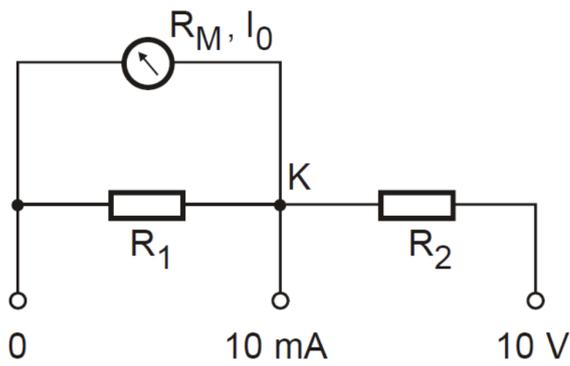


# **Rechenübungen Messtechnik 376.045**

Sommersemester 2021

# Übung 1

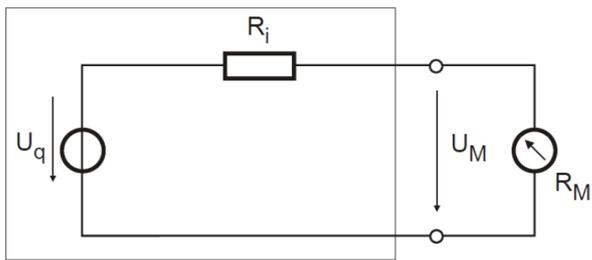
1. Messbereichserweiterung



Ein Drehspulinstrument mit dem Innenwiderstand  $R_M = 400 \Omega$  und Vollausschlag bei  $I_0 = 2 \text{ mA}$  soll für die Messbereiche 10 mA und 10 V ausgelegt werden.

- Dimensionieren Sie  $R_1$  allgemein und zahlenmäßig.
- Dimensionieren Sie  $R_2$  allgemein und zahlenmäßig.
- Sie wollen nun im 10mA-Messbereich den Kurzschlussstrom  $I_b$  einer Stromquelle messen. Mit welchem Widerstand  $R_A$  wird diese Stromquelle durch das Messinstrument belastet?
- Sie wollen nun im 10V-Messbereich die Leelaufspannung  $U_b$  einer Spannungsquelle messen. Mit welchem Widerstand  $R_U$  wird diese Spannungsquelle durch das Messinstrument belastet?

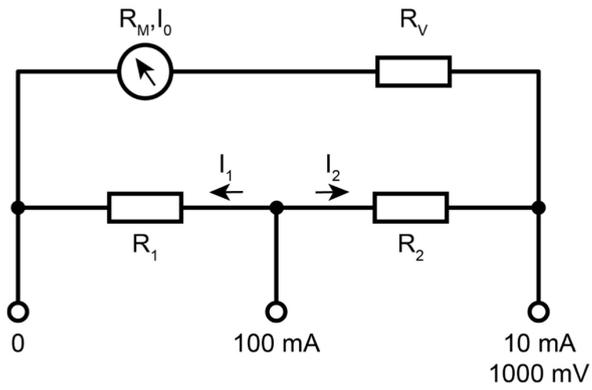
## 2. Spannungsmessung



An den beiden Klemmen der Spannungsquelle wurde mit einem Spannungsmesser der Wert  $U_M = 10 \text{ V}$  mit einem Widerstand  $R_M = 30 \text{ k}\Omega$  gemessen. Der Innenwiderstand  $R_i$  beträgt  $400 \Omega$ .

- Wie groß ist die Leerlaufspannung  $U_q$  der Quelle allgemein und zahlenmäßig?
- Berechnen sie den relativen Messfehler in %.

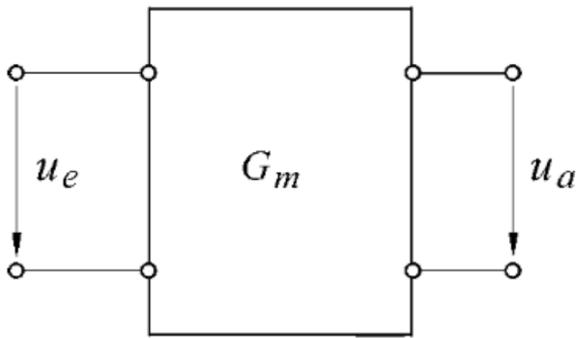
### 3. Messbereichserweiterung



Ein Drehspulinstrument (Innenwiderstand  $R_M = 50 \Omega$ , Vollausschlag bei  $I_0 = 8 \text{ mA}$ ) soll für die im Bild eingezeichneten Messbereiche ausgelegt werden.

- a) Berechnen Sie  $R_V$ ,  $R_1$  und  $R_2$

#### 4. Zeitverhalten

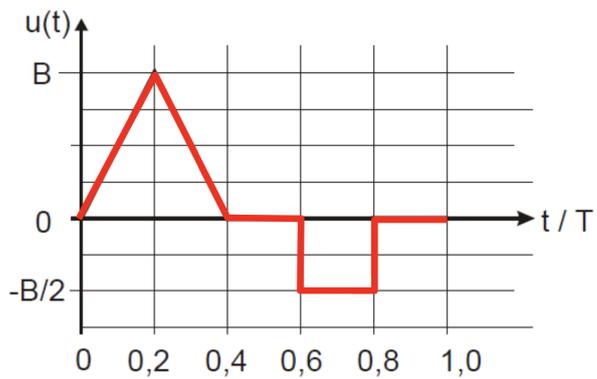


Ein Messgerät mit dem Frequenzgang  $G_m(j\omega)$  weist die Charakteristik eines Verzögerungsgliedes 1. Ordnung auf. Der Innenwiderstand  $R$  und die Eingangskapazität  $C$  beträgt  $500\ \Omega$  und  $100\ \text{pF}$ . Die Gleichspannungsverstärkung beträgt  $20\ \text{dB}$  wobei  $|G_m(j2\pi \cdot 400\ \text{kHz})| = -20\ \text{dB}$ .

- Bestimmen Sie die Grenzfrequenz  $f_g$  des Messgeräts.
- In welchem Frequenzbereich ist der absolute Phasenfehler des Messgeräts  $\geq 10^\circ$ ?

