

# Klausur Elektronik

## 8. April 2022, 8:00-9:30, MA001

Bearbeitungszeit: 90 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	5	
4	10	

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

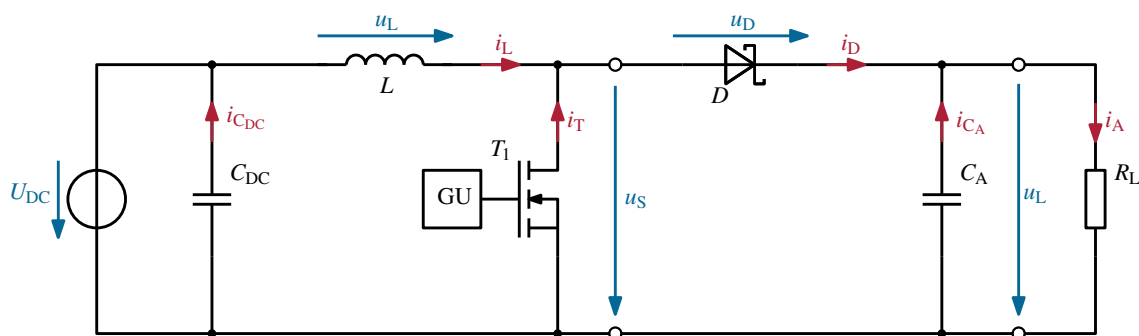
#### 1.1. Operationsverstärker-Applikationsschaltung [6 Punkte]

Ein Signal  $u_{\text{Sig}}(t) = 100 \text{ mV} \sin(\omega t)$ , dessen Frequenz im Bereich von  $0 \dots 100 \text{ kHz}$  soll um  $40 \text{ dB}$  verstärkt werden. Zur Verfügung stehen *reale* Operationsverstärker mit einer Transitfrequenz  $f_T = 1 \text{ MHz}$  und einer Open-Loop-Spannungsverstärkung von  $V_{D,OL} = 100 \text{ dB}$ .

1. Skizzieren Sie eine Schaltung mit einem oder mehreren Operationsverstärkern, die diese Aufgabe realisiert [3P].
2. Welche *slew-rate* muss der Operationsverstärker mindestens haben [3P] ?

#### 1.2. Geschaltete Stromversorgung [2 Punkte]

Welche Funktion wird mit der gegebene Schaltung realisiert [1P] und welchen Wert hat die Ausgangsspannung  $U_A$ , wenn ideale Komponenten vorausgesetzt werden und das Tastverhältnis  $v_T = t_{\text{ein}}/T = 0,5$  ist [1P]?



#### 1.3. Analog-Digital-Umsetzer [4 Punkte]

Erklären Sie die grundlegende Funktionsweise eines *Dual-Slope-Analog-Digital-Umsetzers* stichpunktartig [2P] und skizzieren Sie hierzu ein Blockschaltbild [1P].

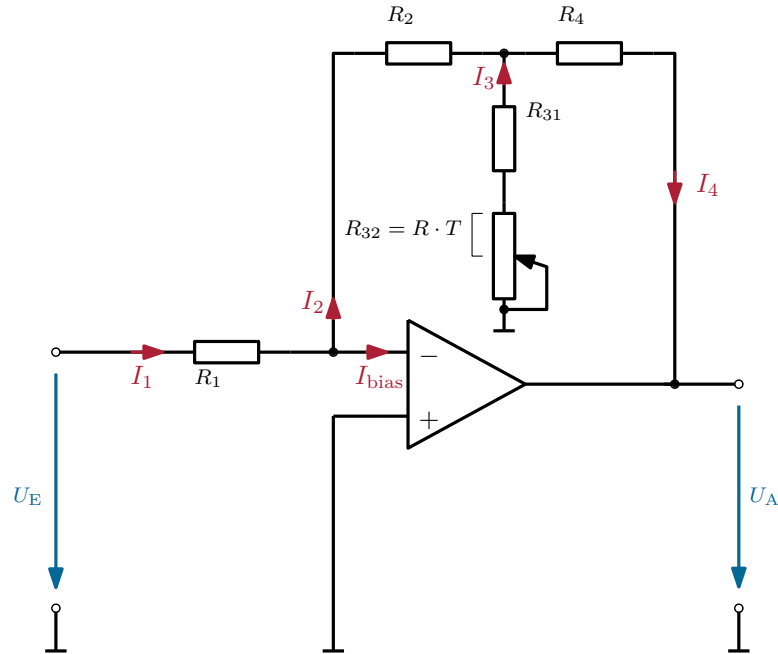
#### 1.4. PLL-Anwendung: FM-Demodulation [3 Punkte]

Wie kann mit einer PLL ein frequenzmoduliertes Signal wieder demoduliert werden? Skizzieren Sie ein Blockschaltbild [2P] und beschreiben Sie die Funktionsweise [1P].

