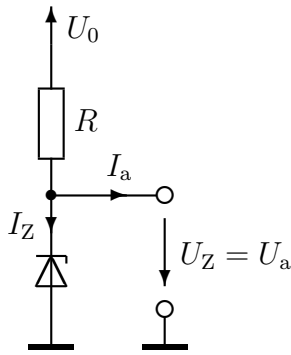


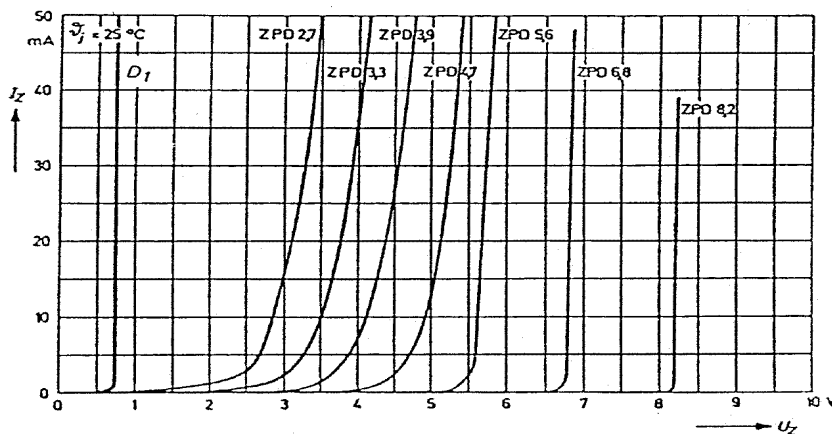
BEISPIEL 1.1: Referenzspannungsquelle mit Zenerdiode



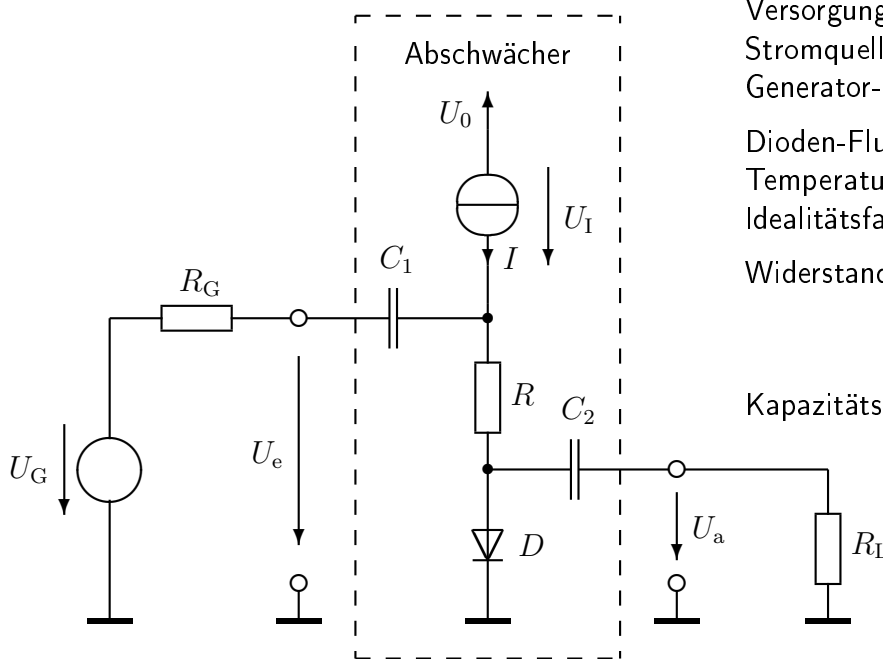
Versorgungsspannung: $U_0 = 12\text{ V}$
 Zenerstrom im Arbeitspunkt: $I_{Z0} = 35\text{ mA}$
 Zenerdiode: ZPD 4,7

Mit dieser Schaltung soll aus einer möglicher Weise zeitlich schwankenden Versorgungsspannung U_0 eine möglichst konstante Ausgangsspannung U_a gewonnen werden. Weiters soll die Schaltung als Spannungsquelle arbeiten, d.h. die Ausgangsspannung soll möglichst unabhängig von der angeschlossenen Last sein. Die Qualität der Schaltung wird durch die *Line Regulation* u_a/u_0 (Verhältnis der Änderung der Ausgangsspannung zur Änderung der Versorgungsspannung) und durch den *Ausgangswiderstand* $r_a = -u_a/i_a$ (=Verhältnis der Änderung der Ausgangsspannung zur Änderung des Ausgangsstroms) charakterisiert.

