

Die folgenden **Rechenbeispiele** zu *Grundlagen der Elektronik* werden in der angegebenen Übungseinheit vom Vortragenden vorgerechnet und erläutert. Die ausgearbeiteten Beispiele werden nicht auf TISS veröffentlicht, Ihre Anwesenheit ist erforderlich!

Es wird dringend empfohlen, möglichst viele Beispiele zuvor selbständig zu lösen, weil bei den Tests ähnliche Aufgaben gestellt werden!

Ausgearbeitete Beispiele sollen **am Beginn** der Übungseinheit (pünktlich!) im Hörsaal in Papierform abgegeben werden, um Bonuspunkte für die Beispiele angerechnet zu bekommen.

Voraussetzungen für die Bewertung:

- Form: Eigenhändige Handschrift als Original, klar und gut leserlich. (Am Tablet schreiben und ausdrucken gilt nicht.) Tipp: Behalten Sie sich eine Kopie oder gescannte Version, damit Sie Ihre Ergebnisse mit den in der Übung präsentierten Rechnungen vergleichen können.
  - Wir behalten uns die Möglichkeit vor, die Handschrift mit der in den Tests zu vergleichen.
  - Name und Matrikelnummer auf der ersten Seite.
  - Wenn mehr als ein Blatt abgegeben wird, bitte zusammenheften oder -kleben! Für verloren gegangene fliegende Zettel gibt es keine Punkte. Bitte keine Plastikhüllen!
  - Rechengang nachvollziehbar und richtig.
  - Ergebnis richtig (alle Teilaufgaben zu einer Nummer; bis auf allfällige Rundungsfehler).

Für ein korrekt ausgearbeitetes Beispiel erhalten Sie 0.5 Bonuspunkte, jedoch **max. 2 Bonuspunkte** pro Übungseinheit. Insgesamt können daher **maximal 8 Bonuspunkte** erworben werden.

*Verspätet abgegebene Beispiele oder solche, die den angegebenen Kriterien nicht entsprechen, können nicht berücksichtigt werden!*

Bei allen Beispielen:

Wenn eine Größe nicht angegeben ist, es dafür aber „typische“ Werte gibt, nehmen Sie einen typischen Wert an.

Wenn nicht ausdrücklich verlangt, müssen Sie nicht darauf achten, ob ein passender Bauteil z.B. in der Reihe E12 (vgl. Anhang im Skriptum) tatsächlich erhältlich ist.

Bei den Bipolartransistoren können der Leitwert parallel zur Stromsenke in der Kollektor-Emitter-Strecke (Vierpol-Parameter  $h_{22}$ ) und die Rückwirkung der Kollektorspannung auf die Basisspannung (Vierpol-Parameter  $h_{12} = h_{re}$ ) vernachlässigt werden. Sie dürfen weitere Terme  $1/\beta$  gegen 1 vernachlässigen und auch annehmen, dass die Sättigungsspannung  $U_{CE,sat}$  vernachlässigbar klein ist, wenn sich aus der Aufgabenstellung nichts anderes ergibt.

Beispiel D1

- (a) Betrachten Sie einen npn-Transistor als Verstärker in Kollektorschaltung. Zeichnen Sie das Schaltbild für einen solchen Verstärker aus dem Gedächtnis (erst danach nachschauen!). Sie brauchen keinen Spannungsteiler für die Basis vorsehen; nehmen Sie an, dass die Eingangsspannung schon einen passenden Gleichspannungsanteil hat.
- (b) Finden Sie den Wert für den benötigten Widerstand. Die Versorgungsspannung ist +48 V. Beim Arbeitspunkt (in der Mitte zwischen Masse und der positiven Versorgungsspannung) soll der Kollektorstrom gleich 80 mA sein. Der Transistor hat eine Stromverstärkung von  $\beta \geq 100$ .
- (c) Wie groß ist der maximale Emitterstrom und der maximale Basisstrom?
- (d) Wie groß ist die Spannungsverstärkung?
- (e) Bei welcher Spannung am Emitter erreicht die Verlustleistung im Transistor ein Maximum? Wie hoch ist die Verlustleistung dann? Am Ausgang liegt keine zusätzliche Last. Sie brauchen also nur die Schaltung aus (a, b) betrachten.
- (f) Die maximal zulässige Sperrschichttemperatur beträgt 150 °C, und die maximale Umgebungstemperatur ist 50 °C. Der Transistor hat einen Wärmeübergangswiderstand zwischen Sperrschicht und Gehäuse von 15 K/W. Welchen Wärmeübergangswiderstand soll der Kühlkörper haben, damit der Transistor nicht zerstört wird? Verwenden Sie hier das Ergebnis von (e). Den Wärmeübergangswiderstand zwischen Transistorgehäuse und Kühlkörper dürfen Sie vernachlässigen.

Beispiel D2

Sie wollen eine LED-Lampe bauen und mit einer Logikschaltung ein- und ausschalten. Der Logikbaustein arbeitet mit einer Versorgungsspannung von +5.0 V; im „Ein“-Zustand liefert er unbelastet +5.0 V, allerdings nur sehr kleine Ströme (maximal 10 mA). Im „Aus“-Zustand ist die Ausgangsspannung ohne Last kleiner als 0.1 V.

