

**Klausur Elektronik**  
**27. Februar 2023, 17:00-19:30, H0105**



Winter 2022/23

Bearbeitungszeit: 100 Minuten

- Legen Sie einen **Ausweis** (Studentenausweis, Personalausweis o. ä. ) auf den Tisch.
- **Schalten Sie alle Ihre Mobiltelefone aus.**
- **Benutzen Sie für jede Aufgabe ein neues Blatt und machen Sie die Aufgabennummer kennlich**
- **Schreiben Sie Ihren Nachnamen und die Matrikelnummer auf jedes verwendete Blatt**
- Schreiben Sie **nicht** mit Bleistift!  
Schreiben Sie nur in **blau** oder **schwarz!**
- Als Hilfsmittel sind erlaubt: ein nicht programmierbarer Taschenrechner, Lineal

Name: .....

Vorname: .....

Matr.-Nr.: .....

letzter Versuch ja  nein

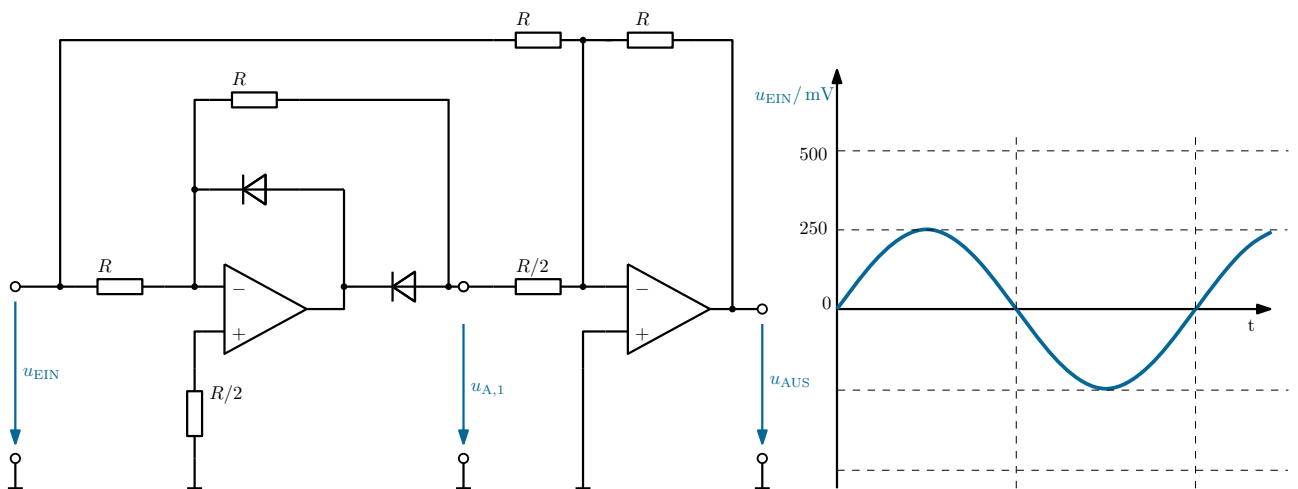
Aufgabe	Punkte	erreicht
1	15	
2	10	
3	10	
4	5	
5	10	

**Verständnis- und Schaltungsentwurf (Zuordnung VL)**

**1. Aufgabe [15 Punkte]: Allgemeine Fragen**

**1.1. Applikationsschaltung [3 Punkte]**

Gegeben ist die folgende Schaltung:



Für die Eingangsspannung  $u_{EIN}(t) = \hat{u}_{EIN} \sin(\omega t)$  gilt  $\hat{u}_{EIN} = 0,25 \text{ V}$ . Tragen Sie den prinzipiellen Verlauf von  $u_{A,1}$  und  $u_{AUS}$  in das Diagramm ein [2P]. Um was für eine Schaltung handelt es sich [1P]?

**1.2. PLL-Anwendung: FM-Demodulation [4 Punkte]**

Wie kann mit einer PLL ein frequenzmoduliertes Signal wieder demoduliert werden? Skizzieren Sie ein Blockschaltbild [2P] und beschreiben Sie die Funktionsweise [2P].

