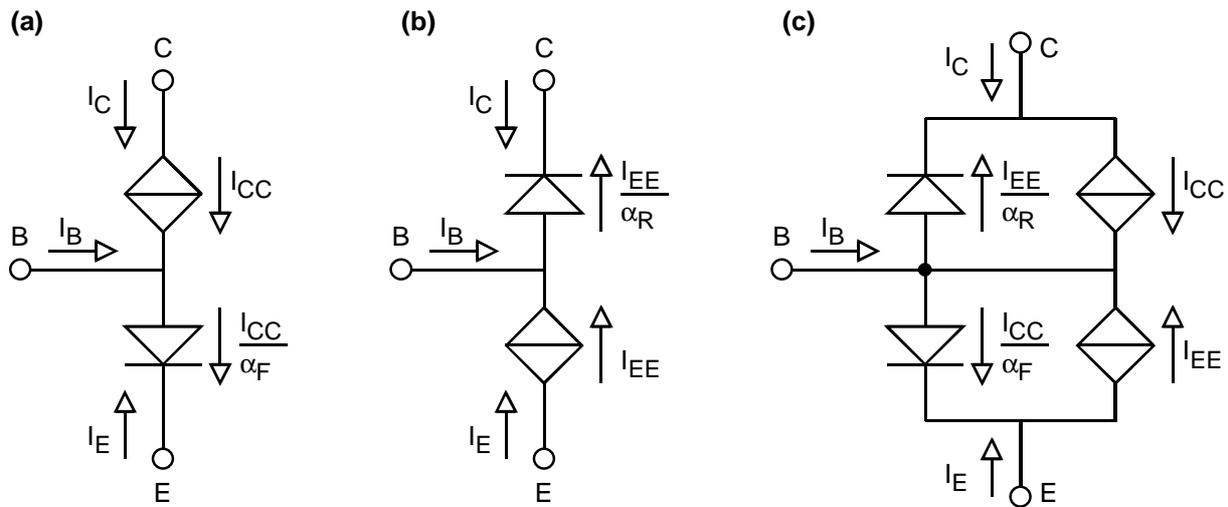
.....

.....

.....

## 2 Der Bipolar-Transistor

(Σ=8P)



**Bild 2:** EM1-Modell: (a) Forward, (b) Reverse, (c) gesamt.

Welche Formel beschreibt in Bild 2(a) den Emitterstrom  $I_E$  als Funktion von  $I_{CC}$  und  $\alpha_F$ ? (1P)

.....

Welche Formel beschreibt in Bild 2(a) den Basisstrom  $I_B$  als Funktion von  $I_{CC}$  und  $\beta_F$ ? (1P)

.....

Welche Formel beschreibt in Bild 2(b) den Kollektorstrom  $I_C$  als Funktion von  $I_{EE}$  und  $\alpha_R$ ? (1P)

.....

Welche Formel beschreibt in Bild 2(b) den Basisstrom  $I_B$  als Funktion von  $I_{EE}$  und  $\beta_R$ ? (1P)

.....

Welche Formel beschreibt in Bild 2(c) den Kollektorstrom  $I_C$  als Funktion von  $I_{EE}$  und  $I_{CC}$ ? (1P)

.....

Welche Formel beschreibt in Bild 2(c) den Emitterstrom  $I_E$  als Funktion von  $I_{EE}$  und  $I_{CC}$ ? (1P)

.....