## 2. Aufgabe [10 Punkte]: Einstellbarer invertierender Verstärker

Gegeben ist die folgende Schaltung. Der Operationsverstärker ist 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  $R_{32}$  natürlich. Wenn (oder falls) Sie das hier gelesen haben können Sie das auch berücksichtigen. Es macht die Sache einfacher. Für Sie!



### 2.1. Bestimmung der Übertragungsfunktion [8 Punkte]

Bestimmen Sie die Verstärkung als Funktion der Schleiferstellung  $V_U = f(T)$ .

- Hinweis:**
- Stellen Sie geeignete Maschen- und Knotengleichungen auf.
  - Eliminieren Sie in den Maschen- und Knotengleichungen alle Ströme und alle Spannungen außer  $U_A$  und  $U_E$ .

### 2.2. Kompensation der Eingangsoffsetspannung [2 Punkte]

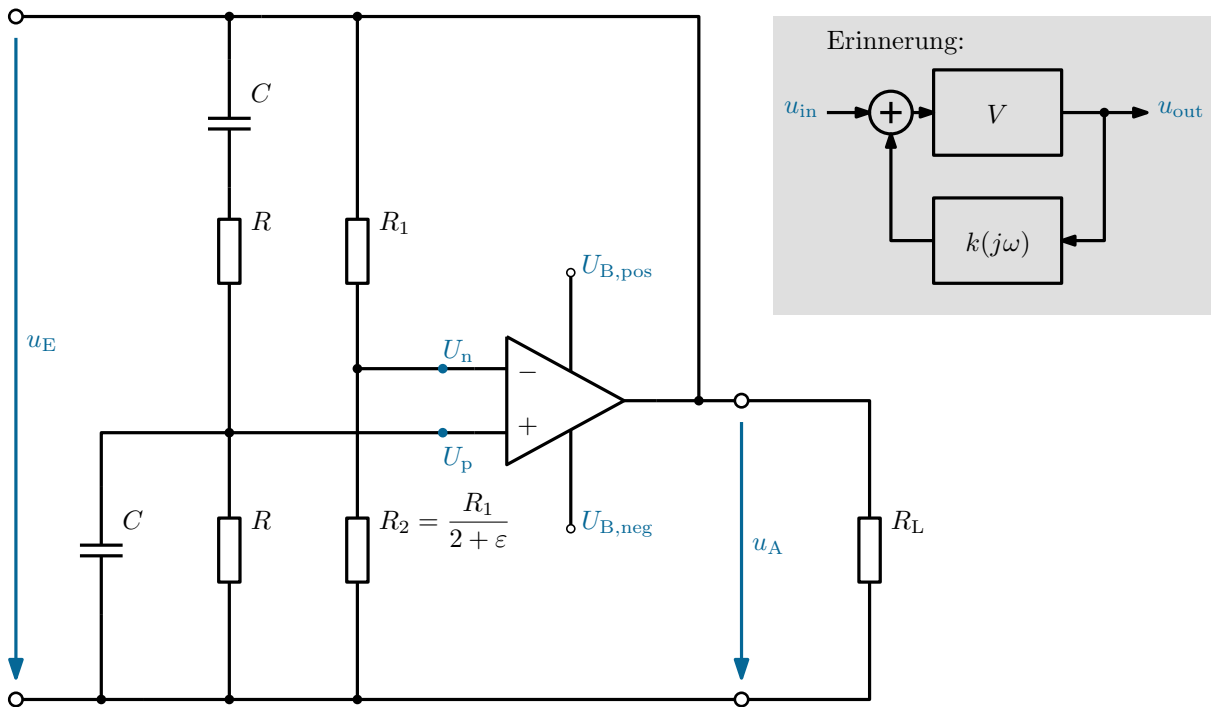
Sie messen bei der Inbetriebnahme dieser Schaltung mit einem realen Operationsverstärker eine Offsetspannung von  $+200 \text{ mV}$ , wenn  $U_E = 0 \text{ V}$  ist. Wie können Sie diese Offsetspannung kompensieren? Skizzieren Sie Ihre Schaltungsmodifikation.