**1.3. Auswahl einer Stromversorgungsschaltung [3 Punkte]**

Für eine Stromversorgung soll aus einer DC-Spannung von 24 V eine Spannung von 3,3 V bereitgestellt werden, der Ausgangsstrom soll bis zu 5 A betragen. Welchen Ansatz für die Stromversorgung wählen Sie, wenn Sie die entstehende Verlustleistung minimieren sollen? Skizzieren Sie Ihre Lösung und beschreiben Sie stichpunktartig, warum Sie diese auswählen.

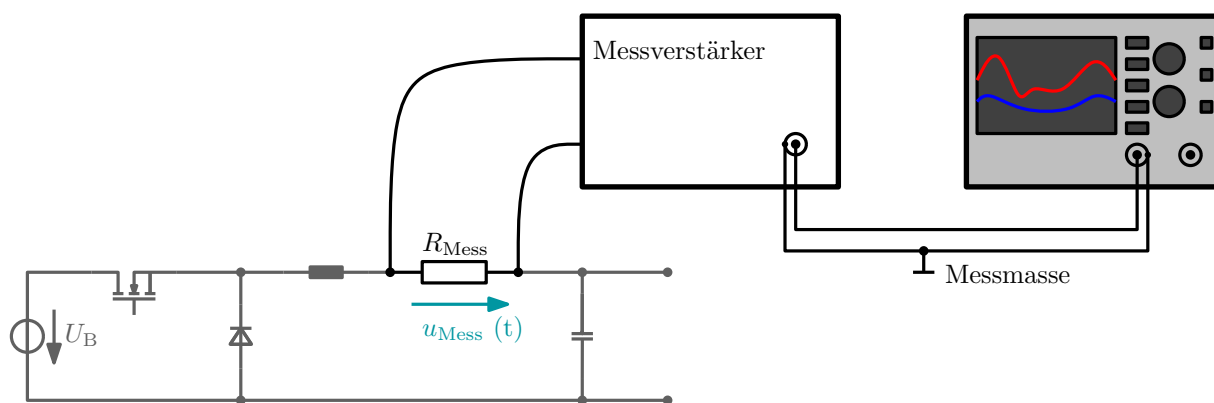
**1.4. Digital-Analog-Umsetzer [5 Punkte]**

Skizzieren Sie die Schaltung eines Digital-Analog-Umsetzers, der nach dem R2R-Prinzip arbeitet. Hierbei ist eine Auflösung von 3 bit ausreichend, es soll eine Spannung am Ausgang der Schaltung verfügbar gemacht werden.

**2. Aufgabe [10 Punkte]: Strommessverstärker**

Entworfen werden soll ein Strommessverstärker, der die Spannung an einem Messwiderstand verstärken kann, um diese auf dem Oszilloskop darstellbar zu machen. Der Messwiderstand hat einen Wert von  $R_{\text{Mess}} = 1 \text{ m}\Omega$ , es können Ströme von  $\pm 5 \text{ A}$  fließen. Da schnelle Stromverläufe in geschalteten Stromversorgungen gemessen werden sollen, soll die Signalbandbreite des Messverstärkers 200 kHz betragen.

Beispielhafter Einsatz des Strommessverstärkers:



Der Messverstärker soll die folgenden Eigenschaften haben:

- Eingangsspannung  $u_{\text{Mess}}(t)$  mit einer Amplitude von  $\pm 5 \text{ mV}$ , **kein Massebezug**.
- Ausgangsspannung  $u_{\text{A}}(t)$  mit einer Amplitude von  $\pm 1 \text{ V}$  mit Bezug auf eine Messmasse.
- Batteriebetrieb mit bis zu zwei 9 V-Blockbatterien.

**2.1. Schaltungsentwurf [6 Punkte]**

Entwerfen Sie die Schaltung des Messverstärkers. Beschreiben Sie Ihren Ansatz stichpunktartig und dimensionieren Sie alle Widerstände und Kondensatoren.