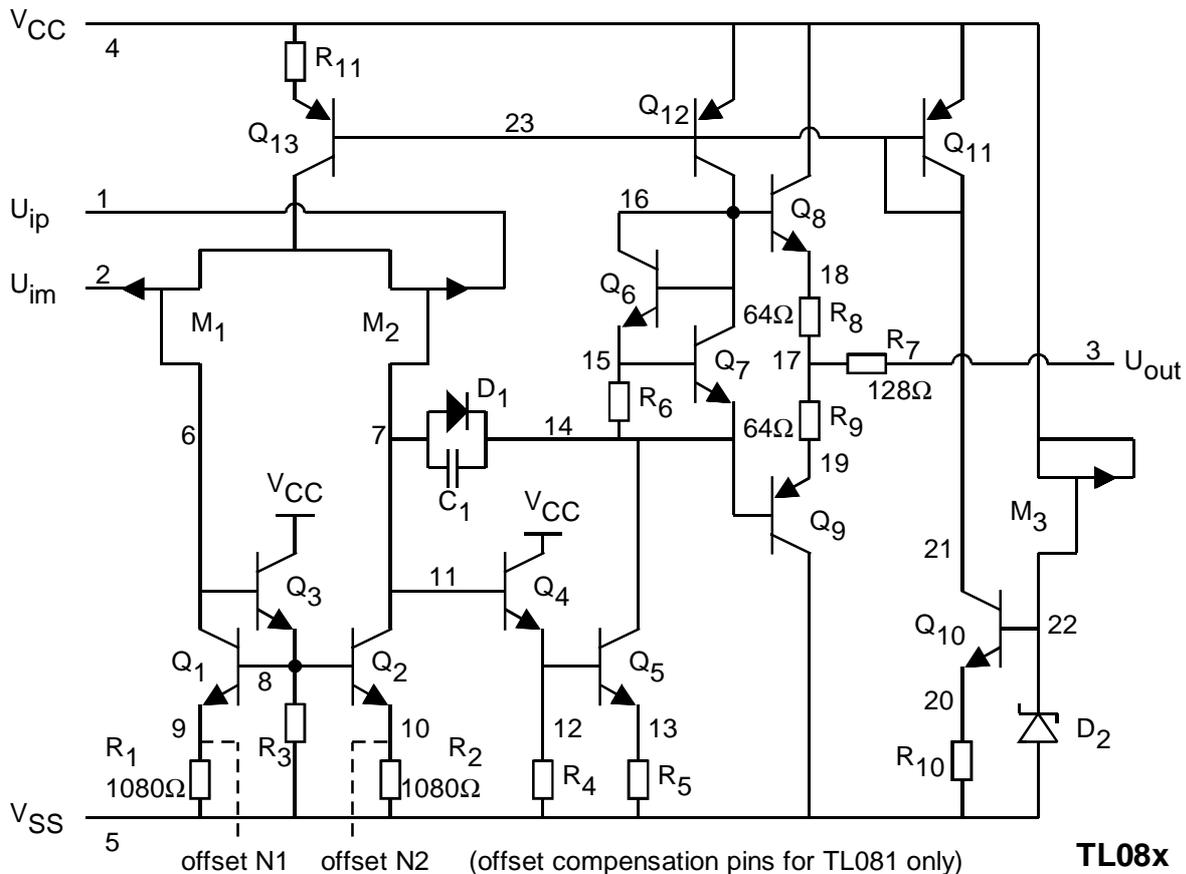
Zeigen Sie, dass für Bild 2(c) mit  $\beta_F = \alpha_F / (1 - \alpha_F)$  und  $\beta_R = \alpha_R / (1 - \alpha_R)$  gilt:  $I_B = I_{CC} / \beta_F + I_{EE} / \beta_R$ . (2P)

$I_B = -I_C - I_E =$  .....

.....

### 3 Differenzieller Verstärker

( $\Sigma=22P$ )



**Abbildung 3:** Innenschaltung des TL081, TL082, TL084 und ähnliche.  $C_1$  ist die Sperrschichtkapazität der Diode  $D_1$ . Dimensionslose Zahlen benennen Schaltungsknoten.

Welche Bauelemente bilden den "Biasing Circuit"? (2P)

.....

Welche Bauelemente bilden die Eingangsstufe? (2P)

.....

Welche Bauelemente bilden den Zwischenverstärker? (2P)

.....

Welche Bauelemente bilden die Endstufe? (2P)

.....

Was sind die drei Hauptaufgaben des Zwischenverstärkers? (2P)

.....

Wozu dient der Transistor  $Q_3$ ? (1P)

.....

Wie nennt man den Schaltungsblock, den die Transistoren  $Q_1, Q_2$  bilden? (1P)

.....

Wozu dient der Widerstand  $R_3$ ? (1P)

.....

Wie nennt man den Schaltungsblock, den die Transistoren  $Q_{11}, Q_{12}, Q_{13}$  bilden? (1P)

.....

Wie nennt man den Schaltungsblock, den die Bauelemente  $R_{10}, Q_{10}, D_2$  bilden? (1P)

.....

