

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

Bei den Transistoren 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, wenn sich aus dem Beispiel nichts anderes ergibt.

Beispiel C1:

Lösen Sie die folgenden Aufgaben für

- (a) einen Einweg-Gleichrichter mit Glättungskondensator,
- (b) einen Zweiweg-Gleichrichter mit Glättungskondensator in Mittelpunktschaltung, und
- (c) einen Zweiweg-Gleichrichter in Graetz-Schaltung mit Glättungskondensator.

Die Trafospannung sei  $U_{\text{eff,sek}} = 24 \text{ V}$  ( $2 \times 24 \text{ V}$  bei der Mittelpunktschaltung),  $f = 50 \text{ Hz}$ . Der Innenwiderstand des Transformators kann vernachlässigt werden. Alle Gleichrichter verwenden normale Si-Dioden.

- (1) Zeichnen Sie den Schaltplan der Gleichrichterschaltung aus dem Gedächtnis. Vorsicht: In welche Richtung müssen die Dioden leiten? (Erst danach mit dem Skriptum vergleichen und bei Bedarf korrigieren!)

Berechnen Sie für diese drei Schaltungen:

- (2) Die Spannung am Ausgang bei sehr geringem Laststrom (d.h., die Brummspannung sei vernachlässigbar klein)
- (3) Die Maximalspannung an der Diode in Sperrrichtung. (Hier kann der „Spannungsverlust“ durch die Kniespannung  $U_K$  unberücksichtigt bleiben; damit sind Sie auch „auf der sicheren Seite“. Hinweis: Relevant sind offenbar die Spannungen zu einem Zeitpunkt, zu dem die Eingangsspannung den positiven oder negativen Scheitelwert erreicht.)
- (4) Die mittlere Verlustleistung in einer Diode bei 500 mA Laststrom (Mittelwert über die Zeit). Hinweis: Nehmen Sie an, dass der Spannungsabfall an der Diode konstant und gleich der Kniespannung ist, solange ein Strom in Durchlassrichtung fließt. (Wenn kein Strom durch die Diode fließt, ist die Spannung an der Diode für die Berechnung der Leistung ja irrelevant.) Der Mittelwert des Stroms durch die Diode lässt sich auch leicht ermitteln.
- (5) Welche Kapazität muss der Glättungskondensator haben, wenn bei einem Laststrom von 500 mA die Brummspannung  $u_{\text{Br,ss}}$  maximal 2 V betragen darf?

*Auch wenn es ein langes Beispiel ist, bitte unbedingt durcharbeiten; hier steckt so ziemlich alles drin, was Sie über die grundlegenden Gleichrichterschaltungen wissen müssen! (für den Test und auch sonst...).*

Beispiel C2

Ein Verbraucher, der einen Strom zwischen 2 und 11 mA aufnimmt, soll mit einer stabilisierten Spannung von 6.8 V versorgt werden.

Der Verbraucher bleibt immer angeschlossen (der Laststrom ist also nie kleiner als 2 mA). Die Eingangsspannung kommt aus einem Gleichrichter; die Scheitelspannung (Maximalwert) ist  $15\text{ V} \pm 10\%$  (wegen Schwankungen der Netzspannung).

Die Brummspannung am Eingang ist  $u_{\text{Br,ss}} = 2\text{ V}$  (wird als konstant angenommen).

Der Minimalwert des Stroms durch die Z-Diode soll 2 mA betragen.

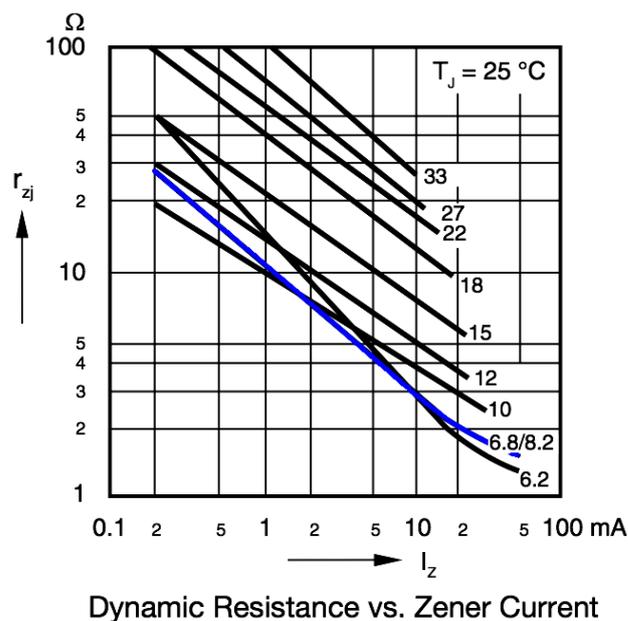
Gesucht:

- (1) Schaltbild der Stabilisierungsschaltung mit Z-Diode  
(Aus dem Gedächtnis zeichnen, erst dann mit dem Skriptum vergleichen!)
- (2) Dimensionierung des Vorwiderstandes. Bitte einen passenden Widerstand der Reihe E12 auswählen (siehe Anhang im Skriptum). Mit diesem Widerstand berechnen Sie bitte:
- (3) maximale Verlustleistung in der Z-Diode,
- (4) maximale Verlustleistung im Vorwiderstand,
- (5) größte Änderung der Ausgangsspannung bei Schwankungen der Eingangsspannung und des Laststroms innerhalb der spezifizierten Grenzen (grobe Näherung,  $r_z$  konstant annehmen, siehe unten),
- (6) Spitze-Spitze Wert der Brummspannung am Ausgang  
( $r_z$  wieder konstant annehmen).

Näherungen sind bei den beiden letzten Punkten erlaubt, Sie brauchen nur  $\approx 10\%$  genau rechnen.

Entnehmen Sie den differentiellen Widerstand der Z-Diode aus der Grafik

(für diese Z-Diode gilt die mit „6.8/8.2“ bezeichnete Kurve). Nehmen Sie dafür einen Strom von 4 mA durch die Z-Diode an.



Beispiel C3

Gegeben sei ein npn-Si-Transistor mit Stromverstärkung  $\beta = 300$  in Emitterschaltung, bei dem der Basisstrom über einen Widerstand  $R_B$  von der Kollektorspannung kommt (siehe Bild).

Die Versorgungsspannung ist  $+15\text{ V}$ ; der Kollektorwiderstand ist  $R_C = 1\text{ k}\Omega$ .

- (a) Berechnen Sie den notwendigen Basisstrom, um den Arbeitspunkt so einzustellen, dass die Spannung am Kollektor in der Mitte zwischen Masse und der positiven Versorgungsspannung liegt.
- (b) Berechnen Sie den dafür benötigten Basiswiderstand  $R_B$ .
- (c) Berechnen Sie die Spannungsverstärkung  $g_u$  der Schaltung für kleine Wechsellspannungen am Eingang. Nehmen Sie dabei an, dass der differentielle Widerstand der Basis-Emitterstrecke durch

$$r_{BE} = U_{th}/I_B \quad \text{mit} \quad U_{th} = k_B T/e = 26\text{ mV}$$

gegeben ist, und dass die Impedanz des Koppelkondensators  $C_1$  vernachlässigbar klein ist.

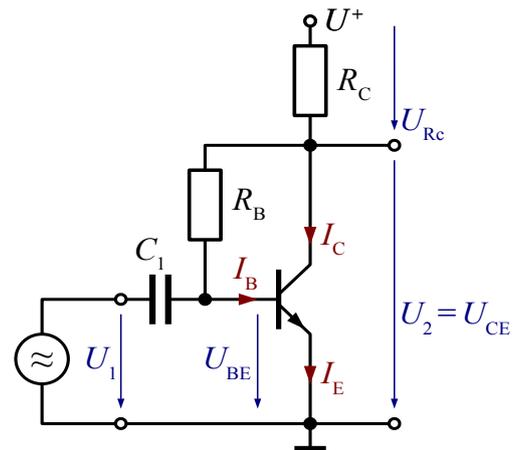
Rechnen Sie zuerst allgemein; Sie werden sehen, dass sich  $g_u$  sehr einfach anschreiben lässt!

- (d) Der Transistor ist aus irgend einem Grund leider defekt. Sie müssen ihn auswechseln und lassen den Rest der Schaltung gleich. Der neue Transistor hat aber nur  $\beta = 120$ . (Die Werte der Stromverstärkung variieren bekanntlich recht stark zwischen Transistor-Exemplaren des selben Typs.)

Berechnen Sie den Arbeitspunkt ( $U_{CE}$ ,  $I_C$ ,  $I_B$ ) für diesen neuen Transistor.

- (e) Berechnen Sie die Spannungsverstärkung  $g_u$  der Schaltung mit dem neuen Transistor. (Sie können daran einen Grund erkennen, warum diese Schaltung in der Praxis kaum verwendet wird, auch wenn sie in manchen Lehrbüchern zu finden ist.)

Sie dürfen überall  $\beta \gg 1$  annehmen, also Terme der Ordnung  $1/\beta$  gegen 1 vernachlässigen.



Beispiel C4

Gegeben sei ein npn-Si-Transistor mit Stromverstärkung  $\beta \geq 50$  in Emitterschaltung zur Verstärkung kleiner Wechselspannungen. Die Stabilisierung des Arbeitspunkts erfolgt mittels Basisspannungsteiler und Emitterwiderstand.