**Hinweis:** Das bedeutet, dass Sie plausible Werte für die Bauelemente angeben und diese auch ggf. berechnen.

**2.2. Anforderungen an die Operationsverstärker [2 Punkte]**

Welche Anforderungen sind an die verwendeten (sehr realen) Operationsverstärker zu stellen?

**Hinweis:** Beachten Sie, dass ein nutzbarer Frequenzbereich in den Anforderungen notiert ist.

**2.3. Frequenzbereich [2 Punkte]**

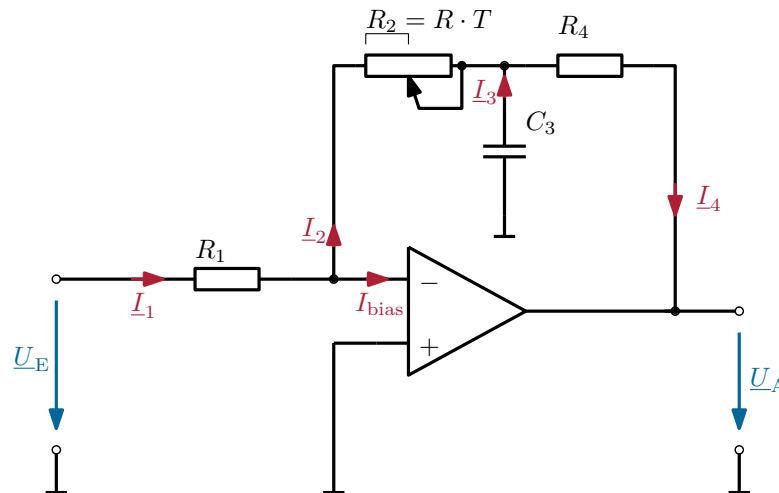
Welchen nutzbaren Frequenzbereich erwarten Sie, wenn die verwendeten Operationsverstärker eine Transitfrequenz von 2 MHz haben.

## Rechenaufgaben (Zuordnung UE)

### 3. Aufgabe [10 Punkte]: Einstellbare Schaltung mit Operationsverstärker

Gegeben ist die folgende Schaltung. Der Operationsverstärker ist als ideal anzunehmen ( $V_U \rightarrow \infty$ ,  $R_E \rightarrow \infty$ ). Die Widerstände haben alle den selben Wert  $R$ , der einstellbare Widerstand lässt sich mittels Schleifer auf einen Wert  $R \cdot T$  einstellen, hierbei ist  $0 \leq T \leq 1$ .

**Hinweis:** Es haben wirklich **alle** Widerstände den Wert  $R$ , außer  $R_2$  natürlich, wenn der Schleifer bewegt wird. Wenn (oder falls) Sie das hier gelesen haben, dann können Sie das auch berücksichtigen. Es macht die Sache einfacher. Für Sie!



#### 3.1. Bestimmung der komplexen Übertragungsfunktion [8 Punkte]

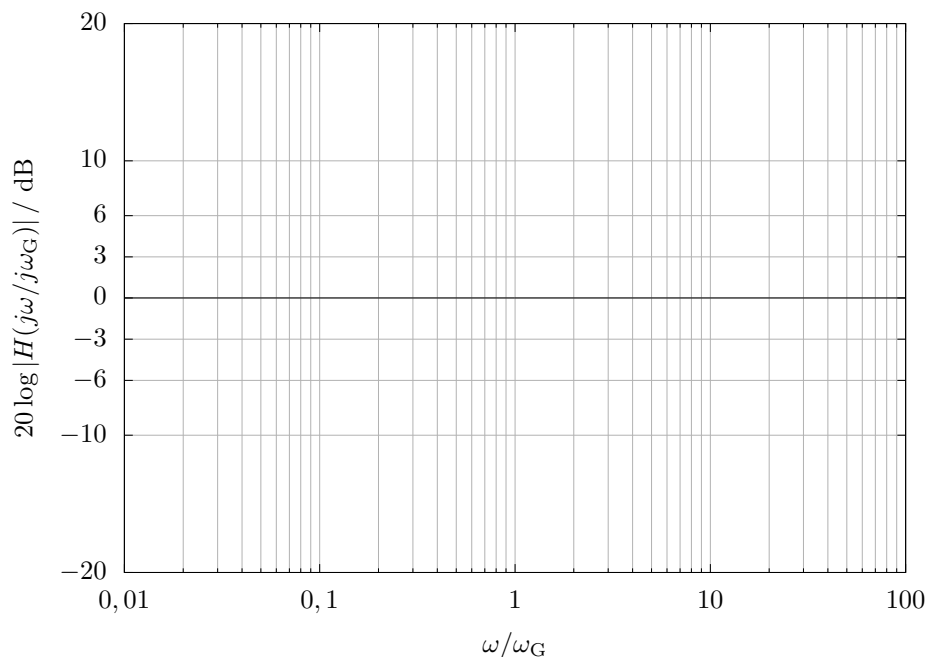
Bestimmen Sie die komplexe Übertragungsfunktion als Funktion der Schleiferstellung  $\underline{H} = f(T)$ ,  $T \in [0; 1]$ .

