

Abt. Technische Informatik
Dr. Hans-Joachim Lieske

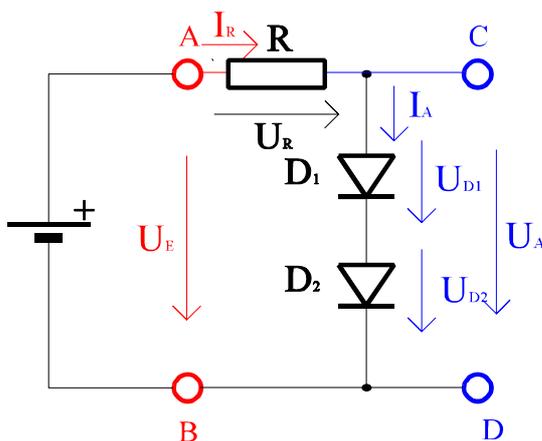
Aufgaben zum Seminar Technische Informatik

Aufgabe 2.3.1. - Reihenschaltung von Halbleiterdioden

In integrierten Halbleiterschaltkreisen werden zur Stabilisierung kleiner Spannungen oft Reihenschaltungen von Dioden verwendet.

Für einfache Betrachtungen können Diodenkennlinien als Einheit von zwei Geraden approximiert werden.

Gegeben ist folgende Schaltung:



Werte:
 $D_1 = \text{Diode 1}$ $U_E = 3\text{V}$ $R_1 = 50\ \Omega$
 $D_2 = \text{Diode 2}$
 und die Kennlinien der Dioden

Abb. 1

Aufgabe:

Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_A , den Strom durch die Dioden I_A sowie die Teilspannungen U_{D1} und U_{D2} über die Dioden.

1. Bestimmen Sie die mathematische Funktion der Kennlinien $I_{D1}=f(U_{D1})$ für Diode1 und $I_{D2}=f(U_{D2})$ für beide Intervalle.
2. Konstruieren Sie die Ersatzkennlinie für die Reihenschaltung von Diode1 und Diode 2.
3. Bestimmen Sie die mathematische Funktion der Ersatzkennlinie $I_{\text{Ders}}=f(U_{\text{Ders}})$ der Reihenschaltung von Diode1 und Diode 2.
4. Bestimmen Sie mithilfe der Ersatzkennlinie die Ausgangsspannung U_A und den Strom I_A für die Reihenschaltung der Dioden sowie die Spannung U_R und den Strom I_R über den Widerstand.
5. Bestimmen Sie aus den Einzelkennlinien die Teilspannungen U_{D1} und U_{D2} über die Dioden D_1 und D_2 .

Stellen sie die Ergebnisse in einer Tabelle dar.

Für die Intervalle sind explizite Werte anzugeben. Angaben wie "sonst" oder "Rest" sind nicht zulässig!