- (a) Dimensionieren Sie den Widerstand R so, dass bei unbelasteter Spannungsquelle ($I_{a0} = 0$) der gewünschte Strom I_{Z0} durch die Zenerdiode fließt.
- (b) Welchen Strom I_a darf man der Spannungsquelle maximal entnehmen, damit U_a gegenüber dem Leerlauf um weniger als 1% abfällt?
- (c) Berechnen Sie die Line Regulation.



BEISPIEL 1.2: Einstellbarer Abschwächer



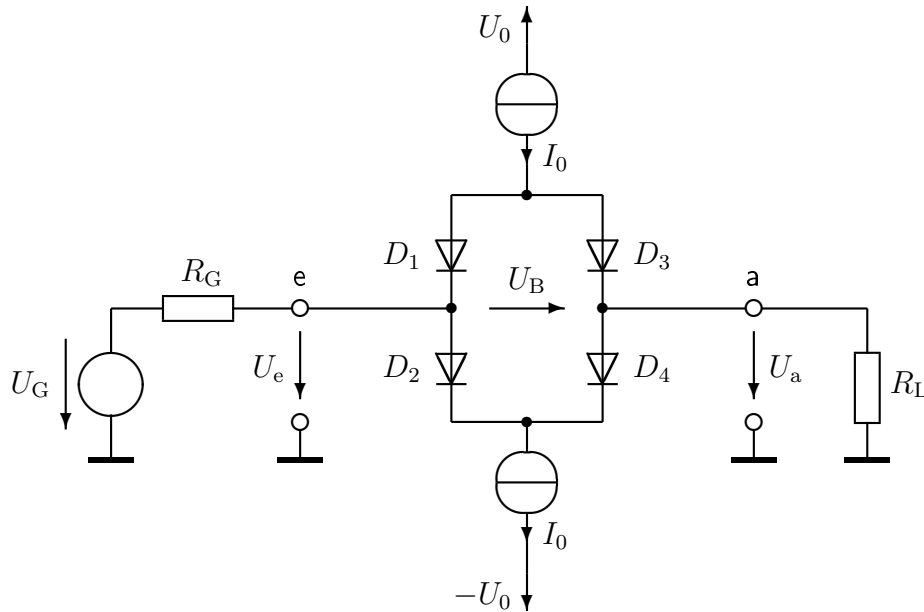
Versorgungsspannung:	$U_0 = 10 \text{ V}$
Stromquellenstrom:	$I = 10 \text{ mA}$
Generator-Ruhespannung:	$U_{G0} = 3 \text{ V}$
Dioden-Flussspannung:	$U_f = 0,7 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Idealitätsfaktor:	$n = 2$
Widerstandswerte:	$R = 220 \text{ } \Omega$
	$R_G = 50 \text{ } \Omega$
	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$
Kapazitätswerte:	$C_1 = 2,2 \text{ } \mu\text{F}$
	$C_2 = 2,2 \text{ } \mu\text{F}$

Die Schaltung erlaubt es, das Verhältnis der Ausgangs- zur Eingangsspannung mit Hilfe der Stromquelle I (elektronisch!) einzustellen. Allerdings funktioniert die Schaltung nur für zeitlich veränderliche Signale ausreichender Frequenz.

- Bestimmen Sie die Eingangs-Ruhespannung U_{e0} und die Ausgangs-Ruhespannung U_{a0} des Abschwächers.
- Der Generator-Ruhespannung U_{G0} sei ein Signal $u_G(t)$ ausreichend hoher Frequenz (nehmen Sie $f \rightarrow \infty$ an) überlagert. Berechnen Sie die Abschwächung des Ausgangs- gegenüber dem Eingangssignal ($v_u = u_a/u_e$).
- In welchem Bereich lässt sich die Abschwächung v_u durch den Stromquellenstrom I einstellen, wenn einerseits die Spannung U_1 an der Stromquelle positiv bleiben soll, andererseits der Ausgangswiderstand nicht über $100 \text{ } \Omega$ ansteigen soll.
- Berechnen Sie die Grenzfrequenz f_g der Abschwächung $v_u = u_a/u_e$ beim Stromquellenstrom I laut Angabe, sodass für $f \gg f_g$ das ideale Verhalten vorliegt.