**Hinweis:**

- Stellen Sie geeignete Maschen- und Knotengleichungen auf.
- Eliminieren Sie in den Maschen- und Knotengleichungen alle Ströme und alle Spannungen außer  $\underline{U}_A$  und  $\underline{U}_E$ .

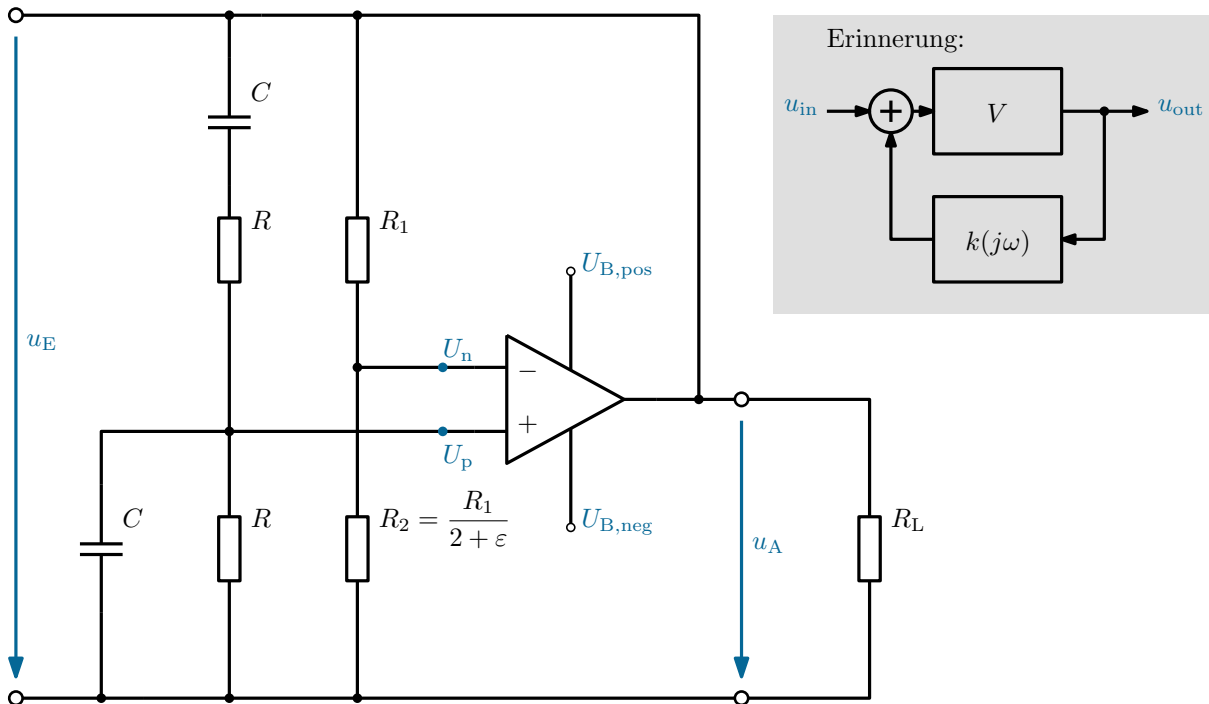
#### 3.2. Betragsfrequenzgang [2 Punkte]