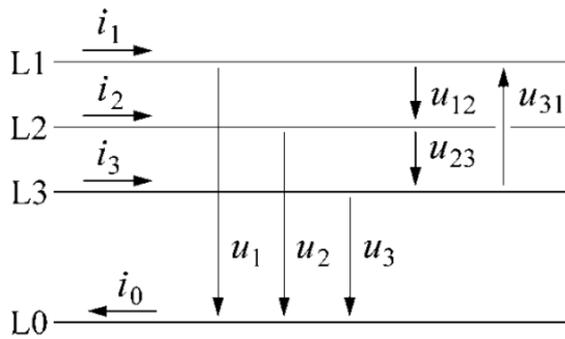
# Übung 2

## 1. Signale



- Berechnen Sie für oberes periodisches Signal allgemein und zahlenmäßig ( $B = 5\text{ V}$ ,  $T = 5\text{ ms}$ ) den Spitze-Spitze Wert, den Mittelwert, den Gleichrichtwert und den Effektivwert.
- Handelt es sich um ein Wechselsignal?
- Für den Wechselanteil berechnen Sie allgemein und zahlenmäßig den Gleichrichtwert, den Effektivwert, den Scheitelwert, den Formfaktor und den Crest-Faktor.

## 2. Leistungsmessung

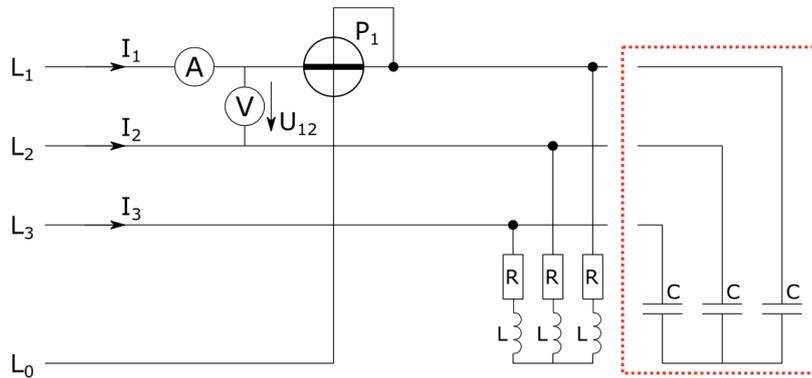


Gegeben sind die folgenden komplexen Spannungs- und Stromraumzeiger eines Dreiphasen-Wechselstromsystems:

- $U_1 = (372.0 - j330.4) \text{ V}$
- $U_2 = (-28.0 - j330.4) \text{ V}$
- $U_3 = (172.0 + j16.0) \text{ V}$
- $I_1 = (2.7 - j4.0) \text{ A}$
- $I_2 = (-1.1 - j13.2) \text{ A}$
- $I_3 = (-1.6 + j17.2) \text{ A}$

- a) Berechnen Sie die gesamte Schein-, Wirk- und Blindleistung allgemein und zahlenmäßig.
- b) Skizzieren Sie die verwendeten Messschaltungen
- c) Berechnen Sie allgemein und zahlenmäßig den Wert von  $I_0$

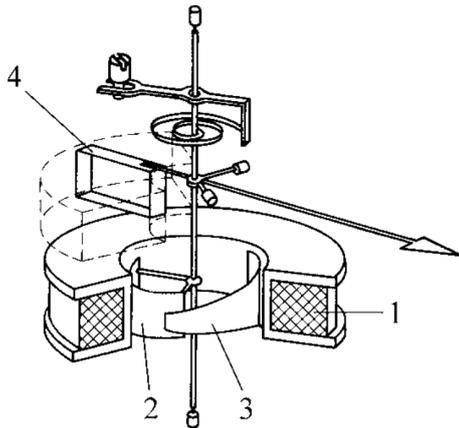
### 3. Leistungsmessung 2



Eine symmetrische Last hängt an einem symmetrischen 50 Hz -Dreiphasen-Drehstromsystem. Die Effektivwerte  $I = 30 \text{ A}$ ,  $U_{12} = 400 \text{ V}$  und die Wirkleistung im Strang 1  $P_1 = 5 \text{ kW}$  wurden gemessen.

- Ignorieren Sie zunächst die Kondensatoren in der roten Box und berechnen Sie die Blindleistung  $Q_1$ , den Widerstand  $R$  und die Induktivität  $L$ .
- Nutzen Sie die Kondensatoren in der roten Box um die Blindleistung  $Q = 3Q_1$  zu kompensieren. Berechnen Sie die erforderliche Kapazität  $C$  und die Ströme  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .
- Aufgrund eines Fehlers wird die Kapazität am Strang 3 durch eine Unterbrechung ersetzt. Berechnen Sie die Ströme  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .

#### 4. Kompensation Messgerät



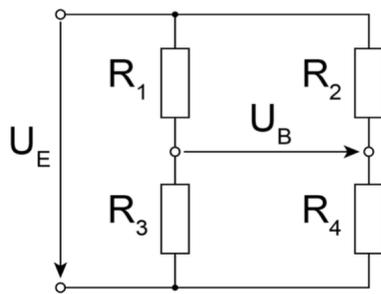
$$\underline{Z}_S = R_S + j\omega L$$

Ein Dreheisenmesswerk mit  $L = 1 \text{ mH}$  und  $R_s = 10 \Omega$  soll zur Spannungsmessung verwendet werden. Bei Spannungsmessung wird der Wert aus dem Strom und der Impedanz  $Z_s$  des Messwerkes indirekt ermittelt.

- Berechnen Sie den frequenzabhängigen Zusammenhang zwischen Strom und Spannung und stellen Sie diesen in einem Bode-Diagramm dar.
- Temperaturkompensation: Dimensionieren Sie einen temperaturunabhängigen Vorwiderstand  $R$  so, dass in einem Temperaturbereich von  $25^\circ\text{C}$  bis  $75^\circ\text{C}$  bei einem Temperaturkoeffizienten  $\alpha = 0.004 \text{ K}^{-1}$  von  $R_s$  der Messfehler  $\Delta i_{dc} < 0.1\%$  bezogen auf den Wert bei  $25^\circ\text{C}$  ist.

# Übung 3

### 1. Ausschlagbrücke

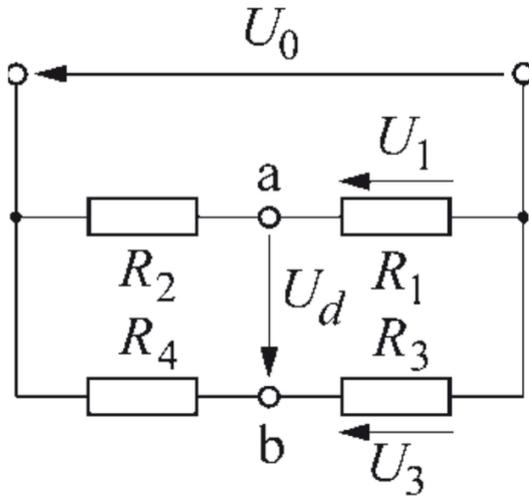


$$\begin{aligned}U_E &= 1V \\ R &= R_2 = R_3 = R_4 = 350\Omega \\ R_1 &= R + \Delta R\end{aligned}$$

Gegeben ist die abgebildete Ausschlagbrücke mit die jeweilige Angaben.

