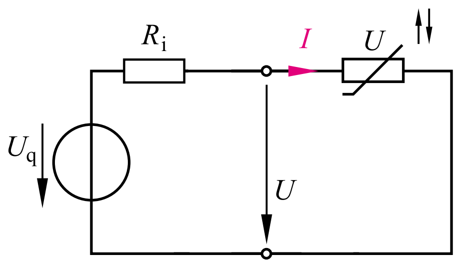
Nerreter, Grundlagen der Elektrotechnik
Carl Hanser Verlag München

11 Bauelemente

Aufgabe 11.10
Der aus metallisierten Polypropylenfolien bestehende Wickel eines MK-Kondensators der Kapazität 1,5 µF hat das Volumen 4,9 cm³. Die Dicke der Metallschicht wird zu 0,1 µm angenommen. Berechnen Sie die Fläche und die Dicke einer Folie.
Die Durchschlagfeldstärke von Polypropylen beträgt 50 kV/mm. An welcher maximalen Spannung darf der Kondensator betrieben werden?

Aufgabe 11.11
Die Solarzelle mit der im Bild 11.30 dargestellten I_R-U_F-Kennlinie wird mit einem Verbraucher $R = 4\ \Omega$ belastet. Welcher Arbeitspunkt stellt sich ein und welche Leistung erhält der Verbraucher?

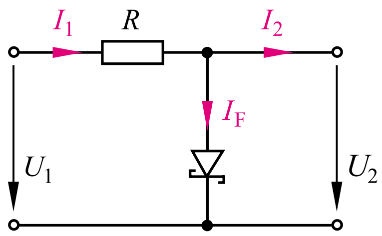
Aufgabe 11.12
Der Varistor mit der im Bild 11.14 dargestellten *I*-*U*-Kennlinie wird an einer linearen Quelle mit der Quellenspannung $U_{q1} = 120$ V bzw. $U_{q2} = 800$ V und dem Innenwiderstand $R_i = 1\ \text{k}\Omega$ betrieben. Welche Leistung nimmt der Varistor jeweils auf?



Aufgabe 11.13
Ein Potenziometer mit $R_A = 400\ \Omega$ und $R_C = 600\ \Omega$ wird mit dem Widerstand $R_L = 500\ \Omega$ belastet (Bild 11.10). Welche Spannung U_1 muss an das Potenziometer gelegt werden, damit sich die Verbraucherspannung $U_L = 3$ V einstellt?

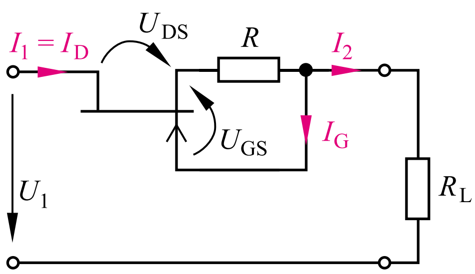
Aufgabe 11.14
Ein frei in Luft verlegter Kupferdraht mit dem Querschnitt 1 mm² wird von einem konstanten Gleichstrom 12 A durchflossen. Die Umgebungstemperatur ist $T_U = 20$ °C und der Konvektionskoeffizient wird zu $\alpha_K = 15\ \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angenommen.
1) Welchen Wärmewiderstand R_{th} hat ein Drahtstück der Länge 1 m?
2) Welche Temperatur nimmt der Draht im stationären Zustand an?
3) Welchen Widerstand hat der Draht im stationären Zustand?
4) Welche Verlustleistung entsteht im stationären Zustand?

Aufgabe 11.15
Eine SCHOTTKY-Diode mit der im Bild 11.32 dargestellten I_F-U_F-Kennlinie wird mit einem Widerstand $R = 50\ \Omega$ in der Schaltung zur Spannungsbegrenzung betrieben. Dabei wird Leerlauf am Tor 2 angenommen, d.h. es ist $I_2 = 0$.



Welche Spannung $U_{2\min}$ entsteht an $U_{1\min} = 1$ V und welche Spannung $U_{2\max}$ entsteht an $U_{1\max} = 2{,}1$ V?

Aufgabe 11.16
Der JFET dient zur Stromstabilisierung.



Lässt man in grober Näherung die Steigung der Kennlinien im Ausgangskennlinienfeld unberücksichtigt, so kann man für den Abschnürbereich ansetzen:

$$I_D = \beta\,(U_{GS} - U_p)^2$$

Der Faktor β (griech Buchstabe beta) wird als **Transkonduktanz-Koeffizient** bezeichnet.

