

Elektronische Schaltungen SS 2020

1. Tutoriumsblatt - Lösung

Kirchhoffsche Gleichungen, Dioden

Hinweise: Die Lösungen sollen einen Weg aufzeigen, wie die Aufgaben gelöst werden können. Es gibt in einigen Fällen auch andere Wege, zur richtigen Lösung zu kommen. Diese Wege können und sollen in den Tutorien angesprochen werden.

– Abgabe –

Aufgabe 1 (Spannungsteiler)

a)

$$U_2 = U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10 \text{ V} \frac{100 \Omega}{20 \Omega + 100 \Omega} = 8,33 \text{ V}$$

b)

$$\begin{aligned} U_2 &= U_0 \cdot \frac{R_2 \parallel R_L}{R_1 + R_2 \parallel R_L} = U_0 \frac{R_2 R_L}{R_1 R_2 + R_1 R_L + R_2 R_L} \\ &= 10 \text{ V} \frac{100 \Omega \cdot 50 \Omega}{20 \Omega \cdot 100 \Omega + 20 \Omega \cdot 50 \Omega + 100 \Omega \cdot 50 \Omega} = 6,25 \text{ V} \end{aligned}$$

c) 1. Berechnung von $Z = R_2 \parallel j\omega L$:

$$Z = \frac{R_2 \cdot j\omega L}{R_2 + j\omega L}$$

DC $\rightarrow f = 0 \rightarrow Z = 0 \Omega$, da die Spule einen Kurzschluss darstellt.

2. Berechnung von $|U_2|$:

$$\begin{aligned} |U_2| &= U_0 \cdot \frac{|Z|}{|R_1 + Z|} \\ &= 0 \text{ V} \end{aligned} \tag{1}$$

d) Die Spannungsquelle u_0 hat einen Gleich- und Wechselspannungsanteil. Da nur nach dem Betrag bzw. der Amplitude von u_2 bei den Frequenzen f_1 , f_2 und f_3 gefragt ist, muss nur der Wechselspannungsanteil, d.h. $u_0 = 2 \text{ V} \sin(\omega t)$ betrachtet werden.

Berechnung von $|Z|$:

$$|Z| = \frac{R_2 \cdot 2\pi f L}{\sqrt{R_2^2 + (2\pi f L)^2}}$$

in Abhängigkeit von den verschiedenen Frequenzen und einsetzen in

$$|u_2| = |u_0| \cdot \frac{|Z|}{|R_1 + Z|}$$

mit $|u_0| = 2 \text{ V}$ ergibt

	$f_1 = 1 \text{ MHz}$	$f_2 = 10 \text{ MHz}$	$f_3 = 100 \text{ MHz}$
$ Z $	$6,3 \Omega$	$53,2 \Omega$	$98,8 \Omega$
$ R_1 + Z $	$21,3 \Omega$	$66,1 \Omega$	$118,6 \Omega$
$ u_2 $	$0,59 \text{ V}$	$1,61 \text{ V}$	$1,66 \text{ V}$

e) Für $f = 0 \text{ Hz}$ kann die Spule mit einer Leitung ersetzt werden, da sie einen Kurzschluss darstellt.

Für $f = 100 \text{ MHz}$ kann die Spule weggelassen werden, da sie annähernd einen Leerlauf darstellt ($Z \approx R_2$).

Aufgabe 2 (Lichtschranke)

a) 1. Arbeitspunktbestimmung der VCSEL Laserdiode:

Die Angabe der optischen Leistung von 2 mW liefert uns die folgenden Informationen. Aus Fig. 1 des Aufgabenblatts kann abgelesen werden, dass ein Strom von ca. 10 mA für 2 mW notwendig ist. Aus dem Strom kann nun aus Fig. 4 des Aufgabenblatts die Spannung abgelesen werden, die über der Laserdiode abfällt, diese beträgt $1,8 \text{ V}$.

2. Aufbau der Schaltung:

Der einfachste Aufbau der Schaltung besteht aus der VCSEL Laserdiode und einem Vorwiderstand, siehe Abbildung 1. Der Vorwiderstand ist notwendig, da die Versorgungsspannung 12 V beträgt und somit die restliche Spannung von $10,2 \text{ V}$ über diesen abfällt.