- Berechnen Sie die Brückenspannung  $U_B$  in Abhängigkeit der Widerstandsänderung  $\Delta R$  des DMS und berechnen Sie die Brückenspannung für  $\Delta R = 3\Omega$ .
- Berechnen Sie die Sensitivität der Brückenspannung bezüglich  $\Delta R$ , d.h.  $\frac{dU_B}{d\Delta R}$ .
- Der Widerstand  $R_3$  wird durch einen weiteren DMS ersetzt, wobei  $R'_3 = R - \Delta R$  gilt. Wie verändert sich die Sensitivität  $\frac{dU_{B'}}{d\Delta R}$  im Vergleich zur einfachen Brückenschaltung?

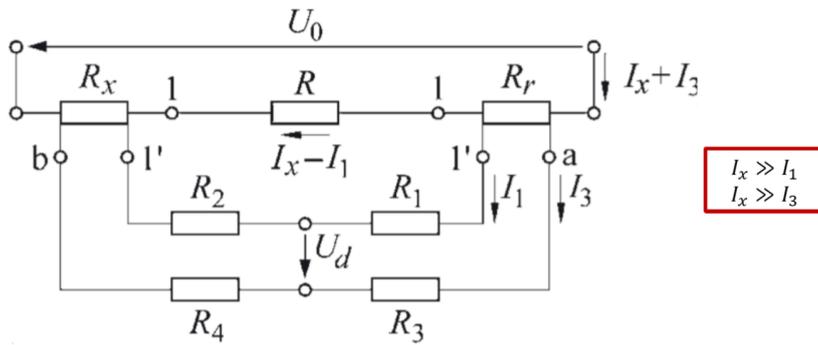
## 2. Wheatstone-Messbrücke



Gegeben ist die abgebildete Wheatstone-Messbrücke. Berechnen Sie allgemein die Abgleichbedingung ( $U_D = 0$ ) in Abhängigkeit der Widerstände  $R_1$  bis  $R_4$ . Zur Messung des Widerstandes  $R_2$  werden die bekannten Widerstände  $R_3 = R_4 = 30 \Omega$ , sowie ein einstellbarer Widerstand  $R_1$  verwendet.

- Die Brücke ist abgeglichen und  $R_2 = 2 \Omega$ . Berechnen Sie  $R_1$ .
- Der Anschluss des Widerstands  $R_2$  besteht aus einem Kontaktwiderstand  $R_k = 0.25 \Omega$  und einem Leitungswiderstand  $R_L = 0.5 \Omega$ . Berechnen Sie  $R_1$ .
- Berechnen Sie den relativen Fehler der Widerstandsmessung der durch den Anschlusswiderstand entsteht.

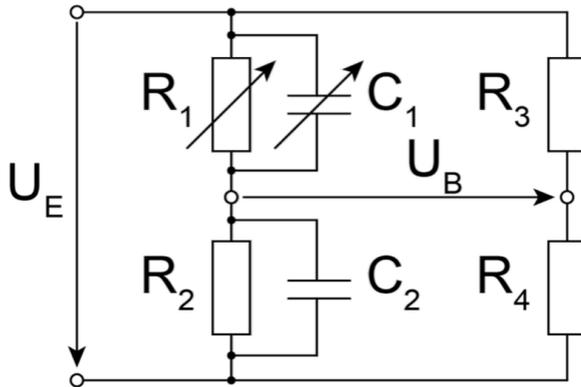
### 3. Thomson-Brücke



Um den Einfluss des Anschlusswiderstandes bei der Messung kleiner Widerstände zu reduzieren, wird eine Thomson-Messbrücke verwendet.  $R_x$  ist der zu messende Widerstand,  $R$  ist der i.d.R. unbekannte Leitungs- und Kontaktwiderstand und  $R_r$  ein bekannter Referenzwiderstand. Gehen sie davon aus, dass  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$  gilt, die beiden Brückenweige sind also mechanisch gekoppelt.

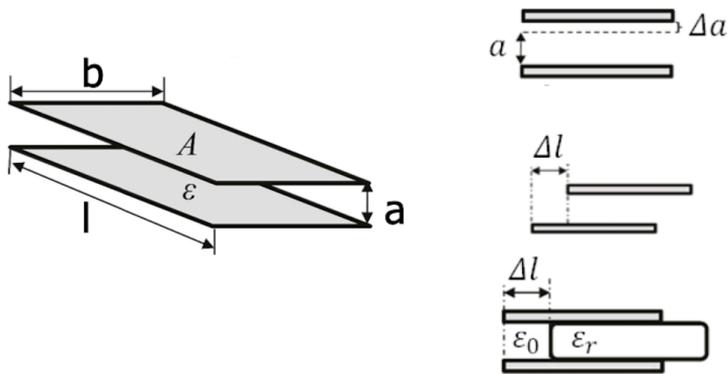
- Berechnen Sie einen Ausdruck für die Abgleichbedingung ( $U_D = 0$ ) in Abhängigkeit aller Widerstände und formen Sie nach  $R_x$  um.
- Wie müssen die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  gewählt werden, damit die die Näherung  $I_x \gg I_1$  und  $I_x \gg I_3$  gilt?

4. Wien-Brücke



- a) Berechnen Sie allgemein und zahlenmäßig die Brückenspannung  $U_B$  für das Eingangssignal  $U_E = A + B \cdot \sin(\omega t)$ . Verwenden Sie dazu folgende Werte
- $A = 10 \text{ V}$ ,  $B = 5 \text{ V}$ ,  $f = 200 \text{ Hz}$
  - $R_1 = 250 \Omega$
  - $R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$
  - $C_1 = 1 \text{ nF}$
  - $C_2 = 10 \text{ nF}$
- b) Berechnen Sie allgemein die Abgleichbedingungen für diese Brücke. Der Widerstand  $R_1$  und der Kondensator  $C_1$  sind einstellbar und können für den Abgleich der Brücke verwendet werden.
- c) Berechnen Sie die Werte von  $R_2$  und  $C_2$  im abgeglichenen Fall. Verwenden Sie dazu
- $R_1 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$
  - $C_1 = 1 \text{ nF}$

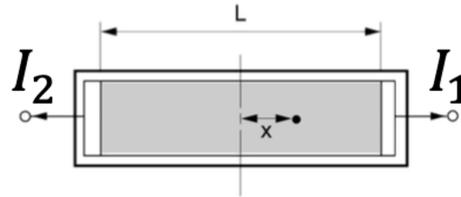
## 5. Kapazitiver Aufnehmer



Gegeben ist der dargestellte Plattenkondensator mit  $l = 10 \text{ mm}$ ,  $b = 1 \text{ mm}$ ,  $a = 0.1 \text{ mm}$ ,  $\epsilon_r = 1000$ .