Hinweis: Betrachten Sie zunächst jeden Kondensator einzeln, indem Sie die Impedanz des anderen 0 setzen, und überlegen Sie welche der sich ergebenden Grenzfrequenzen relevant ist.

BEISPIEL 1.3: Diodenbrücke

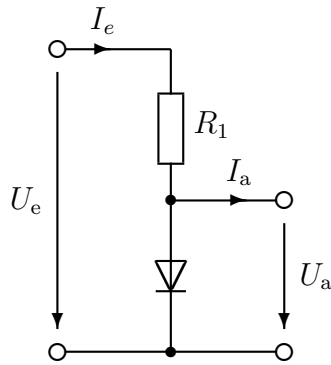


Versorgungsspannung:	$U_0 = 10 \text{ V}$	Dioden-Flussspannung:	$U_f = 0,7 \text{ V}$
Stromquellenstrom:	$I_0 = 5 \text{ mA}$	Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Generator-Ruhespannung:	$U_{G0} = 3 \text{ V}$	Idealitätsfaktor:	$n = 2$
Generator-Innenwiderstand:	$R_G = 1 \text{ k}\Omega$		
Lastwiderstand:	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$		

Die Diodenbrücke lässt sich mit Hilfe der Stromquellen I_0 zwischen einem hochohmigen und einem niederohmigen Zustand hin- und herschalten. Sie kann daher als Schalter verwendet werden.

- Bestimmen Sie die Leerlauf-Ausgangsspannung U_{a0} , d.h. die Ausgangsspannung ohne angeschlossene Last R_L , wenn der Stromquellenstrom I_0 laut Angabe eingestellt ist.
- Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_a bei angeschlossener Last R_L sowie den Spannungsabfall $U_B = U_e - U_a$ an der Diodenbrücke.
Hinweis: Nehmen Sie an, dass sich der Arbeitspunkt der Dioden durch das Anschließen der Last nur wenig verschiebt, sodass Sie die Dioden linearisieren können.
- Der Generator-Leerlaufspannung U_{G0} sei eine kleine, langsam veränderliche Wechselspannung $u_G(t)$ überlagert. Bestimmen Sie die Abschwächung der Ausgangs- gegenüber der Eingangsspannung $v_u = u_a/u_e$.
Hinweis: Vernachlässigen Sie die Verschiebung des Arbeitspunktes der Dioden als Folge der Belastung durch R_L .
- Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_a , wenn die Stromquellen abgeschaltet sind ($I_0 = 0$). Begründung!

BEISPIEL 1.4: Spannungsteiler mit Diode



Eingangsspannung:	$U_e = 1,5 \text{ V}$
Generator-Innenwiderstand:	$R_G = 0$
Widerstandswert:	$R_1 = 1 \Omega$
Dioden-Flussspannung:	$U_f = 0,7 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Idealitätsfaktor:	$n = 2$