Der Widerstand kann über die Maschenregel berechnet werden:

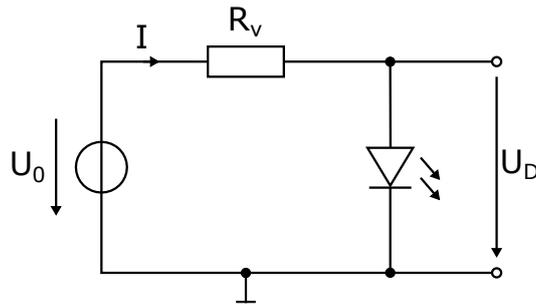


Abbildung 1: Schaltungsaufbau Lichtschranke.

$$U_0 = I \cdot R_v + U_D$$

$$R_v = \frac{U_0 - U_D}{I} = \frac{12 \text{ V} - 1,8 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 1,02 \text{ k}\Omega$$

b) Die Grenze für den ausgeschalteten Modus ist der Schwellstrom, da die Laserdiode erst ab diesem Strom anfängt überhaupt zu leuchten und die Diode nicht unterhalb des Schwellstroms betrieben werden soll. Der Schwellstrom liegt laut Tabelle oder laut Grafik bei $I_{\text{th}} = 3,5 \text{ mA}$.

Die zugehörige Spannung an der Diode ist im ausgeschalteten Zustand laut Fig. 4 des Aufgabenblatts ca. $U_{\text{min}} = 1,5 \text{ V}$. Im Arbeitspunkt liegt die Spannung bei $1,8 \text{ V}$. Daraus ergibt sich eine Spannungsdifferenz von $U_{\text{diff}} = 0,3 \text{ V}$.

Die Amplitude der Rechteckspannung beträgt somit $0,3 \text{ V}$ oder gegebenenfalls $0,6 \text{ V}$, wenn die Peak-to-Peak Spannung betrachtet wird.

Der Maximalwert der optischen Leistung berechnet sich über die maximal angelegte Spannung. Diese liegt auf Grund der Rechtecksymmetrie bei $1,8 \text{ V} + 0,3 \text{ V} = 2,1 \text{ V}$. Aus Fig.4 lässt sich der zugehörige Strom ablesen: $I_{\text{max}} = 25 \text{ mA}$. Daraus ergibt sich eine maximale optische Leistung laut Fig.1 mit Hilfe einer Interpolation der Geraden von ca. $5,8 \text{ mW}$.

– Im Tutorium –

Aufgabe 3 (Dioden)

a) Temperaturspannung:

$$U_T = \frac{k_B \cdot T}{e} = \frac{1,38e - 23 \text{ W s} \cdot (300 \text{ K} - 27 \text{ K})}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ A s}} = 23,5 \text{ mV}$$

b) Großsignalwiderstand:

$$R_D = \frac{U}{I} = \frac{U}{I_S \cdot \left(e^{\frac{U}{U_T}} - 1 \right)}$$

Für $U = U_T$:

$$R_D = \frac{23,5 \text{ mV}}{10 \text{ nA} \cdot (e^1 - 1)} = 1,4 \text{ M}\Omega$$

Für $U = 15 U_T$:

$$R_D = \frac{15 \cdot 23,5 \text{ mV}}{10 \text{ nA} \cdot (e^{15} - 1)} = 10,8 \Omega$$

Differentieller Widerstand:

$$r_D = \frac{\partial U}{\partial I} \quad \text{mit:} \quad \frac{\partial I}{\partial U} = \frac{1}{U_T} \cdot I_S \cdot e^{\frac{U}{U_T}}$$
$$r_D = \frac{U_T}{I_S \cdot e^{\frac{U}{U_T}}}$$

Für $U = U_T$:

$$r_D = \frac{23,5 \text{ mV}}{10 \text{ nA} \cdot e^1} = 864,5 \text{ k}\Omega$$

Für $U = 15 U_T$:

$$r_D = \frac{23,5 \text{ mV}}{10 \text{ nA} \cdot e^{15}} = 0,72 \Omega$$

c) R_D : Der Großsignalwiderstand ist kein realer ohmscher Widerstand. Es ist der Widerstand, den ein realer ohmscher Widerstand haben müsste, um sich bei der angegebenen Spannung so zu verhalten wie die Diode. Im 1. Fall (2.Fall) von Aufgabe b) verhält sich die Diode wie ein sehr großer (kleiner) Widerstand. Dies kann durch einen offenen (geschlossenen) Schalter beschrieben werden.

r_D : Der differenzielle Widerstand ist ebenfalls kein realer ohmscher Widerstand. Er beschreibt die Steigung der Diodenkennlinie im Arbeitspunkt.

d) In Abbildung 2 sind die idealen I-U Kennlinien der verschiedenen Diodenschaltungen zu sehen.