**Hinweis:** Beachten Sie bitte, dass Eingangsoffsetspannung und Bias-Strom ganz verschiedene Dinge sind.



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

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



#### 3.1. 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]?

#### 3.2. Schwingfrequenz [1 Punkt]

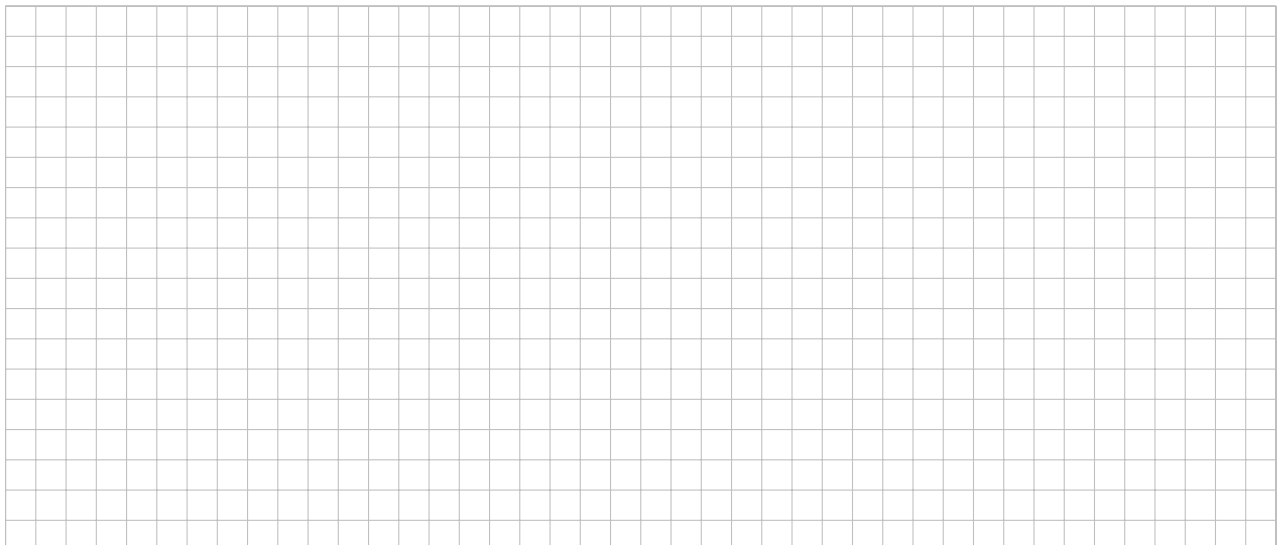
Die Übertragungsfunktion des Rückkopplungsnetzwerks mit Wien-Robinson-Brücke ist

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

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

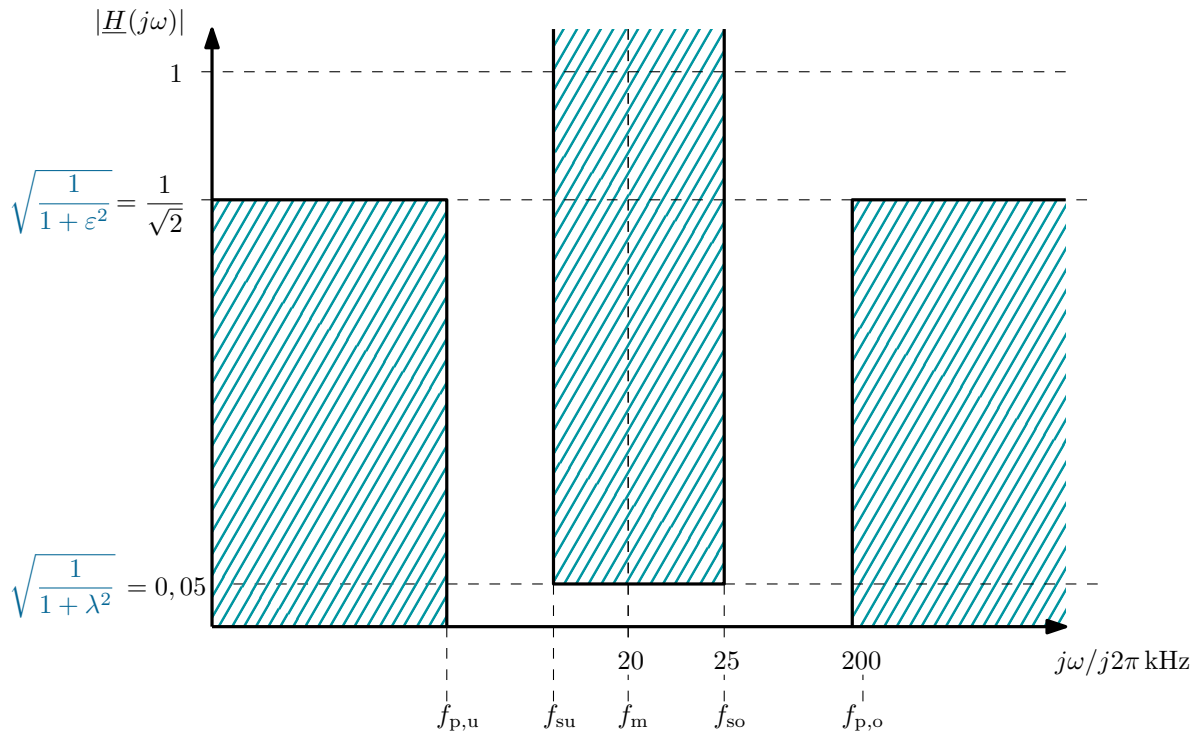
#### 3.3. Verstärkung [2 Punkte]