Wie groß (Formel) ist der Kollektorstrom  $I_{C11}$  durch den Transistor  $Q_{10}$ ? (1P)

.....

Welchen Zweck erfüllt der Widerstand  $R_{11}$ ? (1P)

.....

Wozu dient der Block mit den Transistoren  $Q_6, Q_7$ ? (1P)

.....

Welchen Zweck erfüllen die Transistoren  $Q_8, Q_9$ ? (1P)

.....

Wozu dienen die Widerstände  $R_8, R_9$ ? (1P)

.....

In welchem Schaltungsknoten wird durch Einspeisung eines Stromes auf eine hohe Impedanz eine hohe Spannungsamplitude und somit die hohe Verstärkung des OPs erzeugt? (1P)

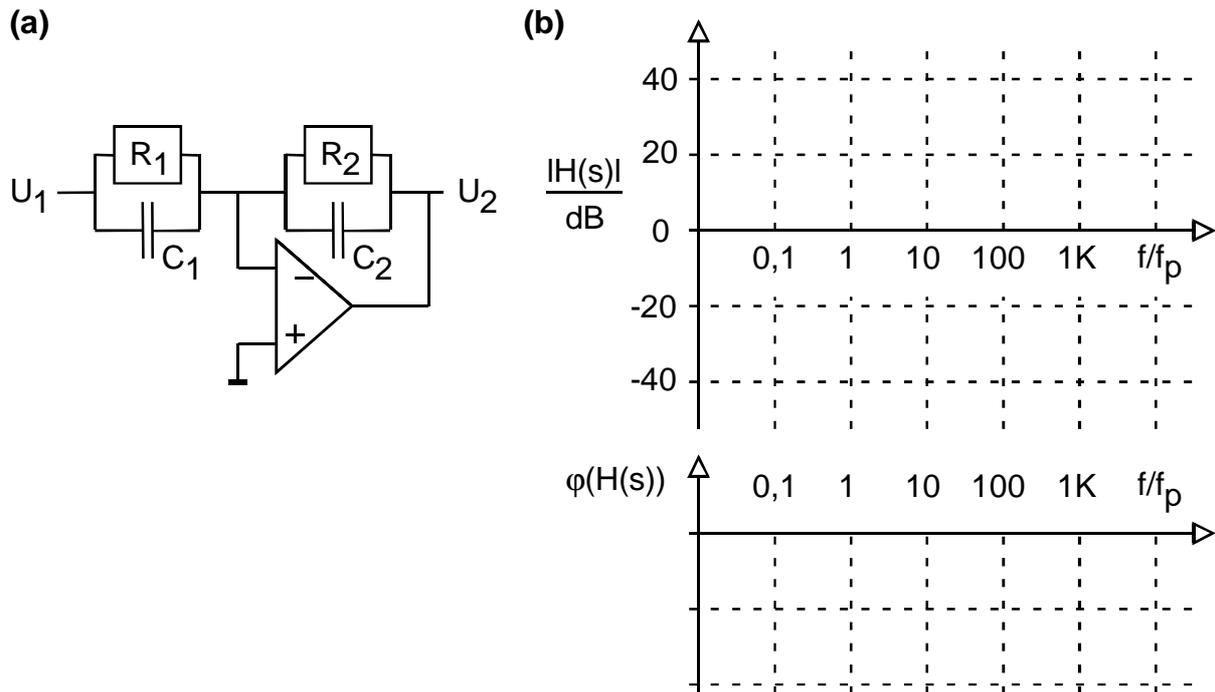
.....

Die Impedanz dieses Knotens ist  $Z_k \leq r_{CEx} \parallel r_{CEy}$ . Um welche Indizes x und y handelt es sich? (1P)

.....

### 4 Arbeiten mit Operationsverstärkern

(Σ=10P)



**Bild 4:** (a) Beschalteter, idealer Operationsverstärker, (b) Bode-Diagramm.

Berechnen Sie die Übertragungsfunktion  $H(s)$  der in Abb. 4(a) dargestellten Schaltung als Funktion von  $R_1, C_1, R_2, C_2$ . (3P)

.....  
 .....