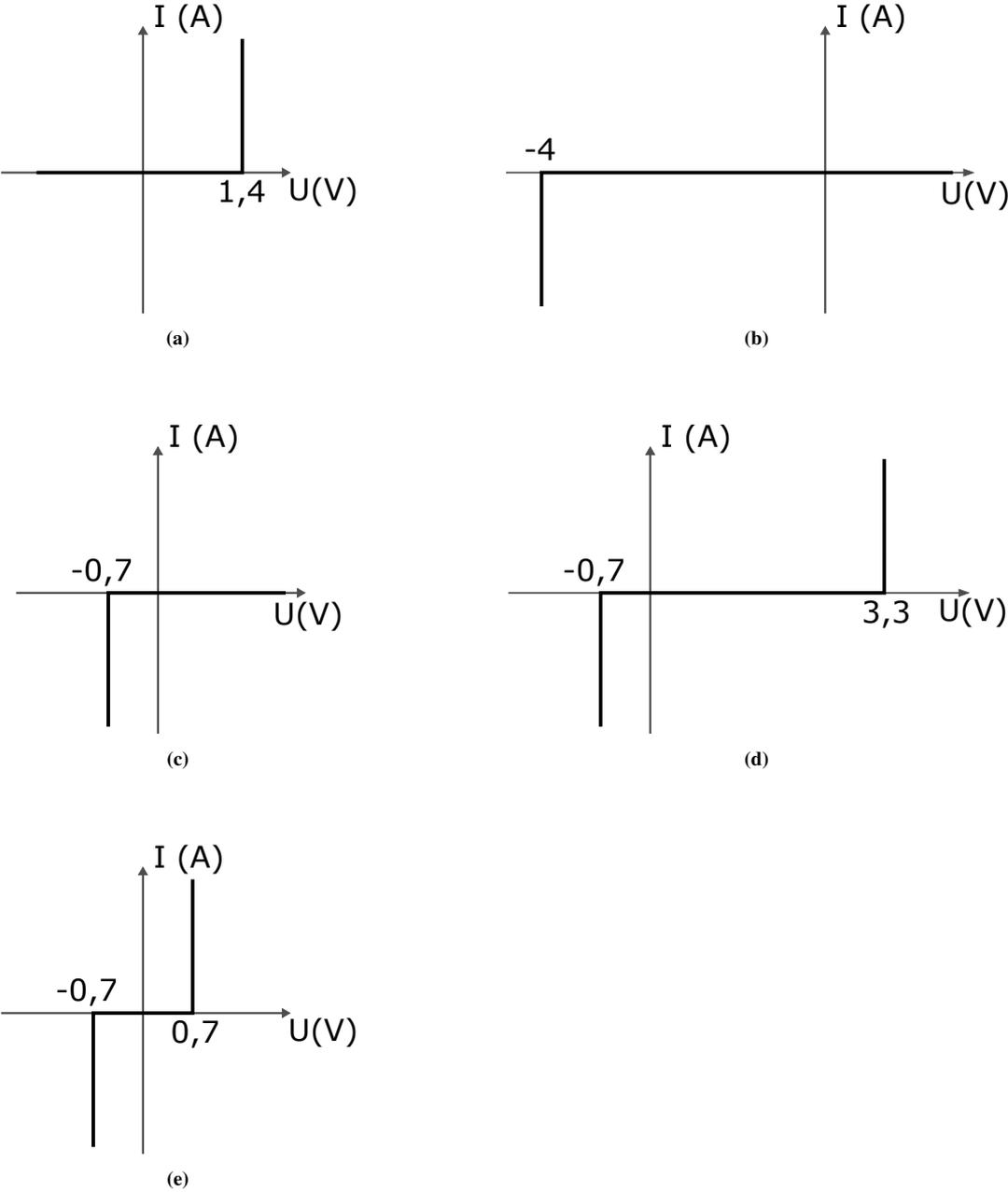


Abbildung 2: Kennlinien der verschiedenen Diodenschaltungen.