Um hell zu leuchten, benötigt die LED einen Strom von 1.3 A bei einer Durchflussspannung von 3.7 V. Sie haben dafür eine Versorgungsspannung von +5.0 V zur Verfügung; diese kann genug Strom für die LED bereitstellen.

Entwerfen Sie eine passende Schaltung (zuerst ohne im Skriptum nachzusehen!) mit

- einem Bipolartransistor und
- einem MOSFET.
- Welche MOSFETs aus der Tabelle (unten) sind geeignet? Wenn Sie einen Widerstand brauchen, schlagen Sie einen Widerstandswert vor!
- Für die geeigneten Typen: Schätzen Sie die Leistung ab, die im MOSFET dissipiert wird.

Bezeichnung	Polarität	$I_{D(\max)}$ (A)	$U_{DS(\max)}$ (V)	$U_{th}$ (V)	$R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	bei $U_{GS}$ (V)
STD1NK60	n-Kanal	1.0	100	3	0.5	5.0
STD2NK60Z	n-Kanal	1.4	600	3.5–4.5	8	10
IRLL2705	n-Kanal	3.0	55	1–2	0.05	5.0

(Randbemerkung: Die 5-Watt-LED in diesem Beispiel braucht einen Kühlkörper. „Kleine“ LEDs, die z.B. anzeigen, ob ein Gerät eingeschaltet ist, haben einen höchstzulässigen Strom von 20 mA und kommen ohne Kühlkörper aus.)

Beispiel D3

(Auch wenn es ein langes Beispiel ist, bitte durcharbeiten! Es ist ein wichtiges Thema!)

(a) Mit einem Operationsverstärker wird ein Integrierer aufgebaut.

(1) Zeichnen Sie das Schaltbild aus dem Gedächtnis.

(2) Nehmen Sie eine Eingangsspannung  $u_1(t) = U_0 \cos \omega t$  an, und berechnen Sie, basierend auf den grundlegenden Eigenschaften des Operationsverstärkers, die Ausgangsspannung  $u_2(t)$ , ohne die komplexe Schreibweise zu verwenden.

(Selber rechnen, nicht die Rechnung abschreiben!)

(3) Erklären Sie die Phase des Ausgangssignals.

(4) Bei welcher Kreisfrequenz  $\omega$  einer sinusförmigen Spannung sind die Amplituden am Ein- und Ausgang gleich?

(5) Nehmen Sie eine Eingangsspannung von null an. Der Operationsverstärker hat eine Eingangsoffsetspannung von 2 mV; ansonsten ist es ein idealer OPV. Der Integrierer ist mit  $R = 1 \text{ M}\Omega$ ,  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$  aufgebaut. Berechnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung als Funktion der Zeit. Die Ausgangsspannung sei anfangs (bei  $t = 0$ ) gleich 0; schätzen Sie die Ausgangsspannung nach einer Stunde ab. Das Vorzeichen der Offsetspannung ist unbekannt; nehmen Sie ein beliebiges Vorzeichen an.

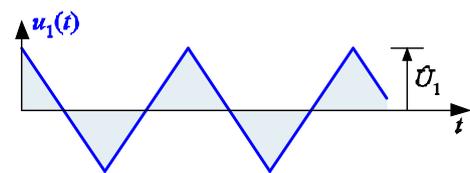
(6) Nehmen Sie an, dass der OPV einen Eingangsruhestrom von  $I_b = 80 \text{ nA}$  hat, und ansonsten ideal ist. Der Strom  $I_b$  fließt in Richtung der negativen Versorgungsspannung. Berechnen Sie für die selben Werte von  $R$ ,  $C$  wie zuvor den Verlauf der Ausgangsspannung als Funktion der Zeit. Wie groß ist die Ausgangsspannung nach einer Stunde?

(Die angegebenen Wert für  $U_{\text{offset}}$  und  $I_b$  sind übrigens typische Werte für den LM741, also für den Operationsverstärker, den Sie in den Laborübungen verwenden.)

(b) Betrachten Sie einen Differenzierer mit einem Operationsverstärker.

(1) Zeichnen Sie das Schaltbild aus dem Gedächtnis.

(2) Nehmen Sie eine dreieckförmige Eingangsspannung wie im Bild mit Frequenz  $f$  an. Skizzieren Sie den Verlauf der Ausgangsspannung, wie er im Oszilloskop zu sehen wäre (Eingangsspannung mit der selben Zeitachse dazuzichnen!) und berechnen Sie die Amplitude des Ausgangssignals.



(3) Nehmen Sie an, dass beim Differenzierer zusätzlich zum Kondensator ein Widerstand  $R_1$  zwischen der Quelle der Eingangsspannung und dem Eingang des Differenzierers gelegt wird. Berechnen Sie die komplexe Übertragungsfunktion  $g(\omega)$ .