1) Lesen Sie in der Übertragungskennlinie (Bild 11.35) die Werte für $U_{GS} = 0$ sowie $I_D = 0$ ab und bestimmen Sie damit die Abschnürspannung U_p sowie den Faktor β.

Da der Gatestrom in der Praxis unberücksichtigt bleiben kann, lässt sich der FET im Abschnürbereich für einen bestimmten Wert U_{GS} durch ein lineares Modell beschreiben, das im Näherungsfall aus einer spannungsgesteuerten Stromquelle besteht, die den Strom I_D liefert.

2) Dimensionieren Sie den Widerstand R für den Strom $I_2 = 5$ mA sowie für Kurzschluss am Ausgang ($R_L = 0$).
Gegeben: $I_G = 0$; $U_1 = 15$ V.

Aufgabe 11.17
Mit der im Bild 11.38 dargestellten Schaltung sollen am Bipolartransistor 2N2222 (Bild 11.39) die Arbeitspunkte mit zwei linearen Gleichspannungsquellen eingestellt werden.

Die Spannung $U_{q1} = 2{,}25$ V ist voreingestellt.
Welchen Wert muss der Widerstand R_{i1} erhalten, damit der Basisstrom 200 µA fließt?

Welche Werte haben der Kollektorstrom I_C und die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE}, wenn die lineare Quelle am Tor 2 die Quellenspannung $U_{q2} = 18$ V beim Innenwiderstand $R_{i2} = 200\ \Omega$ aufweist?
Welchen Zahlenwert hat der Quotient der Gleichströme I_C/I_B?

Lösung 11.10
Die Permittivitätszahl $\varepsilon_r = 2{,}3$ von Polypropylen entnehmen wir der Tab. 3.1. Mit der Gl. (11.16) und der Gleichung $V = 2\,A\,(l + 0{,}1\ \mu\text{m})$ ergibt sich die quadratische Gleichung:

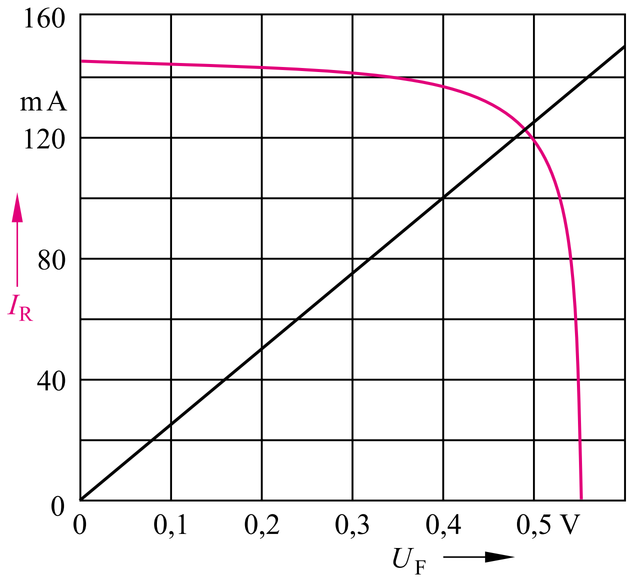
$$4\,\varepsilon_0\,\varepsilon_r\,A^2 + 2\,C \cdot 0{,}1\ \mu\text{m} \cdot A - C\,V = 0$$

Ihre positive Lösung ist $A = 0{,}3\ \text{m}^2$; die negative Lösung ist unbrauchbar.

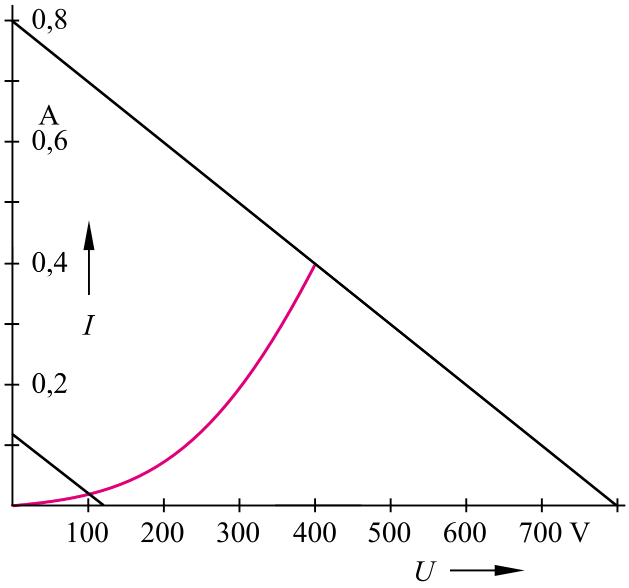
Mit der Dicke $l = 8{,}1$ µm einer Folie ergibt sich die maximale Spannung:

$$U_{max} = 405\ \text{V}$$

Lösung 11.11
Die Widerstandsgerade ist mit schwarzer Farbe eingetragen. Im Arbeitspunkt 0,49 V; 122,5 mA erhält der Verbraucher die Leistung 60 mW.



Lösung 11.12
Zunächst tragen wir die *I*-*U*-Kennlinien der beiden Quellen gespiegelt in das Bild 11.14 ein (s. Abschn. 2.1.1).



Bei U_{q1} = 120 V fließt der Strom 20 mA und am Varistor liegt die Spannung 100 V; im Varistor wird die Leistung 2 W umgesetzt.

Bei U_{q1} = 800 V fließt der Strom 0,4 A und am Varistor liegt die Spannung 400 V; im Varistor wird die Leistung 160 W umgesetzt.

Lösung 11.13
An der Parallelschaltung $R_P = 272{,}7\ \Omega$ von R_C und R_L liegt die Spannung 3 V und es fließt der Strom I_1 = 11 mA, der an $R_A = 400\ \Omega$ den Spannungsabfall 4,4 V entstehen lässt. An das Potentiometer muss also die Spannung U_1 = 7,4 V gelegt werden.

Lösung 11.14
1) Mit dem Durchmesser d = 1,128 mm berechnen wir die Oberfläche $A_D = \pi\ d\ l = 3{,}545 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m}^2$ des Drahtes, die wir mit dem gegebenen Konvektionskoeffizienten in die Gl. (11.5) einsetzen. Der Kehrwert des Produktes ergibt den thermischen Widerstand:

$$R_{th} = \frac{1}{\alpha_K A_D} = 18{,}8\ \frac{\mathrm{K}}{\mathrm{W}}$$

2) Im stationären Zustand nimmt der Draht die Temperatur ϑ_E an und hat dabei gemäß Gl. (1.35) den Widerstand:

$$R_E = R_{20}\,[1 + \alpha_{20}(\vartheta_E - 20\,°\mathrm{C}) + \beta_{20}(\vartheta_E - 20\,°\mathrm{C})^2]$$

Den Widerstand R_{20} berechnen wir mit der Gl. (1.33):

$$R_{20} = \frac{1\ \mathrm{m}}{56\ \frac{\mathrm{S\ m}}{\mathrm{mm}^2} \cdot 1{,}0\ \mathrm{mm}^2} = 17{,}857\ \mathrm{m}\Omega$$

Die abgeführte Wärmeleistung ist gemäß Gl. (11.3) der Temperaturdifferenz $\vartheta_E - 20\,°\mathrm{C}$ proportional:

$$P_W = \frac{\vartheta_E - 20\ °\mathrm{C}}{R_{th}}$$

Diese Wärmeleistung setzen wir mit der Verlustleistung nach Gl. (1.27) in die Gl. (11.2) ein:

$$P_V = I^2\,R_E = P_W$$

Mit der Abkürzung

$$x = \vartheta_E - 20\,°\mathrm{C}$$

erhalten wir die quadratische Gleichung:

$$1 + \alpha_{20}\,x + \beta_{20}\,x^2 = \frac{x}{I^2 R_{20}\,R_{th}}$$

Die Lösung berechnen wir mit dem Programm M2 und erhalten $x_1 = 2{,}788 \cdot 10^4$ K; x_2 = 59,774 K. Die erste Lösung ist unbrauchbar, weil bei der zugehörigen Temperatur der Kupferdraht nicht mehr in fester Form vorliegt. Die zweite Lösung ergibt:

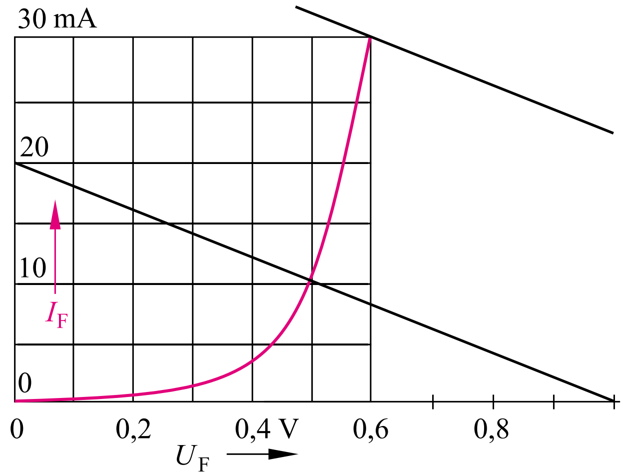
$$\vartheta_E = 79{,}77\,°\mathrm{C}$$

3) $R_E = 22{,}08\ \mathrm{m}\Omega$

4) $P_V = 3{,}18$ W

Lösung 11.15

Die Arbeitsgerade für $U_{1\mathrm{min}}$ = 1 V beginnt auf der Stromachse bei I_F = 20 mA. Die Spannung an der Diode ist $U_\mathrm{F} = U_{2\mathrm{min}} \approx 0{,}5$ V.



Die Arbeitsgerade für $U_{1\mathrm{max}}$ = 2,1 V beginnt auf der Stromachse bei I_F = 42 mA. Die Spannung an der Diode ist $U_\mathrm{F} = U_{2\mathrm{max}} = 0{,}6$ V.

Lösung 11.16

1) Für $I_\mathrm{D} = 0$ lesen wir $U_\mathrm{p} = U_\mathrm{GS} = -3{,}2$ V ab. Für $U_\mathrm{GS} = 0$ lesen wir $I_\mathrm{D} = 9{,}6$ A ab und berechnen damit den Faktor $\beta = 0{,}938$ mA/V^2.

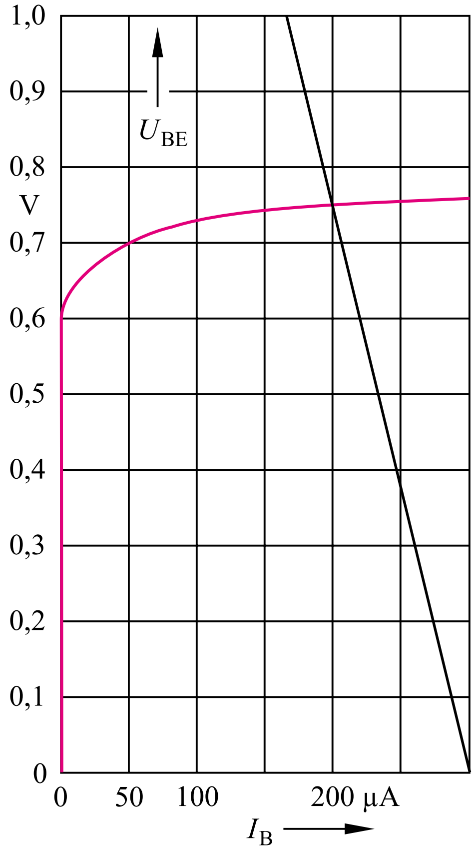
2) Wir setzen I_D = 5 mA sowie U_p und β in die Gleichung für den Strom I_D ein und berechnen:

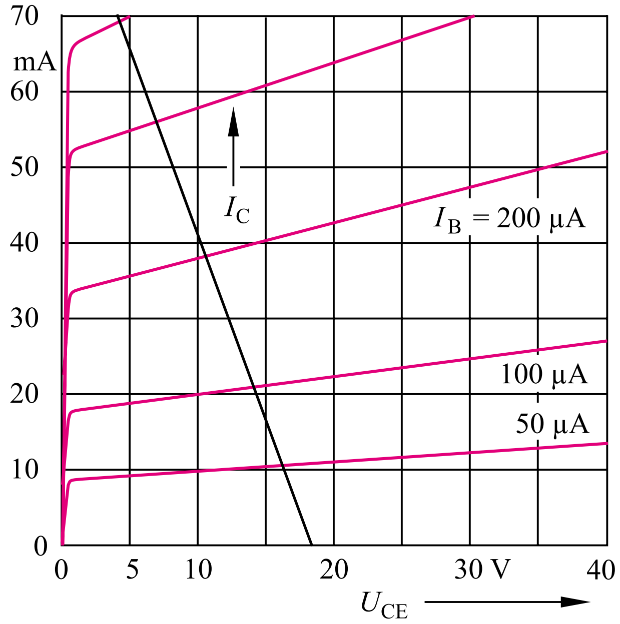
$U_\mathrm{GS} = -0{,}891$ V; $R = -U_\mathrm{GS}/I_\mathrm{D} = 178{,}2\ \Omega$

Lösung 11.17

Die Gerade, die den U_q1 = 2,25 V und die Kurve $U_\mathrm{BE} = f(I_\mathrm{B})$ beim Stromwert 200 µA verbindet, schneidet die I_B-Achse bei 300 µA. Der gesuchte Widerstand muss den Wert R_i1 = (2,25 V) / (300 µA) = 7,5 kΩ erhalten.