Aufgabe 4 (Spannungsstabilisierung)

a) Graphische Bestimmung des Arbeitspunktes:

1. Gleichung für Widerstandsgerade:

$$U_0 = I_Z \cdot R_1 + U_Z$$
$$I_Z(U_Z) = \frac{U_0 - U_Z}{R_1}$$

2. Schnittpunkte mit der x- und y-Achse:

$$I_Z = 0 \text{ A} \rightarrow U_Z = U_0 = 9 \text{ V}$$
$$U_Z = 0 \text{ V} \rightarrow I_Z = \frac{U_0}{R_1} = \frac{9 \text{ V}}{620 \Omega} = 14,5 \text{ mA}$$

$U_Z = 0 \text{ V}$ lässt sich nicht mehr in das Diagramm einzeichnen, deshalb muss die Steigung $-1/R_1 = -1,6 \text{ mA/V}$ berechnet werden.

3. Einzeichnen der Lastgerade.

Der Schnittpunkt der Lastgerade mit der Diodenkennlinie ergibt einen Arbeitspunkt von ungefähr $U = 6,2 \text{ V}$ und $I = 4,3 \text{ mA}$, siehe hierfür die blaue Kennlinie der Abbildung 3.

b) Um die Restwelligkeit der Spannung zu bestimmen, müssen die beiden Lastgeraden für die minimale und maximale Eingangsspannung berechnet werden.

1. Eintragen der beiden Lastgeraden:

Minimale Eingangsspannung: $u_{0,\min} = 9 \text{ V} + 2 \text{ V} \cdot (-1) = 7 \text{ V}$

→ für Lastgerade: $I_Z = 0 \text{ V} : U = 7 \text{ V}$.

Maximale Eingangsspannung: $u_{0,\max} = 9 \text{ V} + 2 \text{ V} \cdot 1 = 11 \text{ V}$

→ für Lastgerade: $I_Z = 0 \text{ V} : U = 11 \text{ V}$.

Da die Steigung gleich bleibt, verschiebt sich die Lastgerade um 2 V in positive (rote Lastgerade in Abbildung 3) und negative (grüne Lastgerade in Abbildung 3) x-Richtung.

2. Ablesen der Restwelligkeit:

Es ergibt sich ein $\Delta U = 6,4 \text{ V} - 5,9 \text{ V} = 500 \text{ mV}$, d.h. aus einer Spannungsänderung von 4 V wird am Ausgang der Z-Diode eine Spannungsänderung von etwa 500 mV. Dies entspricht einer