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]?



#### 4. Aufgabe [10 Punkte]: Filterentwurf

Es soll ein *Bandsperrfilter* mit **Butterworth-Charakteristik** und einer Mittenfrequenz von  $f_m = 20$  kHz (als Kreisfrequenz  $\omega_m = 2\pi \cdot 20$  kHz) entworfen werden, hierfür gilt das folgende Toleranzschema:



##### 4.1. Normierung und Transformation [3 Punkte]

1. Berechnen Sie die fehlenden Werte für  $f_{p,u}$  und  $f_{s,u}$  [1P].
2. Normieren Sie charakteristische Punkte ( $f_{s,u}$ ,  $f_{s,o}$ ,  $f_{p,u}$ ,  $f_{p,o}$ ) der Übertragungsfunktion des Bandsperrfilters auf die Mittenfrequenz  $f_m$  [1P].
3. Transformieren Sie diese mittels der Bandsperr-Tiefpass-Transformation [1P]

$$S^{(\text{TP})} = \frac{\Delta\Omega}{S^{(\text{BS})} + \frac{1}{S^{(\text{BS})}}}, \quad (2)$$

hierin ist  $S^{(\text{BS})} = s/\omega_m$  die auf die Mittenfrequenz normierte Frequenzvariable des Bandsperrfilters und  $\Delta\Omega = (\omega_o - \omega_u)/\omega_m$  die normierte Bandbreite.

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

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

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

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

**Hinweis:** Hilfreich ist der Zusammenhang

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

##### 4.4. Übertragungsfunktion des korrespondierenden Tiefpassfilters [1 Punkt]

Notieren Sie die Übertragungsfunktion des korrespondierenden Tiefpassfilters mit der in Aufgabe 4.3 festgelegten Ordnung. Die Koeffizienten für Butterworth-Filter finden Sie im Anhang der Klausur.

- Hinweis:**
- Sollten Sie in 4.3 keine Ordnung bestimmt haben, so nehmen Sie  $n = 2$  an.
  - Stellen Sie die Übertragungsfunktion als Produkt von Termen 1. und 2. Ordnung dar.

##### 4.5. Übertragungsfunktion des Bandsperrfilters [3 Punkte]

Geben Sie die normierte **und** die ent-normierte Übertragungsfunktion des Bandsperrfilters an.

Koeffiziententabelle für Butterworth-Filter (normiert)

$n$	$i$	$a_i$	$b_i$	$f_{gi}/f_g$	$Q_i$
<i>Butterworth-Filter</i>					
1	1	1,0000	0,0000	1,000	–
2	1	1,4142	1,0000	1,000	0,71
3	1	1,0000	0,0000	1,000	–
	2	1,0000	1,0000	1,272	1,00
4	1	1,8478	1,0000	0,719	0,54
	2	0,7654	1,0000	1,390	1,31
5	1	1,0000	0,0000	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	0,71
	3	0,5176	1,0000	1,479	1,93
7	1	1,0000	0,0000	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
9	1	1,0000	0,0000	1,000	–
	2	1,8794	1,0000	0,703	0,53
	3	1,5321	1,0000	0,917	0,65
	4	1,0000	1,0000	1,272	1,00
	5	0,3473	1,0000	1,521	2,88
10	1	1,9754	1,0000	0,655	0,51
	2	1,7820	1,0000	0,756	0,56
	3	1,4142	1,0000	1,000	0,71
	4	0,9080	1,0000	1,322	1,10
	5	0,3129	1,0000	1,527	3,20