- Berechnen Sie die Kapazität des Kondensators.
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit des Plattenabstands  $a_0 + \Delta a$
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Plattenüberlappung  $l - |\Delta l|$ .
- Berechnen Sie die Kapazität und die Empfindlichkeit in Abhängigkeit der Position des Dielektrikums  $\Delta l$ .

## 6. Optischer Aufnehmer



www.hamamatsu.com

### General ratings / Absolute maximum ratings

Type No.	Package	Window material *1	Active area size (mm)	Absolute maximum ratings		
				Reverse voltage VR Max. (V)	Operating temperature Topr (°C)	Storage temperature Tstg (°C)
S3931	Ceramic	R	1 × 6	20	-10 to +60	-20 to +80
S3932		R	1 × 12			
S3270 *2		R (B)	1 × 37		-10 to +75	

### Electrical and optical characteristics (Typ. Ta=25 °C, unless otherwise noted)

Type No.	Spectral response range λ (nm)	Peak sensitivity wavelength λp (nm)	Photo sensitivity S λ=λp (A/W)	Interelectrode resistance Rie Vb=0.1 V			Position detection error *3 E VR=5 V light spot φ200 μm		Saturation photocurrent *4 VR=5 V RL=1 kΩ (μA)	Dark current ID VR=5 V		Temp. coefficient of ID TC:ID (times/°C)	Rise time tr VR=5 V RL=1 kΩ (μs)	Terminal capacitance Ct VR=5 V f=10 kHz (pF)	Position resolution *5 (μm)
				Min. (kΩ)	Typ. (kΩ)	Max. (kΩ)	Typ. (μm)	Max. (μm)		Typ. (nA)	Max. (nA)				
S3931	320 to 1100	920	0.55	30	50	80	±30	±120	100	0.15	10	1.15	1.5	40	0.2
S3932	700 to 1100	920	0.55	10	15	20	±60	±240	300	0.2	20		3.0	80	0.3
S3270	700 to 1100	960	0.55	10	15	20	±100	±400	300	0.5	20		1.0	100	2.8

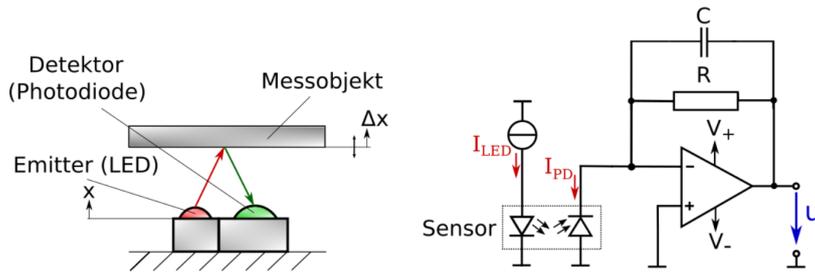
www.hamamatsu.com

Mit einer lateralen Photodiode (S3932) soll die Position eines Laserstrahls gemessen werden.

- Berechnen Sie die Position  $x$  des Laserstrahls in Abhängigkeit der Ströme  $I_1$  und  $I_2$ . Nehmen Sie dabei eine lineare Abhängigkeit zwischen  $x$  und der Differenz der Ströme  $\Delta I = I_1 - I_2$  an.
- Die Anzeige der Auslenkung soll mit einem Voltmeter erfolgen (Messbereich:  $\pm 10 \text{ V}$ ,  $R_i = 1 \text{ k}\Omega$ ). Laser Leistung:  $5 \text{ mW}$ , Laser Wellenlänge:  $\lambda = 920 \text{ nm}$ . Restliche Daten finden Sie aus dem Datenblatt. Entwerfen und dimensionieren Sie die entsprechende Beschaltung des Voltmeters (Vollausschlag bei voller Auslenkung des Lasers).

# Übung 4

## 1. Optischer Näherungssensor

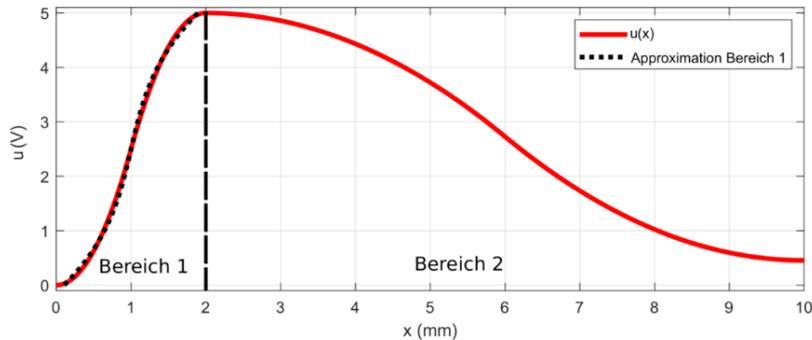


Ein optischer Näherungssensor wird zur Messung der Auslenkung  $\Delta x$  eines Messobjektes verwendet. Im zugehörigen Datenblatt ist der maximale Photostrom mit  $I_{PD,max} = 100 \mu\text{A}$  angegeben. Der OPV wird bipolar mit  $\pm 5 \text{ V}$  versorgt.

- Dimensionieren Sie die angegebene Verstärkerschaltung so, dass
  - bei  $I_{PD} = I_{PD,max}$  die Ausgangsspannung  $u = 5 \text{ V}$  beträgt,
  - die 3dB-Bandbreite bei  $f = 1 \text{ kHz}$  liegt
- Mit einer Kalibriervorrichtung wird nun folgende Kennlinie aufgenommen, wobei Bereich 1 mit dem Polynom

$$u(x) = -1.82 \text{ V/mm}^3 x^3 + 5.46 \text{ V/mm}^2 x^2 - 1.22 \text{ Vmm}^{-1} x + 0.1 \text{ V} \quad (0.1)$$

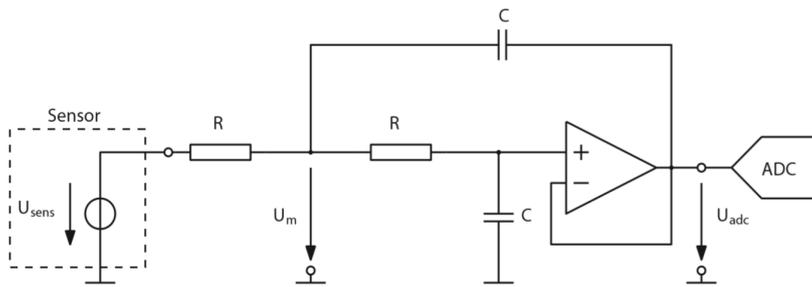
angenähert werden kann.