Skizzieren Sie das Bode-Diagramm des Betragsfrequenzgangs  $|\underline{H}(j\omega)|$  bzw.  $|\underline{H}(s)|$  für die Fälle  $T \rightarrow 0$ ,  $T = 0,5$  und  $T = 1$ . Hierbei sei  $\omega_G = 1/RC$



#### 4. Aufgabe [5 Punkte]: Oszillatorschaltung

Gegeben ist die folgende *Wien-Robinson-Brücken-Oszillator-Schaltung* mit Operationsverstärker.



##### 4.1. Bedingung für selbständige Schwingung [2 Punkte]

1. Wo müssen die Polstellen der Übertragungsfunktion liegen, damit die Schaltung selbständig schwingt [1P]?
2. Welche Bedingungen gelten für Betrag und Phase der Schleifenverstärkung  $V_S$  [1P]?

##### 4.2. Schwingfrequenz [1 Punkt]

Die Übertragungsfunktion des Rückkopplungsnetzwerks mit Wien-Robinson-Brücke ist

$$K(j\omega) = \frac{U_p}{U_E} - \frac{U_n}{U_E} = \frac{1}{3 + j\left(\omega RC - \frac{1}{\omega RC}\right)} - \frac{1}{3 + \varepsilon} \quad (1)$$

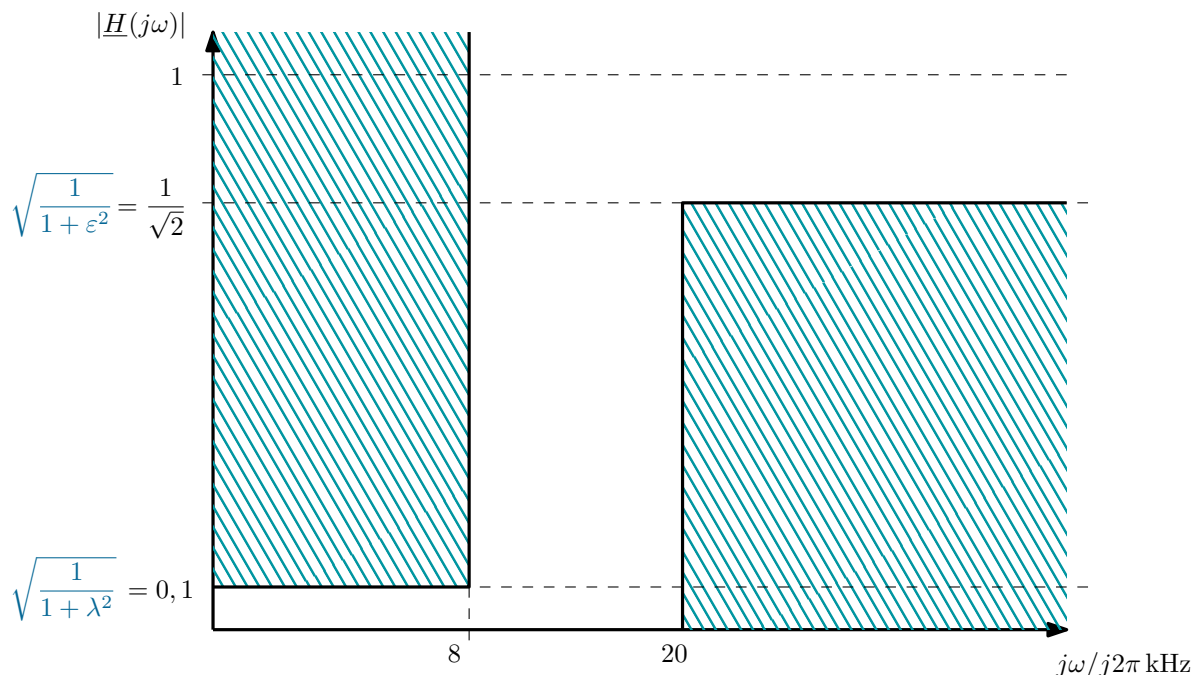
Wie lautet der Ausdruck für die Schwingfrequenz  $\omega_0$ ?