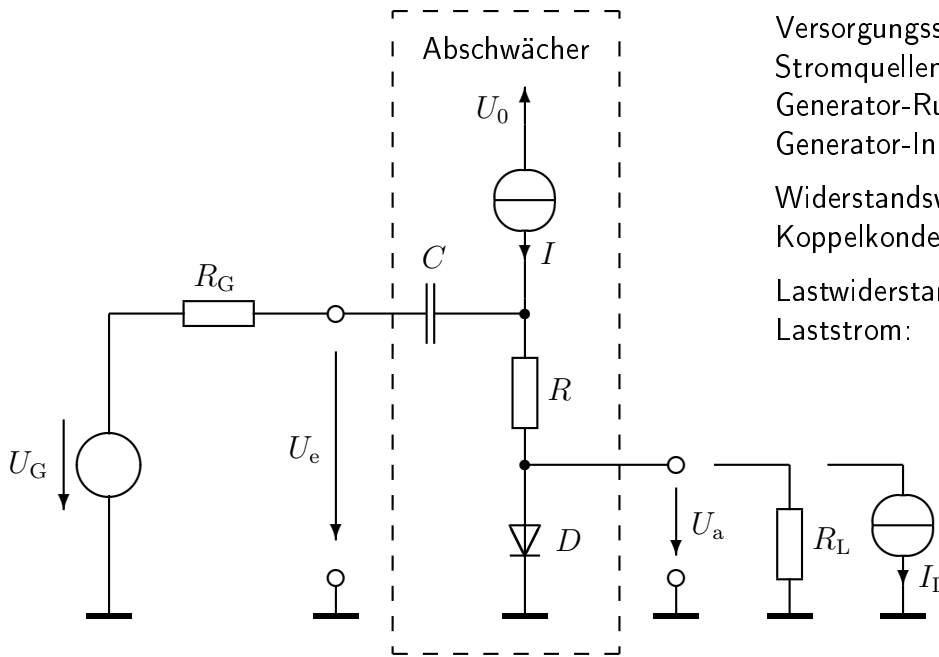
- Um welchen Wert ΔU_a ändert sich die Ausgangsspannung, wenn die Eingangsspannung um $\Delta U_e = 50 \text{ mV}$ erhöht wird?
- Um welchen Wert ΔU_a ändert sich die Ausgangsspannung, wenn an den Ausgang ein Widerstand $R_L = 50 \Omega$ angeschlossen wird?
- Laut Angabe fällt in der vorliegenden Schaltung an der Diode $0,7 \text{ V}$ ab. Wie groß ist der Modellparameter I_s (Sperrstrom) der Diode?¹
- Ermitteln Sie die Ausgangsspannung U_a , wenn an den Ausgang ein Widerstand $R_L = 1 \Omega$ angeschlossen wird.

Hinweis: Sie müssen eine nichtlineare Gleichung lösen. Verwenden Sie hierzu Ihren Taschenrechner, MATLAB oder ein ähnliches Hilfsmittel. Vergleichen Sie mit dem Ergebnis, das Sie unter Verwendung der Kleinsignalanalyse erhalten.²

¹Dies ist keine typische Aufgabenstellung bei der Klausur.

²Bei der Klausur müssen Sie keine nichtlinearen Gleichungen lösen.

BEISPIEL 1.5: Einstellbarer Abschwächer



Versorgungsspannung:	$U_0 = 10 \text{ V}$
Stromquellenstrom:	$I = 10 \text{ mA}$
Generator-Ruhespannung:	$U_{G0} = 3 \text{ V}$
Generator-Innenwiderstand:	$R_G = 50 \text{ } \Omega$
Widerstandswert:	$R = 220 \text{ } \Omega$
Koppelkondensator:	$C = 10 \text{ } \mu\text{F}$
Lastwiderstand:	$R_L = 2 \text{ k}\Omega$
Laststrom:	$I_L = 2 \text{ mA}$

- (a) Berechnen Sie die komplexe Abschwächung des Ausgangssignals gegenüber dem Signalanteil der Generator-Leerlaufspannung $v_{uG} = \underline{u}_a / \underline{u}_G$ für unbelasteten Ausgang. Bestimmen Sie hieraus die Grenzfrequenz f_g , oberhalb der die Abschwächung näherungsweise konstant ist. Wie groß ist dieser konstante Wert?
- (b) Bestimmen Sie den Ausgangswiderstand r_a des Abschwächers für hinreichend rasch ($f \gg f_g$) veränderliche Signale (r_a^-) sowie für langsame bzw. zeitunabhängige Änderungen (r_a^+).
- (c) Bei Belastung des Ausgangs ändert sich die Verstärkung v_{uG} aus Punkt (a) auf v'_{uG} . Berechnen Sie für $f \gg f_g$ mit Hilfe des Ausgangswiderstands aus Punkt (b) die relative Änderung der Verstärkung

$$\frac{\Delta v_{uG}}{v_{uG}} = \frac{v'_{uG} - v_{uG}}{v_{uG}}$$

als Folge der Belastung mit dem Widerstand R_L bzw. der Stromquelle I_L .