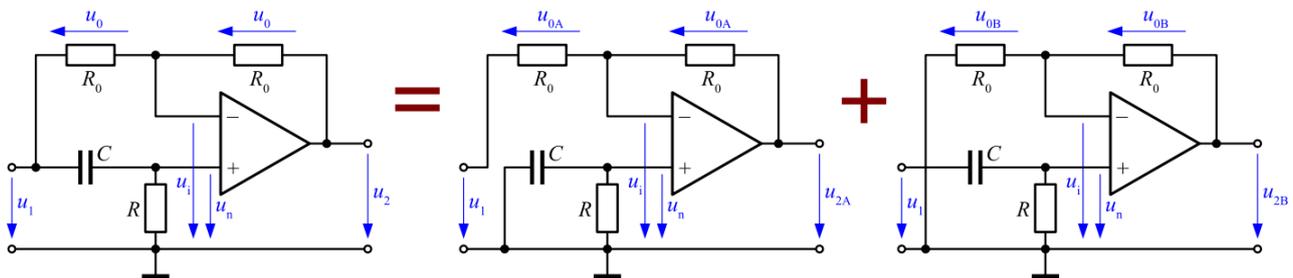
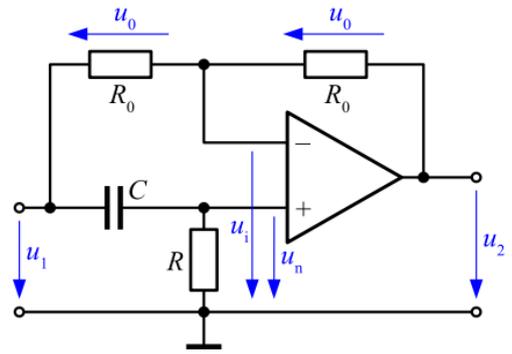
(4) Abgesehen von einem konstanten Vorfaktor kennen Sie diese Übertragungsfunktion schon! Welche einfache Grundschaltung hat (bis auf einen konstanten Vorfaktor) diese Übertragungsfunktion?

### Beispiel D4

- (a) Berechnen Sie die komplexe Übertragungsfunktion  $g(\omega) = \mathbf{u}_2 / \mathbf{u}_1$  der Schaltung im Bild rechts. Nehmen Sie dabei einen idealen Operationsverstärker an.

Hinweis: Verwenden Sie das Helmholtz'sche Überlagerungsverfahren: Legen Sie die Spannung  $u_1$  nacheinander am invertierenden und nichtinvertierenden Zweig an, siehe Bild unten, und berechnen Sie die Ausgangsspannung als die Summe dieser beiden Beiträge.

Übrigens, die RC-Schaltung am nichtinvertierenden Eingang sollten Sie kennen. (Wenn nicht, dringend das Wechselstrom-Kapitel wiederholen!)

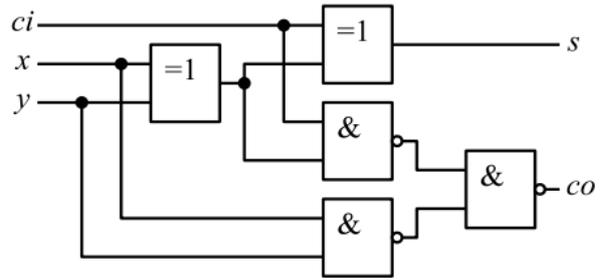


Berechnen Sie aus  $g(\omega)$

- (b) den Betrag der Übertragungsfunktion  $|g(\omega)|$   
 (c) die Phase der Übertragungsfunktion für  $\omega = 0$ ,  $\omega = 1/(RC)$  und  $\omega \rightarrow \infty$

Beispiel D5

- (a) Bestimmen Sie die Wahrheitstabelle für die Ausgänge  $s$  und  $co$  der Schaltung im Bild, als Funktion der Eingänge  $ci, x, y$ .  
Hinweis: Eine Tabelle mit Zwischenergebnissen an den Ausgängen der einzelnen Gatter aufschreiben!



- (b) Nehmen Sie an, dass die Eingänge jeweils 1-bit Binärzahlen sind ( $ci$  steht dabei für *carry in*, also Übertrag von der vorhergehenden Stufe), und die Ausgänge eine zweistellige Binärzahl darstellen ( $co = carry out$  steht dabei für das höherwertige Bit). Welche elementare Rechenoperation führt die Schaltung durch?
- (c) Sie möchten eine Schaltung mit drei Eingängen und drei Relais durch Logikgatter und einen n-Kanal MOSFET für das Schalten der Last ersetzen (Bild unten). Die Relais schalten jeweils ein (schließen den Schalter), wenn an der Spule eine Spannung von 5 V anliegt. Auch die Logikgatter haben 5 V Versorgungsspannung (und positive Logik).  
Entwerfen Sie eine geeignete Schaltung. (Sie brauchen sich bei diesem Beispiel nicht um die Auswahl eines geeigneten MOSFET kümmern.)  
Hinweis: Analysieren Sie zuerst, welche Logikfunktion die Relaischaltung durchführt.
- (d) Was müssen Sie an der Schaltung von (c) ändern, wenn Sie eine induktive Last (z.B. eine Magnetspule) haben?