Berechnen Sie den Abstandswert, in welchem die Sensitivität  $S = \frac{du}{dx}$  maximiert wird.

- Warum eignet sicher dieser Messaufbau für Abstandsmessungen im Bereich  $[1 \text{ mm}, 4 \text{ mm}]$  nicht? Begründen Sie Ihre Antwort!

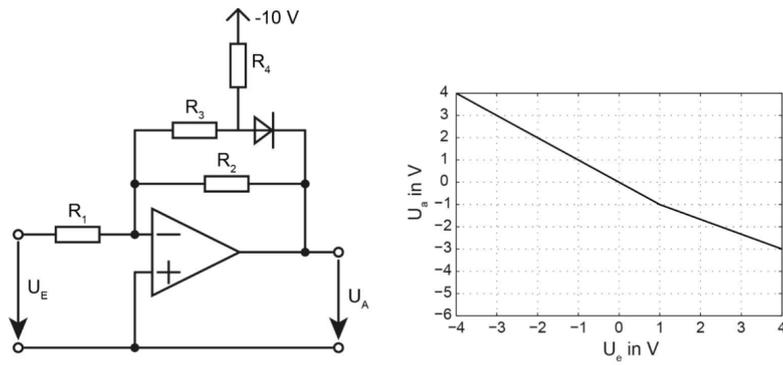
## 2. Sallen-Key Tiefpassfilter



Das Sensorsignal  $U_{sens}$  soll mit einem Analog-Digital Wandler (ADC) digitalisiert werden. Um Aliasing zu verhindern wird ein aktiver Tiefpass zweiter Ordnung nach Sallen-Key verwendet.

- Der ADC tastet seinen Eingang mit 2 MHz ab.
  - Der Operationsverstärker kann als ideal angenommen werden.
- a) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion  $G_{adc,m}(j\omega) = U_{adc}/U_m$  zwischen der eingezeichneten Hilfsgrößen  $U_m$  und dem Ausgang  $U_{adc}$ .
  - b) Bestimmen Sie die eingezeichnete Hilfsgröße  $U_m$  als Funktion von  $U_{adc}$ ,  $U_{sens}$ ,  $R$ ,  $C$  und  $\omega$ .
  - c) Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion  $G(j\omega) = U_{adc}/U_{sens}$  des Filters.
  - d) Bestimmen Sie die Zeitkonstante  $\tau = RC$  des Filter, um bei der Nyquist-Frequenz eine Dämpfung von 20dB zu erreichen.

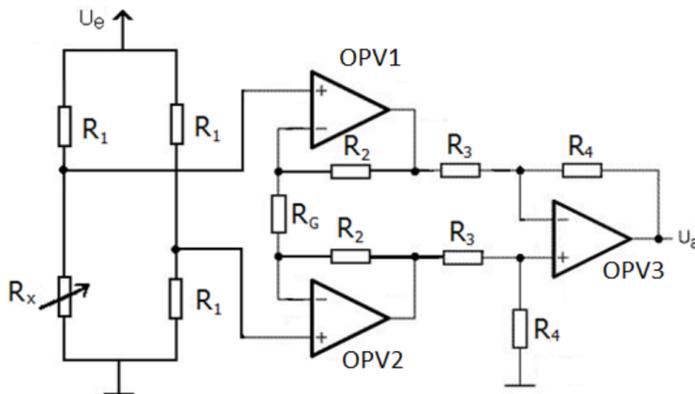
### 3. Knickkennlinie



Die dargestellte Schaltung soll die gegebene Übertragungsfunktion aufweisen. Es gilt  $R_1 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $U_D = 0.6\text{ V}$ ,  $R_D = 0\ \Omega$  und  $R_4 \gg R_1, R_2, R_3$ .

a) Berechnen Sie  $R_2, R_3$  und  $R_4$ .

#### 4. Instrumentenverstärker



Ein Instrumentenverstärker wird benützt um die Ausgangsspannung einer Messbrücke zu erfassen:  $U_e = 10\text{ V}$ ,  $R_x = 10\text{ k}\Omega \pm 20\ \Omega$ . Ihnen stehen OPVs der Type OP27 mit einem Gain-Bandwidth Product von 8 MHz zur Verfügung.

- Dimensionieren Sie die Schaltung so, dass die Widerstandsänderung in ein Signal mit  $\pm 1\text{ V}$  transformiert wird. Dabei sollen Änderungen mit bis zu 500 kHz detektiert werden und ein möglichst geringes Rauschen erzielt werden. (Hinweis: Friis-Formel)
- Wie wirken sich eine Eingangsoffsetspannung  $U_{OS}$  und Eingangsströme  $I_p$  bzw.  $I_n$  auf die Ausgangsspannung  $U_a$  aus? (Hinweis: Berücksichtigen Sie nur die nichtidealen Eigenschaften von OPV1)

# Übung 5

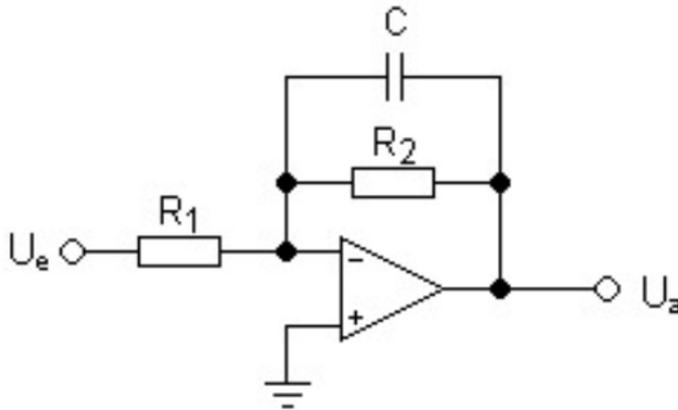
1. Auswertungen von Messungen einer einzelnen Messgröße

Messung	Scheitelspannung/V	Scheitelstrom/A	Phasenwinkel/rad
1	3.2503	0.1405	0.1270
2	3.2378	0.1402	0.1260
3	3.2623	0.1445	0.1253
4	3.2701	0.1454	0.1234
5	3.2345	0.1394	0.1283

Es soll der Wert des Wirkwiderstandes einer Impedanz bestimmt werden. Zu diesem Zweck wurden mehrere Messungen von Strom und Spannung durchgeführt.