Für  $f \rightarrow \infty$  strebt die Eingangsimpedanz  $Z_{in}$  gegen ..... (1P)

Berechnen Sie Pol ( $f_p$ ) und Nullstelle ( $f_z$ ) der Schaltung als Funktionen von  $R_1, C_1, R_2, C_2$ . (1P)

.....

Es ist  $R_2=10R_1, C_2=100C_1$ . Wogegen (Formel und Wert) strebt  $H(jf)$  für  $f \rightarrow 0$  und  $f \rightarrow \infty$ ? (2P)

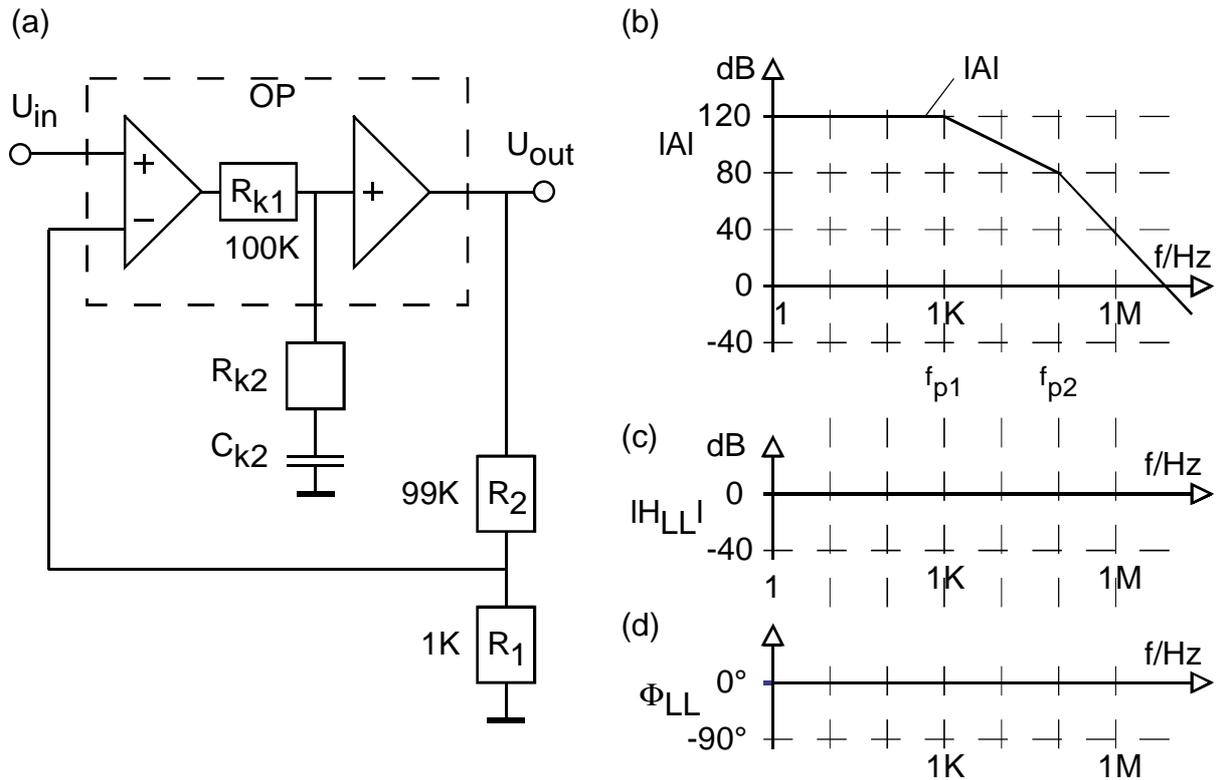
.....

Zeichnen Sie den Amplitudengang von  $H(jf)$  in Abb. 4(b) ein. (1P)

Beschriften Sie die Ordinate für  $\varphi\{H(jf)\}$  in Abb. 4(b) passend. (1P)

Zeichnen Sie den Phasengang von  $H(jf)$  in Abb. 4(b) ein. (1P)

## 5 Rückkopplung und Frequenzkompensation (Σ=28P)



**Bild 5:** (a) Beschalteter und Frequenzkompensierter OP, (b) Amplitudengang des OP, (c) Amplitudengang und (d) Phasengang des Lead-Lag- (LL) Gliedes

Der OP (welcher sich in Bild 5(a) innerhalb der gestrichelten Box befindet) habe den in Bild 5(b) asymptotisch skizzierten Amplitudengang.