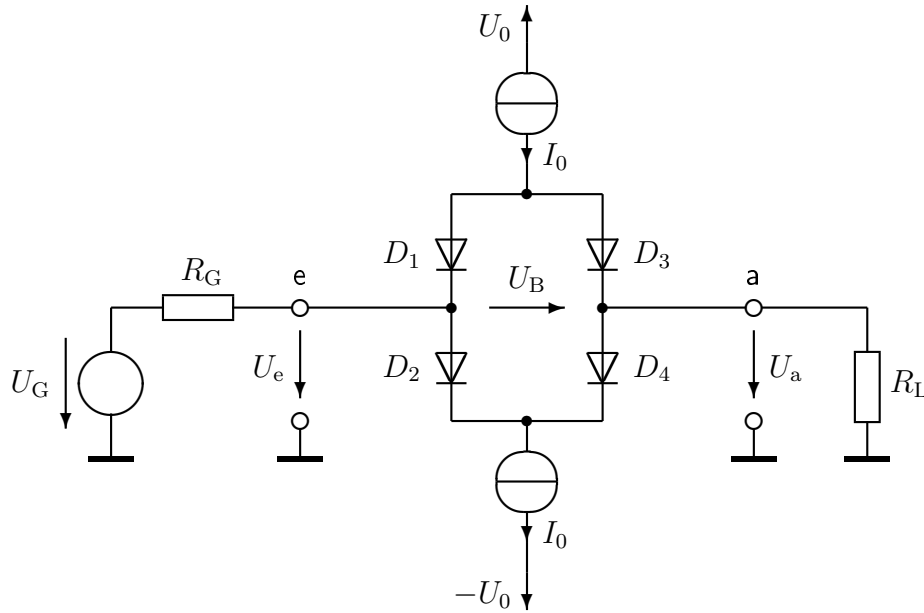
Hinweis: Vernachlässigen Sie die Verschiebung des Arbeitspunkts der Diode D zufolge der Belastung des Ausgangs.

- (d) Um welchen Wert $\Delta U_{a0} = U'_{a0} - U_{a0}$ sinkt die Ausgangs-Ruhespannung U_{a0} zufolge der Belastung des Ausgangs mit dem Widerstand R_L bzw. der Stromquelle I_L .
- (e) Berechnen Sie die Grenzfrequenz f'_g der Abschwächung v_{uG} bei Belastung mit dem Widerstand R_L als Folge der Diffusionskapazität der Diode. Ist dies eine untere oder obere Grenzfrequenz für das ideale Verhalten? Rechnen Sie einmal für eine Signaldiode und einmal für eine Leistungsdiode. Verwenden Sie folgende Werte für die Transitzeiten der Diode:

Signaldiode:	$\tau_T = 10 \text{ ns}$
Leistungsdiode:	$\tau_T = 5 \text{ } \mu\text{s}$

Hinweis: $f'_g \gg f_g$

BEISPIEL 1.6: Frequenzverhalten der Diodenbrücke



Versorgungsspannung:	$U_0 = 10 \text{ V}$	Dioden-Flussspannung:	$U_f = 0,7 \text{ V}$
Stromquellenstrom:	$I_0 = 5 \text{ mA}$	Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Generator-Ruhspeisung:	$U_{G0} = 0 \text{ V}$	Idealitätsfaktor:	$n = 2$
Generator-Innenwiderstand:	$R_G = 1 \text{ k}\Omega$	Transitzeit (Signaldiode):	$\tau_T = 10 \text{ ns}$
Lastwiderstand:	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$	Transitzeit (Leistungsdiode):	$\tau_T = 5 \mu\text{s}$
Sperrschichtkapazitäten bei 0 V Spannung ...		Signaldiode:	$C_{j0} = 4 \text{ pF}$
		Leistungsdiode:	$C_{j0} = 50 \text{ pF}$

- (a) Berechnen Sie die maximale Phasenverschiebung φ_{\max} zwischen Ausgangsspannung u_a und Eingangsspannung u_e als Folge der Diffusionskapazitäten der Dioden bei eingeschalteten Stromquellen. Bei welcher Frequenz f tritt das Maximum auf?

Hinweis: Schreiben Sie $\varphi(\omega)$ allgemein an und ermitteln Sie den Extremwert.

- (b) Zeichnen Sie das Bodediagramm der Abschwächung $v_{uG} = u_a/u_G$ bei abgeschalteten Stromquellen ($I_0 = 0$). Geben Sie die Grenzfrequenz f_g an.