- Bestimmen Sie Mittelwert, Standardabweichung, Kovarianzen und Korrelationskoeffizienten der Stichprobe
- Bestimmen Sie die Unsicherheit des Mittelwertes der Stichprobe mit einer 95.5%-igen Aussagewahrscheinlichkeit,  $U(\bar{\varphi}) = 0.0025$  rad
- Geben sie den Wert des Wirkwiderstandes mit Messunsicherheit an

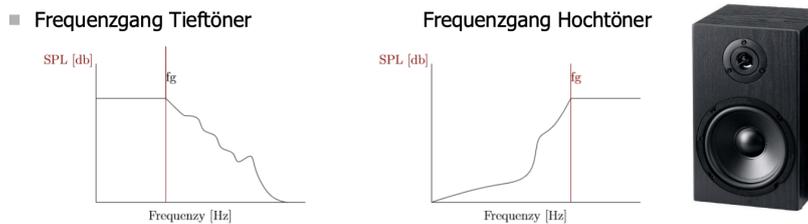
## 2. Rauschen eines Messverstärkers



Das Rauschverhalten eines Messverstärkers soll untersucht werden. Die Bauteilwerte des Messverstärkers betragen  $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $C_1 = 1 \text{ nF}$  und die Umgebungstemperatur beträgt  $T = 25^\circ\text{C}$ . Der Operationsverstärker OP07 hat eine Rauschspannungsdichte  $U_n = 10 \frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$  und eine Rauschstromdichte  $I_n = 0.3 \frac{\text{pA}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ .

- Bestimmen Sie die Gleichspannungsverstärkung  $A$  und die  $-3\text{dB}$ -Bandbreite  $f_{-3\text{dB}}$  der Schaltung.
- Bestimmen Sie die Rauschspannungsdichten  $U_{R1}$  und  $U_{R2}$  der Widerstände  $R_1$  und  $R_2$  in  $\frac{\text{nV}}{\sqrt{\text{Hz}}}$ .
- Bestimmen Sie die vier Transferfunktionen der einzelnen, nicht korrelierten Rauschquellen ( $U_{R1}$ ,  $U_{R2}$ ,  $U_n$ ,  $I_n$ ) zum Ausgang der Schaltung.
- Berechnen Sie die spektrale Rauschleistungsdichte am Eingang der Schaltung als Funktion der Frequenz.  
Hinweis:  $PSD_{out}(f) = |G(f)|^2 PSD_{in}(f)$ .
- Berechnen Sie den RMS Wert des Rauschens am Eingang in einem Frequenzbereich von  $100 \text{ Hz}$  bis  $100 \text{ kHz}$ .
- Berechnen Sie die durch den Verstärker verursachte Messunsicherheit innerhalb derer  $99.7\%$  der Messwerte von  $U_e$  liegen werden.

### 3. Aktive Frequenzweiche



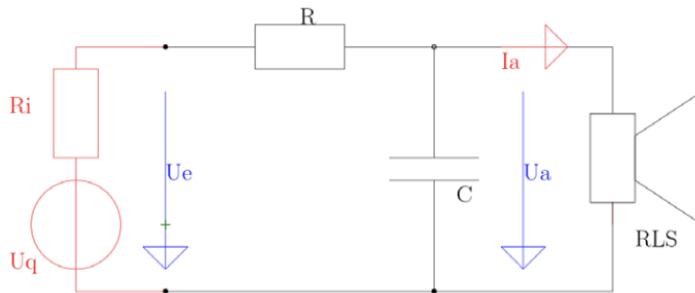
Kaum ein Lautsprecher kann über den gesamten hörbaren akustischen Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz einen ausreichenden Schalldruckpegel liefern. Abhilfe schaffen Zweiwegelautsprecher mit Hoch- und Tieftöner. Die Aufteilung des Signals übernimmt eine dabei sogenannte Frequenzweiche. Hoch- und Tieftöner sollen in Kombination das ganze akustische Spektrum eines Musiksignal abdecken. Die Grenzfrequenz  $f_g$  der Lautsprecher beträgt 500 Hz.

Gehen Sie von folgender Struktur (für beide Lautsprecher) aus:



- Skizzieren Sie das Blockdiagramm eines Zweiwegelautsprechersystems mit Hoch- und Tieftöner, zugehöriger Verstärker und Filter. Beide Lautsprecher werden vom gleichen Musiksignal angesteuert.
- Wieso wird diese Frequenzweiche als aktiv bezeichnet?  
Tipp: Gehen Sie von der oben gezeigten Struktur aus.
- Entwerfen Sie jeweils einen RC und RL HP und TP 1. Ordnung (in Summe 4 Filter) als Vorfilter für die beiden Lautsprecher, wobei  $R = 500 \Omega$  ist. An der Grenzfrequenz soll in beiden Lautsprechern die halbe Signalleistung umgesetzt werden.
- Wodurch unterscheiden sich die RC und RL Filter?  
Tipps: Der Filterausgang kann als unbelastet betrachtet werden ( $I_a = 0 \text{ A}$ ), da der Verstärkereingang sehr hochohmig ist.
- Entwerfen Sie je einen passiven RLC HP und TP 2. Ordnung, wobei  $L = 50 \text{ mH}$  ist. An der Grenzfrequenz soll in beiden Lautsprechern die halbe Signalleistung umgesetzt werden. Vergleichen Sie die Charakteristik der Filter 1. und 2. Ordnung anhand ihrer Bodediagramme.  
Tipps: Der Filterausgang kann als unbelastet betrachtet werden ( $I_a = 0 \text{ A}$ ), da der Verstärkereingang sehr hochohmig ist. Stellen Sie die analytischen Übertragungsfunktionen auf und plotten Sie diese in Matlab oder einer ähnlichen Software.