Die Gerade, welche die Achsenabschnitte U_q2 = 18 V und (18 V) / (200 Ω) = 90 mA verbindet, schneidet die Kurve $I_\mathrm{C} = f(U_\mathrm{CE})$ im Ausgangskennlinienfeld beim Punkt U_CE = 10,5 V; I_C = 38 mA.





Aufgabe 11.18

Ein Verbraucher mit dem Widerstand R_L = 780 Ω soll mithilfe eines Potenziometers so an einer idealen Spannungsquelle U_q = U_1 = 6 V betrieben werden, dass die Verbraucherspannung U_2 zwischen 0 und 6 V eingestellt werden kann. Zur Auswahl stehen Potenziometer mit den Widerstandswerten 100; 200; 500; 1000; 2000 Ω und den Nennleistungen 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 2,0 W. Welches Potenziometer sollte zweckmäßig gewählt werden?

Aufgabe 11.19

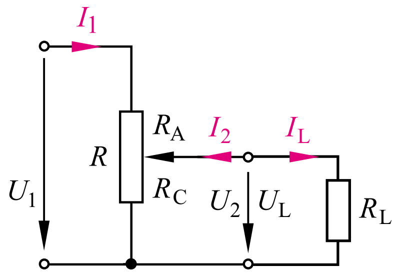
Ein Potenziometer mit dem Widerstand $R = R_A + R_C$ = 1 kΩ wird an U_1 = 10 V betrieben und mit dem Widerstand R_L = 400 Ω belastet (Bild 11.10). Auf welchen Wert muss der Widerstand R_C eingestellt werden, damit sich die Verbraucherspannung U_L = U_2 = 2,8 V einstellt?

Lösung 11.18

Entsprechend Gl. (11.15) ergibt sich die minimale Bemessungsleistung für R = 780 Ω, aber ein solcher Widerstandswert des Potenziometers steht nicht zur Verfügung. Wir wählen den nächsthöheren Wert R = 1000 Ω und berechnen mit der Gl. (11.13) die erforderliche Leistung P_{erf} = 0,1875 W. Deshalb wählen wir P_N = 0,2 W und erhalten dafür den maximalen Strom I_{1max} = 13,7 mA.
Man könnte nun meinen, dass ein Widerstandswert R = 2000 Ω des Potenziometers günstiger sein müsste, weil dabei nur der maximale Strom I_{1max} = 10,69 mA fließen würde; mit der Gl. (11.13) ergibt sich aber hierfür die erforderliche Leistung 0,229 W, also ist dieser Widerstandswert ungünstiger.
Entsprechendes gilt auch für einen Widerstandswert R = 500 Ω des Potenziometers, bei dem die Leistung 0,194 W erforderlich ist; allerdings wäre hierbei auch die Nennleistung P_N = 0,2 W ausreichend.

Lösung 11.19

Der Strom I_1 fließt durch den Widerstand R_A und durch die Parallelschaltung der Widerstände R_C und R_L. Wir setzen an:



$$I_1 = \frac{U_1 - U_2}{R_A} = \frac{U_2}{R_C} + \frac{U_2}{R_L} = \frac{(R_L + R_C)\,U_2}{R_L\,R_C}$$

Wir setzen $R_A = R - R_C$ ein, multiplizieren aus und erhalten mit der Abkürzung

$$\alpha = \frac{U_1 - U_2}{U_2} = 2{,}57143$$

die quadratische Gleichung:

$$R_C^2 + (R_L + \alpha\,R_L - R)R_C - R\,R_L = 0$$

Nach dem Einsetzen der Werte R = 1 kΩ und R_L = 400 Ω berechnen wir die positive Lösung:

$$R_{C1} = 453{,}486\ \Omega$$

Die negative Lösung $R_{C2} < 0$ ist unbrauchbar.