##### 4.3. Verstärkung [2 Punkte]

Wie groß muss die Verstärkung  $V$  des verstärkenden Schaltungsteils in Abhängigkeit des Parameters  $\varepsilon$  sein, damit eine Schwingung mit der Schwingfrequenz  $\omega_0$  möglich ist [1P]? Was passiert für den Sonderfall  $\varepsilon = 0$  [1P]?

## 5. Aufgabe [10 Punkte]: Filterentwurf

Es soll ein *Hochpassfilter* mit **Butterworth-Charakteristik** und einer Grenzfrequenz von  $f_G = 20$  kHz entworfen werden, hierfür gilt das folgende Toleranzschema:



### 5.1. Normierung und Transformation [2 Punkte]

Normieren Sie charakteristische Punkte der Übertragungsfunktion des Hochpasses und transformieren Sie diese mittels der Hochpass-Tiefpass-Transformation

$$S^{(\text{HP})} = \frac{1}{S^{(\text{TP})}}, \quad (2)$$

hierin ist  $S^{(\text{HP})} = s/\omega_G$  die auf die Grenzfrequenz normierte Frequenzvariable des Hochpassfilters.

### 5.2. Toleranzschema des korrespondierenden Tiefpassfilters [1 Punkt]

Skizzieren Sie das Toleranzschema des korrespondierenden Tiefpassfilters unter Angabe von allen charakteristischen Punkten und Größen.

### 5.3. Festlegen der Filterordnung [2 Punkte]

Bestimmen Sie die kleinstmögliche Ordnung des Filters, die das Toleranzschema erfüllt.

**Hinweis:** Hilfreich ist der Zusammenhang für die Ordnungsbestimmung bei Butterworth-Filtern

$$n \geq \frac{\log_{10} \frac{\lambda}{\varepsilon}}{\log_{10} \frac{\omega_s}{\omega_G}}, \quad (3)$$

### 5.4. Übertragungsfunktion des korrespondierenden Tiefpassfilters [2 Punkte]

Notieren Sie die Übertragungsfunktion des korrespondierenden Tiefpassfilters mit der in Aufgabe 5.3 festgelegten Ordnung. Die Koeffizienten für Butterworth-Filter finden Sie im Anhang der Klausur.

**Hinweis:**

- Sollten Sie in 5.3 keine Ordnung bestimmt haben, so nehmen Sie  $n = 4$  an.
- Stellen Sie die Übertragungsfunktion als Produkt von Termen 1. und 2. Ordnung dar.

### 5.5. Übertragungsfunktion des Hochpassfilters [2 Punkte]

Geben Sie die normierte und ent-normierte Übertragungsfunktion des Hochpassfilters an.

### 5.6. Realisierung [1 Punkt]

Mit welcher Schaltung würden Sie dieses Filter realisieren?

Koeffiziententabelle für Butterworth-Filter (normiert)

$n$	$i$	$a_i$	$b_i$	$f_{gi}/f_g$	$Q_i$
1	1	1,00000	0	1,000	-
2	1	1,4142	1,000	1,000	0,71
3	1	1,0000	0	1,000	-
	2	1,0000	1,0000	1,272	1,00
4	1	1,8478	0	0,791	0,54
	2	0,7654	1,0000	1,390	1,31
5	1	1,0000	0	1,000	-
	2	1,6180	1,0000	0,859	0,62
	3	0,6180	1,0000	1,448	1,62
6	1	1,9319	1,0000	0,676	0,52
	2	1,4142	1,0000	1,000	1,00
	3	0,5176	1,0000	1,479	1,93
7	1	1,0000	0	1,000	-
	2	1,8019	1,0000	0,745	0,55
	3	1,2470	1,0000	1,117	0,80
	4	0,4450	1,0000	1,499	2,25
8	1	1,9616	1,0000	0,661	0,51
	2	1,6629	1,0000	0,829	0,60
	3	1,1111	1,0000	1,206	0,90
	4	0,3902	1,0000	1,512	2,56