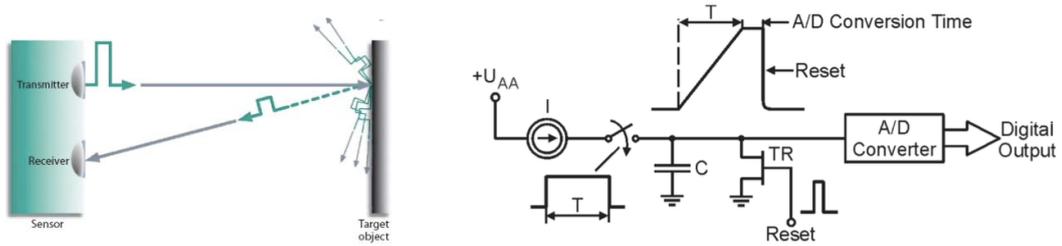
#### 4. Passive Frequenzweiche



Gehen Sie von der unten dargestellten passiven Frequenzweiche aus und davon, dass der Lautsprecher in erster Näherung durch einen 4 Widerstand  $R_{LS}$  modellierbar ist.

- Warum spricht man in diesem Fall von einer passiven Frequenzweiche?
- Was darf im Gegensatz zum aktiven Filter hier nicht vernachlässigt werden?
- Gehen Sie von einem Quelleninnenwiderstand  $R_i = 0 \Omega$  aus. Verwenden Sie den in Bsp. 3.3. berechneten RC TP. Wie beeinflusst die Last  $R_{LS}$  die Grenzfrequenz der RC Gliedes? Kompensieren Sie den Einfluss des Lastwiderstand durch eine Anpassung des Filterwiderstands R und stimmen Sie mit C die Grenzfrequenz  $f_g$  des Filters wieder auf 500 Hz ab.  
Tipp: Bestimmen sie die Zeitkonstanten indem Sie einen Ersatzwiderstand für R und  $R_{LS}$  berechnen.
- Gehen Sie von einem Quelleninnenwiderstand von  $50 \Omega$  aus. Verwenden Sie den in Bsp. 3.3. berechneten RC HP. Wie beeinflusst die Last  $R_{LS}$  die Grenzfrequenz der RC Gliedes?  
Tipp: Bestimmen sie die Zeitkonstanten indem Sie einen Ersatz-widerstand für R,  $R_i$  und  $R_{LS}$  berechnen.

## 5. Time-of-Flight Abstandssensor

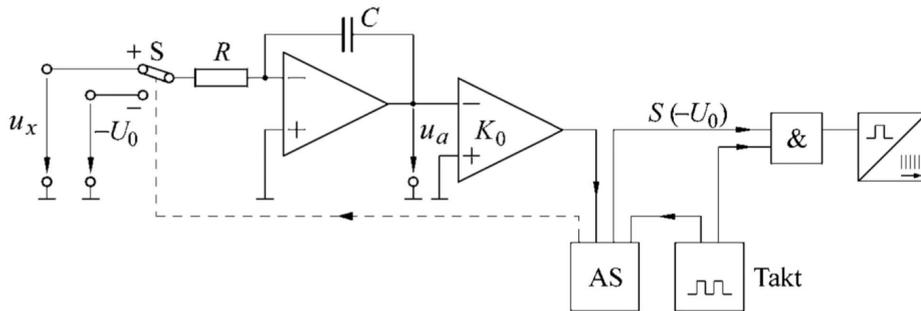


TOF Abstandssensoren messen die Zeit, welche ein Lichtimpuls braucht um vom Sensor zu einem Objekt und wieder zurück zu gelangen und berechnen daraus den Abstand zum Objekt.

- Welche Zeitaufösung ist nötig um eine Abstandsaufösung von 1mm zu erreichen?  
Tipp: Eine Möglichkeit eine präzise Zeitaufösung zu erreichen ist die Zeit-zu-Amplituden Konvertierung.
- Es steht ein 16bit ADC zur Verfügung, welcher einen Eingangsspannungsbereich von  $[0...3.3V]$  besitzt (Hinweis: vernachlässigen Sie die nichtidealen Eigenschaften des ADCs). Dimensionieren Sie die Kapazität  $C$  der Schaltung für eine Konstantstromquelle mit  $I = 10 \text{ mA}$  um eine Auflösung von 1 mm zu erreichen.
- Welche maximale Distanz kann damit erfasst werden?

# Übung 6

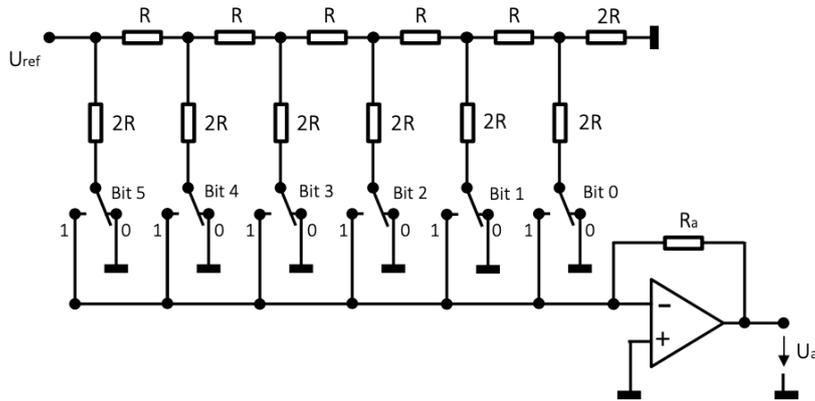
## 1. Dual Slope Konverter



Ein 8-bit Dual Slope Konverter bildet die Ausgangsspannung eines Sensors ( $\pm 5\text{ V}$ ) digital ab. Um Aliasing zu vermeiden soll ein RC-Tiefpass 1-ter Ordnung dimensioniert werden. Die maximale auftretende Signalfrequenz  $f_{sens}$  beträgt 300 Hz.

- Berechnen Sie die Auflösung des ADCs ( $U_{LSB}$ )
- Geben Sie die zu erwartende Rauschspannung ( $U_{Rausch}$ ) an
- Dimensionieren Sie den Antialiasing-Filter (RC-Tiefpass 1-ter Ordnung), dass die -3dB Grenzfrequenz des Filters der Signalfrequenz  $f_{sens}$  entspricht. Berechnen Sie die zugehörige Zeitkonstante  $\tau$  des Filters. Um Signaldämpfung und Phasendrehung zu reduzieren wird die Grenzfrequenz um eine Dekade erhöht. Was bedeutet dies für die Abtastfrequenz?
- Berechnen Sie die Frequenz, mit der sie abtasten müssen, damit der Abtastfehler eines sinusförmigen Messsignals stets kleiner als  $1 U_{LSB}$  ist („Echtzeit Signalabtastung“).
- Berechnen Sie die Integrationszeit  $T_1 = t_2 - t_1$  und die Messzeit  $T_M = t_x - t_2$  der Dual-Slope Schaltung unter Berücksichtigung folgender Angaben:
  - $u_x$  wird mit einer Offsetspannung auf den Bereich  $[0\dots 10]\text{V}$  angehoben
  - $U_0 = 5\text{ V}$ ,  $R = 2.2\text{ k}\Omega$ ,  $C = 1.5\text{ nF}$ ,  $u_{a,max} = 10\text{ V}$
- Wie groß muss die interne Pulsfrequenz  $f_{Takt}$  sein, damit jedes Bit mit mindestens einem Puls abgebildet wird?
- Der Komparator sei ideal bis auf eine Schaltzeit  $t_k = 10\text{ ns}$ . Welcher Art ist die dadurch entstehende Abweichung von der Sollcharakteristik? Berechnen sie den relativen Fehler bei  $U_x = 2.5\text{ V}$ .