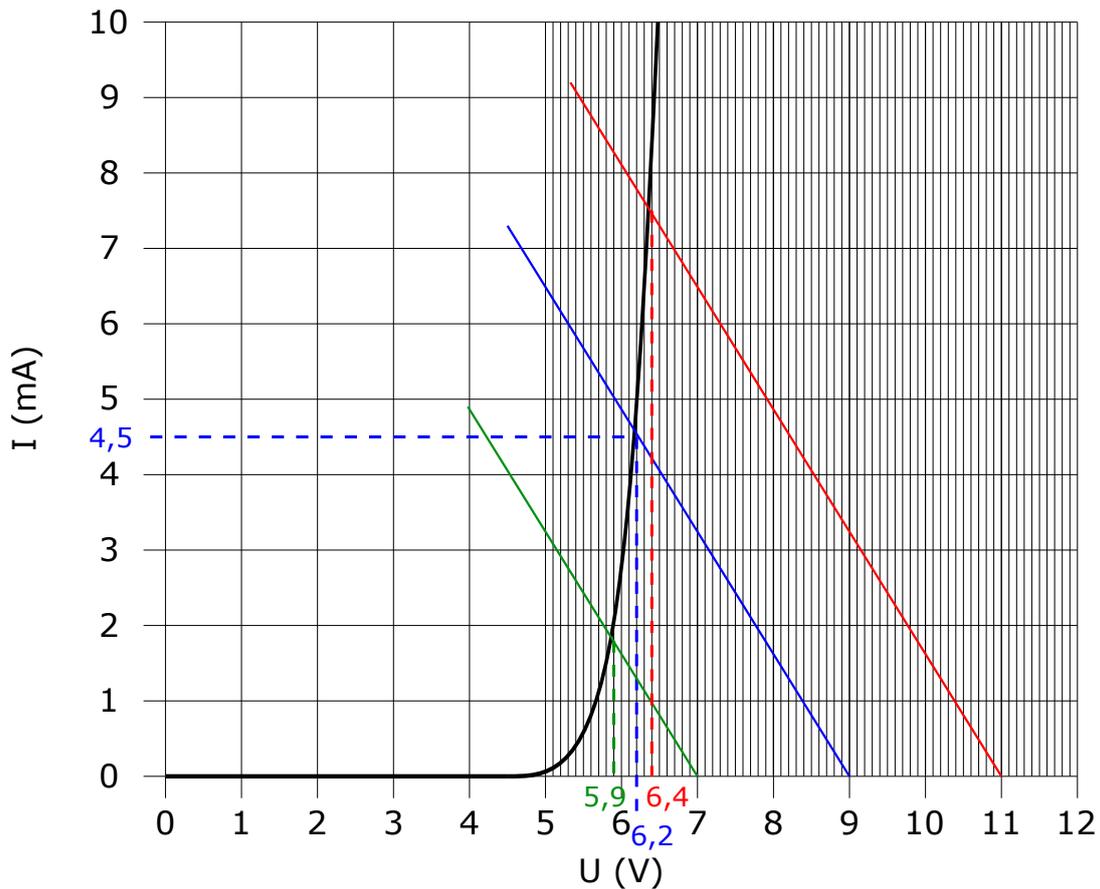


Abbildung 3: Diodenkennlinie mit Lastgeraden, grüne Lastgerade für $u_{\min} = 7\text{ V}$, blaue Lastgerade für $u_0 = 9\text{ V}$, rote Lastgerade für $u_{\max} = 11\text{ V}$.

Reduzierung der Welligkeit um den Faktor 8.

c) Damit ΔU infinitesimal klein wird, müsste die Kennlinie einer Z-Diode unendlich steil sein.

Aufgabe 5 (Leuchtdioden)

Aus dem Kennlinienfeld der Diode kann abgelesen werden:

Bei $I = 20\text{ mA}$ beträgt die Spannung über der LED $U = 3,5\text{ V}$. Prinzipiell können die LEDs parallel oder seriell angeordnet werden. Da das Steckernetzteil eine Spannung von 12 V liefert und über jede LED eine Spannung von $3,5\text{ V}$ abfällt, muss die restliche Spannung über einen oder mehrere Widerstände abfallen. Die Gesamtleistung berechnet sich zu $P = U \cdot I$. Da sich bei einer Parallelschaltung die Ströme addieren, wird die Gesamtleistung bei dieser höher sein. Bei einer Serienschaltung bleibt der Strom gleich, sodass die Gesamtleistung niedriger ist.

Es ergeben sich die folgenden konkreten Schaltungsmöglichkeiten.

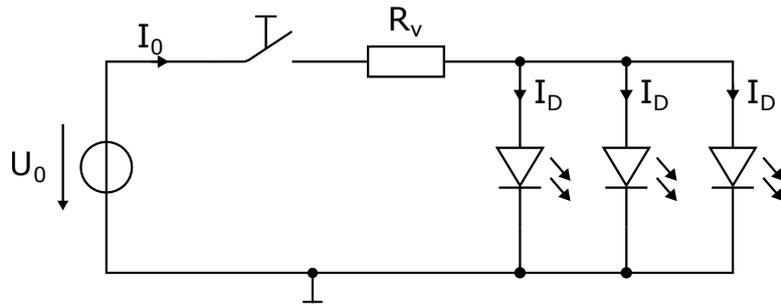


Abbildung 4: Realisierungsmöglichkeit 1 der Schaltung.