- (a) Zeichnen Sie das Schaltbild aus dem Gedächtnis (erst dann mit dem Skriptum vergleichen).
- (b) Die Versorgungsspannung beträgt +30 V; am Arbeitspunkt des Transistors soll ein Kollektorstrom von  $I_C = 10$  mA fließen. Die Kollektorspannung beim Arbeitspunkt soll 16 V (gegen Masse) sein. Der Strom durch den Basisspannungsteiler („Querstrom“) soll mindestens das 10-fache des Basisstroms  $I_B$  betragen.

Sie wollen bei hohen Frequenzen (bei denen die Impedanz des Koppelkondensators am Eingang vernachlässigbar klein ist) eine Spannungsverstärkung von  $|g_u| = 10$  erreichen. Sie können in diesem Beispiel den differentiellen Widerstand der Basis-Emitterstrecke  $r_{BE}$  vernachlässigen ( $r_{BE}$  ist so klein, dass er auf das Ergebnis praktisch keinen Einfluss hat).

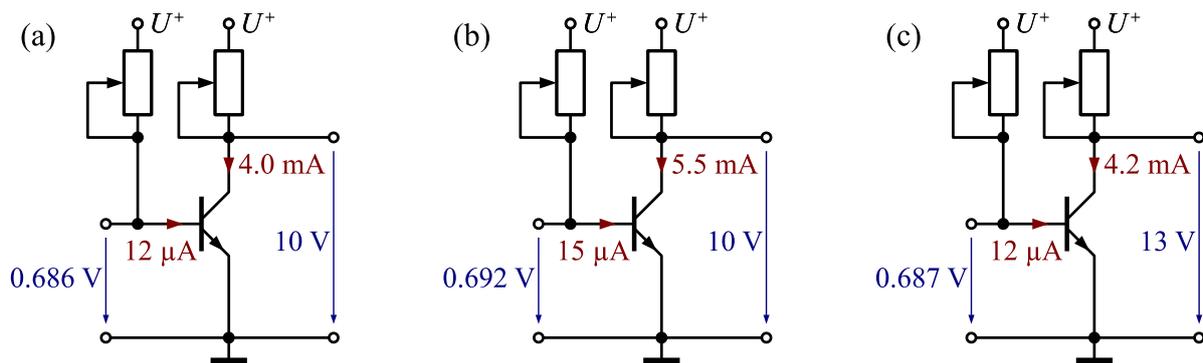
Berechnen Sie die Werte der benötigten Widerstände. (Bei allen Rechnungen zuerst nachdenken und rechnen, danach mit dem Skriptum vergleichen!)

- (c) Wie groß ist der differentielle Eingangswiderstand, den Sie an der Basis messen würden, wenn  $\beta = 50$  ist? (Den Koppelkondensator am Eingang können Sie dabei ignorieren.)

Anleitung: Betrachten Sie eine kleine Spannungsänderung an der Basis, und berechnen Sie die Änderung des Basisstroms (den differentiellen Widerstand der Basis-Emitterdiode können Sie dabei vernachlässigen). Das ergibt einen Widerstand. Parallel dazu können Sie sich den Spannungsteiler für die Basisspannung denken. (Den differentiellen Widerstand = Innenwiderstand des Spannungsteilers kennen Sie ja aus Kapitel A; wenn nicht dann bitte dringend nachlernen!)

- (d) Welche Grundschaltung bildet der Koppelkondensator am Eingang zusammen mit dem Eingangswiderstand? Wie groß ist die Eckfrequenz dieser Schaltung, wenn der Koppelkondensator den Wert  $C_1 = 1$   $\mu$ F hat?

Sie dürfen überall Terme der Ordnung  $1/\beta$  gegen 1 vernachlässigen.

Beispiel C5

Sie messen an einem Bipolar-Transistor die Spannungen und Ströme laut Bild (dazu wurden die Potentiometer entsprechend eingestellt; das braucht Sie aber nicht weiter zu kümmern).

Berechnen Sie daraus die Vierpol-Parameter (die vier  $h$ -Parameter für die Emitterschaltung).

Hinweis: Betrachten Sie Bild (a) als Ausgangszustand. Bilder (b) und (c) zeigen jeweils eine kleine Änderung gegenüber (a), sodass die Änderungen der Spannungen und Ströme noch linear sind.

(Fass Sie das in der Praxis probieren wollen: Der Transistor muss auf einem großen Kühlkörper montiert sein, sodass keine Temperaturänderungen auftreten; die Basis-Emitterspannung bei konstantem Strom ändert sich um ca.  $2 \text{ mV/K}$ , sodass eine Temperaturänderung um  $1 \text{ K}$  bereits deutlich merkbar wäre.)