## 2. R-2R DAC

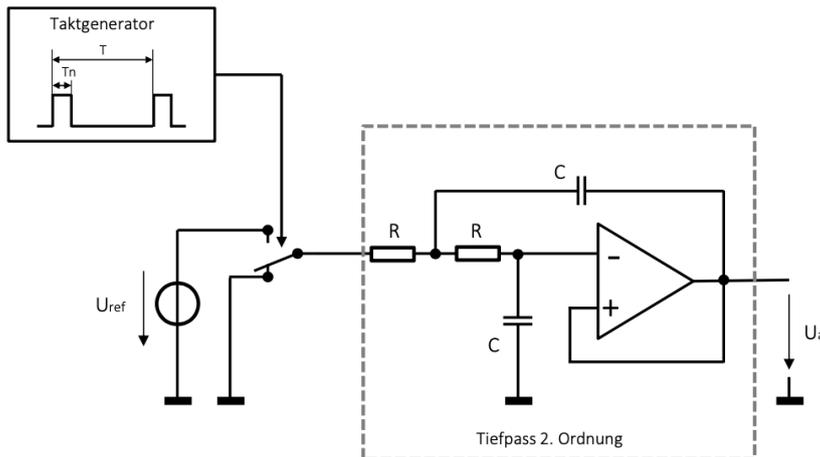


Gegeben ist ein DAC nach dem Wageverfahren mit folgenden Parametern:

$$U_{ref} = -5 \text{ V}, R = 1 \text{ k}\Omega$$

- Berechnen Sie den Strom  $i_{ges}$  mit der  $U_{ref}$  belastet wird. Wie groß sind die Teilströme durch jeden Schalter? Dimensionieren Sie  $R_a$  für eine maximale Ausgangsspannung  $U_a$  gleich 10 V?
- Geben Sie für die anliegende Eingangskombination Bit5=0; Bit4=1; Bit3=1; Bit2=0; Bit1=0; Bit0=1 die Spannung  $U_a$  am Ausgang des OPVs an.
- Berechnen Sie die maximale Fehlerspannung  $\Delta U_a$  die in einem Temperaturbereich von  $-30^\circ\text{C}$  bis  $80^\circ\text{C}$  auftritt und geben Sie die Temperatur und die Schalterkombination an, bei der diese auftritt (Referenztemperatur  $20^\circ\text{C}$ ):
  - Temperaturänderung von R:  
 $R(T) = R(20^\circ\text{C}) \cdot [1 + \alpha \cdot (T - 20^\circ\text{C})]$  mit  $\alpha = 5 \times 10^{-4} \text{ 1}/^\circ\text{C}$
  - Temperaturänderung von  $U_{ref}$ :  
 $U_{ref}(T) = -5 \text{ V} \cdot [1 + \beta \cdot (T - 20^\circ\text{C})]$  mit  $\beta = 2 \times 10^{-5} \text{ 1}/^\circ\text{C}$

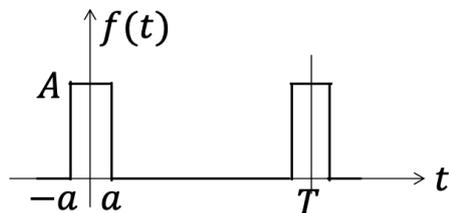
### 3. Tastverhältnis DAC



Die gepulste Referenzspannung ( $U_{ref} = 5\text{ V}$ ) wird über einen Sallen-Key Filter (Tiefpass-Filter 2-ter Ordnung) geglättet. Die Periodendauer  $T$  der Pulse beträgt  $1\text{ ms}$ , es soll ein 8bit DAC realisiert werden.

- Wie groß ist die maximal erreichbare Ausgangsspannung?
- Es wird ein Digitalwert von  $10010000_b$  vorgegeben. Berechnen sie den Mittelwert von  $U_a$ ?
- Das Signal nach dem Schalter kann durch folgende Fourierreihe beschrieben werden:

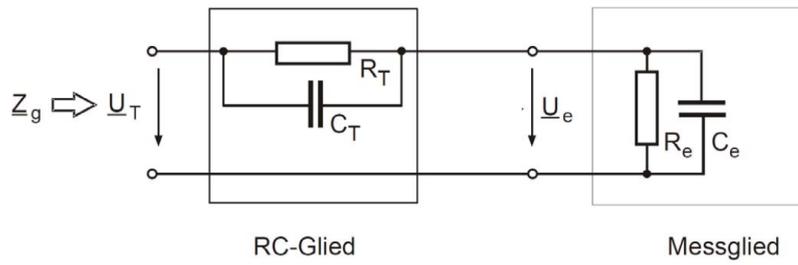
$$f(t) = U_0 + \sum_{n=1}^{\infty} U_n(t) = \frac{2A \cdot a}{T} + \frac{2A}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{2\pi n}{T} \cdot a\right)}{n} \cos\left(\frac{2\pi n}{T} \cdot t\right)$$



Berechnen sie die maximale Amplitude der Grundwelle  $U_1(t)$ . Bei welchem Tastverhältnis tritt diese auf?

- Die Welligkeit der Ausgangsspannung soll kleiner als  $\frac{1}{10} U_{LSB}$  sein, wobei nur die Grundwelle zu berücksichtigen ist. Bestimmen Sie die Übertragungsfunktion und Zeitkonstante,  $\tau = RC$ , des TP-Filters.

#### 4. Frequenzkompensierter Spannungsteiler



- Berechnen Sie allgemein den komplexen Spannungsteilerfaktor als Funktion der Frequenz.
- Wie lautet die Abgleichbedingung für den frequenzunabhängigen Teilerfaktor?
- Wie groß ist der abgegliche Teilerfaktor?
- Wie groß ist der Eingangswiderstand?