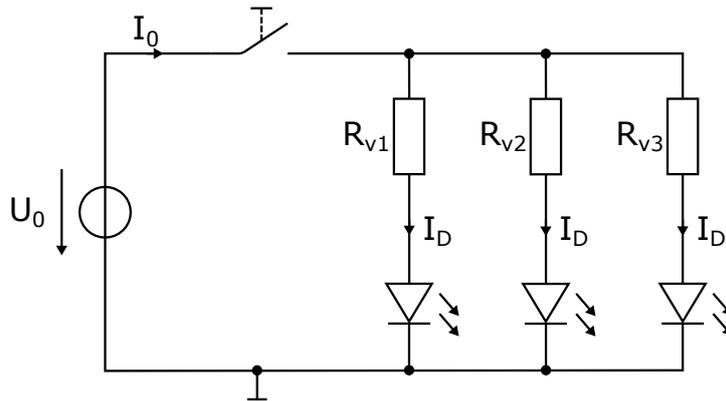


Abbildung 5: Realisierungsmöglichkeit 2 der Schaltung.

1. Möglichkeit: Parallelschaltung der Dioden mit einem Vorwiderstand

Der Gesamtstrom berechnet sich zu

$$I_0 = 3 \cdot I_D = 3 \cdot 20 \text{ mA} = 60 \text{ mA}.$$

Der benötigte Widerstandswert berechnet sich zu

$$U_0 = I_0 \cdot R_v + U_D$$

$$R_v = \frac{U_0 - U_D}{I_0} = \frac{8,5 \text{ V}}{60 \text{ mA}} = 142 \Omega.$$

Die Leistungsaufnahme der gesamten Schaltung ergibt

$$P_{\text{ges}} = U_0 \cdot I_0 = 12 \text{ V} \cdot 60 \text{ mA} = 0,72 \text{ W}.$$

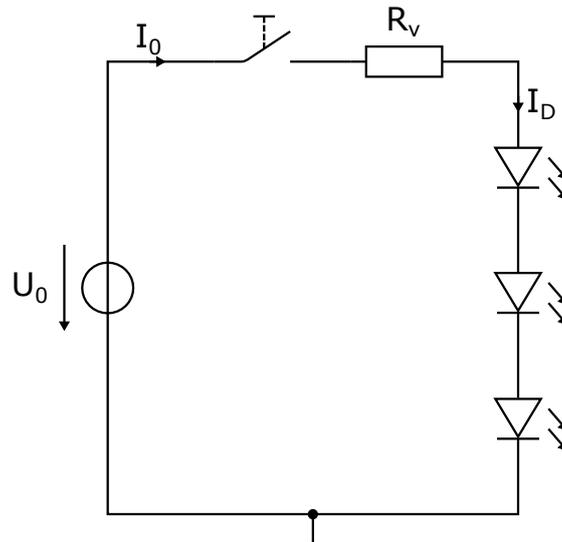


Abbildung 6: Realisierungsmöglichkeit 3 der Schaltung.

2. Möglichkeit: Parallelschaltung der Dioden mit drei Vorwiderständen

Der Gesamtstrom berechnet sich zu

$$I_0 = 3 \cdot I_D = 3 \cdot 20 \text{ mA} = 60 \text{ mA}.$$

Der Wert der drei gleich großen Widerstände berechnet sich zu

$$U_0 = I_0 \cdot R_v + U_D$$

$$R_v = \frac{U_0 - U_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}} = \frac{8,5 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 425 \Omega.$$

Die Leistungsaufnahme der gesamten Schaltung ergibt

$$P_{\text{ges}} = U_0 \cdot I_0 = 12 \text{ V} \cdot 60 \text{ mA} = 0,72 \text{ W}.$$

Der Vorteil dieser Parallelschaltung zur Vorherigen ist die geringere Belastung der Widerstände, da ein geringerer Strom durch die einzelnen Widerstände fließt.

3. Möglichkeit: Reihenschaltung der Dioden

Der Gesamtstrom berechnet sich zu

$$I_0 = I_D = 20 \text{ mA}.$$

Der Wert des Widerstandes berechnet sich zu

$$U_0 = I_0 \cdot R_v + 3 \cdot U_D$$
$$R_v = \frac{U_0 - 3 \cdot U_D}{I_0} = \frac{1,5 \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 75 \Omega.$$

Die Leistungsaufnahme der gesamten Schaltung ergibt

$$P_{\text{ges}} = U_0 \cdot I_0 = 12 \text{ V} \cdot 20 \text{ mA} = 0,24 \text{ W}.$$

Diese Schaltungstopologie weist die geringste Leistungsaufnahme auf und ist somit für die gefragte Anwendung die beste Realisierung. Der Widerstandswert von 75Ω ist Teil der E24-Reihe und kann somit direkt verwendet werden.