Berechnen Sie Formel (1P) und Wert (1P) des Rückkopplungsnetzwerks  $k(s)$  in Bild 5(a). (2P)

.....

Tragen Sie  $|k(jf)|$  in Bild 5(b) ein und kennzeichnen Sie die Linie (z.B. mit  $|k|$  und blau). (1P)

Tragen Sie die  $|1/k(jf)|$  in Bild 5(b) ein und kennzeichnen Sie die Linie (z.B.  $|1/k|$  und blau). (1P)

Kennzeichnen Sie die offene Schleifenverstärkung  $|kA|$  ohne Kompensation in Bild 5(b). (1P)

Kennzeichnen Sie die offene Schleifenverstärkung  $|kA|$  mit optimaler Lead-Lag-Kompensation des OPs in Bild 5(b). (1P)

Tragen Sie die Asymptoten der durch Lead-Lag- (LL) Kompensation anzustrebenden Übertragungsfunktion der geschlossenen Schleife in Bild 5(b) ein. (Kennzeichnen z.B. mit  $|A^*|$  und grün.) (2P)

Welche Formel beschreibt die Übertragungsfunktion  $A^*$  der geschlossenen Schleife, wenn  $k$  und  $A$  gegeben sind, und wogegen strebt  $A^*$  für  $|kA| \gg 1$ ? **(2P)**

.....

In welcher Frequenz muß die Nullstelle  $f_{z,LL}$  des Lead-Lag-Gliedes liegen, um eine optimale Frequenzkompensation für  $A^*$  zu erreichen? (Formel mit Parametern aus Bild 5(b) und Wert.) **(2P)**

.....

In welcher Frequenz muß das LL-Glied welche Dämpfung erbringen, um eine Phasenreserve  $\Phi_R$  von ca.  $45^\circ$  herzustellen? (Formel mit Parametern aus Bild 5(b) und Wert.) **(4P)**

.....

Zeichnen Sie in Bild 5(c) asymptotisch den Amplitudengang  $|H_{LL}(jf)|$  des optim. LL-Gliedes. **(1P)**

Zeichnen Sie in Bild 5(d) asymptotisch den Frequenzgang  $|H_{LL}(jf)|$  des optimalen LL-Gliedes. **(1P)**

Wo liegt die neue, erste Polstelle  $f'_{p1}$  der optimal frequenzkompensierten offenen Schleifenverstärkung  $kA$ ? (Formel mit Parametern aus Bild 5(b) und Wert.) **(2P)**

.....

Leiten Sie die Übertragungsfunktion  $H_{LL}(s)$  formelmäßig her. **(2P)**

.....

.....

Was sind die Formeln für die Polstelle  $f_{p,LL}$  und die Nullstelle  $f_{z,LL}$  von  $H_{LL}(s)$ ? **(2P)**

.....

Berechnen Sie  $R_{k2}$  und  $C_{k2}$  bei gegebenem  $R_{k1}$  für das optimale LL-Glied. (Formeln mit Parametern aus Bild 5(b) und Werte.) **(4P)**

.....

.....

## 6 Rauschen

(Σ=20P)

### 6.1 Mittel- und Effektivwerte eines Signals

(Σ=6P)

Mittelwert einer Spannung $u(t)$	Mittelwert des Quadrates $u^2(t)$ einer Spannung $u(t)$	Effektivwert von $u(t)$ und für die Summe unkorrelierter $u_i(t)$
$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(t) \cdot dt$	$\overline{u^2} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u^2(t) \cdot dt$	$u_{eff} = \sqrt{\overline{u^2}}, \quad u_{eff,ges} = \sqrt{\sum_i u_{eff,i}^2}$

Berechnen Sie den Mittelwert von  $u(t)=\hat{u} \cos(2\pi t/T)$  über eine Periode  $t=0...T$ . (2P)

.....

.....

Berechnen Sie den Mittelwert von  $u^2(t)$  in der Periode  $t=0...T$ . Hinweis:  $\cos^2 x = \frac{1}{2}(1 + \cos 2x)$  (3P)

.....

.....

Berechnen Sie aus obigem Ergebnis den Effektivwert  $u_{eff}$  von  $u(t)=\hat{u} \cos(\omega t)$ . (1P)

.....

### 6.2 Summation korrelierter und unkorrelierter Signale (Σ=14P)

**Bild 6.2:**  
Summation von M korrelierten Nutzsignalen und M unkorrelierten Rauschsignalen.

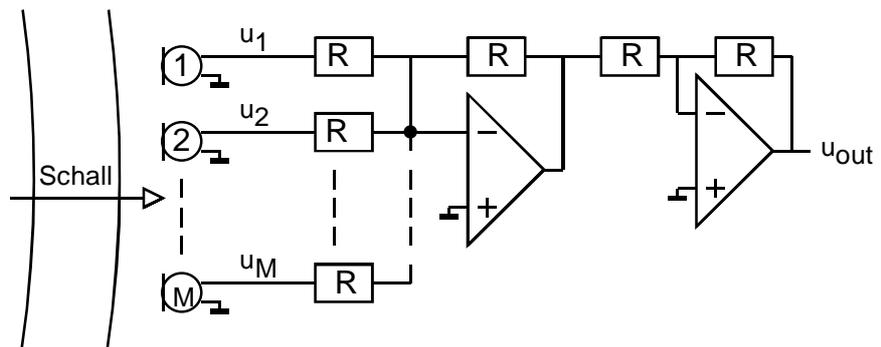


Bild 6.2 zeigt ein Array von M Mikrofonen, deren Ausgangssignale  $u_i$  in der gezeigten Schaltung summiert werden. Berechnen Sie das Ausgangssignal  $u_{out}(t)$  der Verstärkerschaltung als Funktion ihrer Eingangssignale  $u_i(t)$ ,  $i=1...M$ . (2P)

.....

Die Mikrofonsignale  $u_i$  bestehen aus den korrelierten Nutzsignalanteilen  $u_{k,i}$  und dem Rauschanteil  $u_{n,i}$ , die getrennt verrechnet werden dürfen:  $u_i = u_{k,i} + u_{n,i}$ . (1P)

**Es gilt:** Korrelierte Signalanteile summieren sich in der .....

Welches Ausgangssignal  $u_{k,out}(t)$  liefern die korrelierten Signalanteile  $u_{k,i}(t)$ , wenn alle Mikrofone das gleiche Nutzsignal  $u_k(t) = u_{k,i}(t)$  liefern ( $i=1...M$ )? (2P)

.....  
 .....

Welches Ausgangssignal  $u_{k,out}(t)$  liefern die korrelierten Signalanteile  $u_{k,i}(t)$ , wenn bei geradem  $M$  benachbarte Mikrofone inverse Nutzsignale liefern, also  $u_{k,i+1} = -u_{k,i}$ ? (2P)

.....

**Es gilt:** Unkorrelierte Signale summieren sich in der ..... (1P)

Welche effektive Rauschspannung  $u_{neff,out}$  liefern die unkorrelierten Signalanteile am Ausgang der Schaltung, wenn alle Mikrofone die gleiche effektive Rauschspannung  $u_{neff,i} = u_{neff}$  liefern? (2P)

.....  
 .....

**Kreuzen Sie die richtigen Antworten an:** (1P Abzug je falschem Ankreuzen)

M korrelierte Signale ... (2P)

- addieren sich in der Amplitude.
- addieren sich in der Leistung.
- können sich gegenseitig bis zur Auslöschung abschwächen.
- gleicher Signalleistung  $P_1$  können sich zu einer Gesamtleistung  $P_N = M \cdot P_1$  summieren.
- gleicher Signalleistung  $P_1$  können sich zu einer Gesamtleistung  $P_N = M^2 \cdot P_1$  summieren.

M unkorrelierte Signale ... (2P)

- addieren sich in der Amplitude.
- addieren sich in der Leistung.
- können sich gegenseitig bis zur Auslöschung abschwächen.
- gleicher Signalleistung  $P_1$  können sich bis zu einer Gesamtleistung  $P_{ges} = M \cdot P_1$  summieren.
- gleicher Signalleistung  $P_1$  können sich bis zu einer Gesamtleistung  $P_{ges} = M^2 \cdot P_1$  summieren.