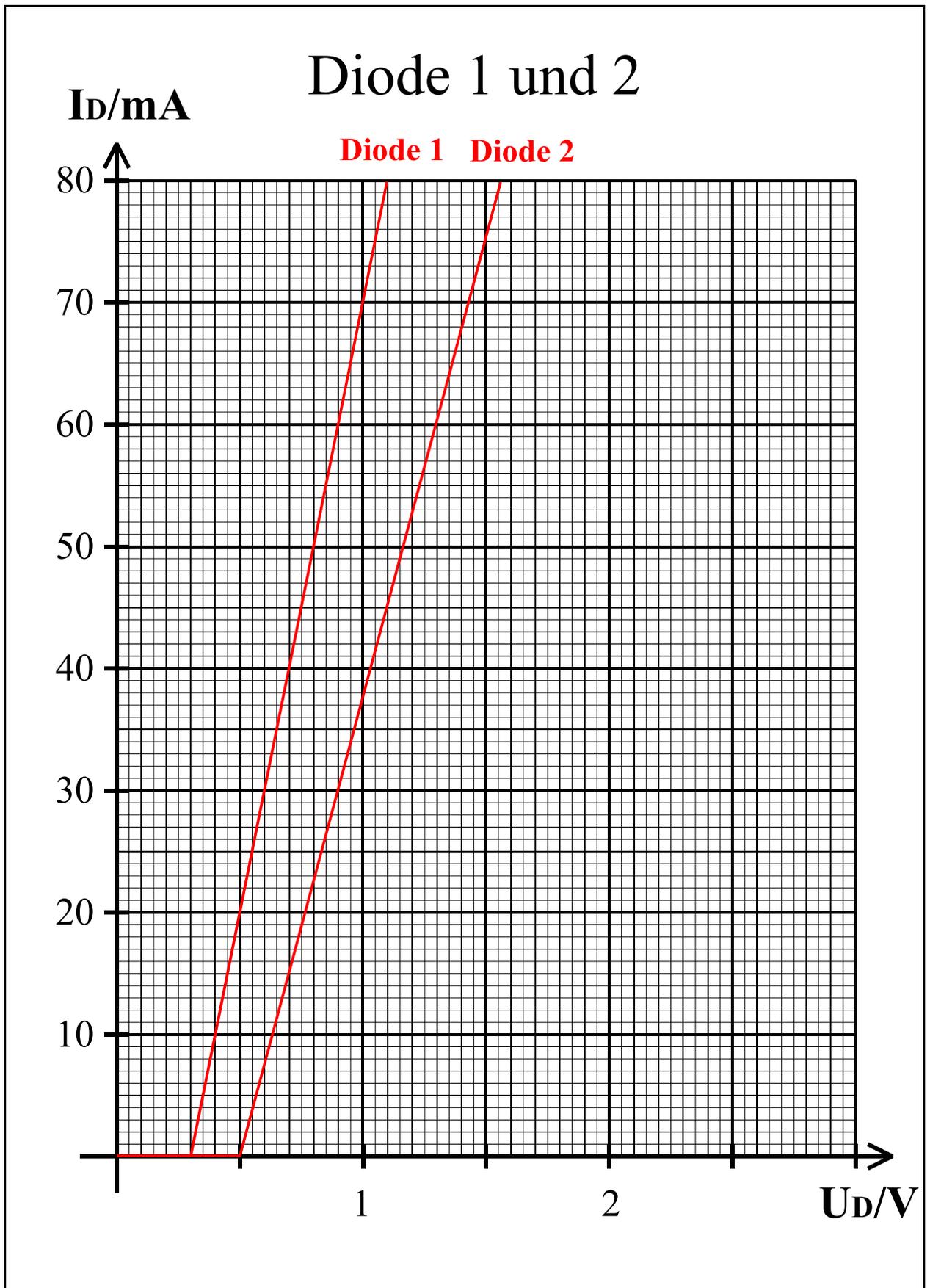


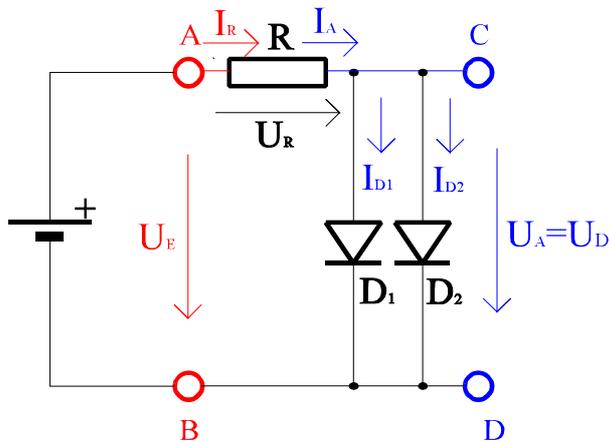
Abb. 2

Aufgabe 2.3.2. - Parallelschaltung von Halbleiterdioden

In integrierten Halbleiterschaltkreisen können zur Versteilerung der Kennlinie Parallelschaltungen von Dioden verwendet werden.

Für einfache Betrachtungen können Diodenkennlinien als Einheit von zwei Geraden approximiert werden.

Gegeben ist folgende Schaltung:



Werte:

$D_1 = \text{Diode 1}$

$U_E = 3\text{V}$

$R_1 = 50\ \Omega$

$D_2 = \text{Diode 2}$

und die Kennlinien der Dioden

Abb. 3

Aufgabe:

Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_A , den Gesamtstrom durch die Dioden I_A sowie die Teilströme I_{D1} und I_{D2} durch die Dioden.

1. Konstruieren Sie die Ersatzkennlinie für die Parallelschaltung von Diode 1 und Diode 2. Beachten Sie, daß sich hierbei die Ströme addieren.
2. Bestimmen Sie mithilfe der Ersatzkennlinie die Ausgangsspannung U_A und den Strom I_A für die Parallelschaltung der Dioden sowie die Spannung U_R und den Strom I_R über den Widerstand.
3. Bestimmen Sie aus den Einzelkennlinien die Teilströme I_{D1} und I_{D2} durch die Dioden D_1 und D_2 .

Stellen sie die Ergebnisse in einer Tabelle dar.

Für die Intervalle sind explizite Werte anzugeben. Angaben wie "sonst" oder "Rest" sind nicht zulässig!

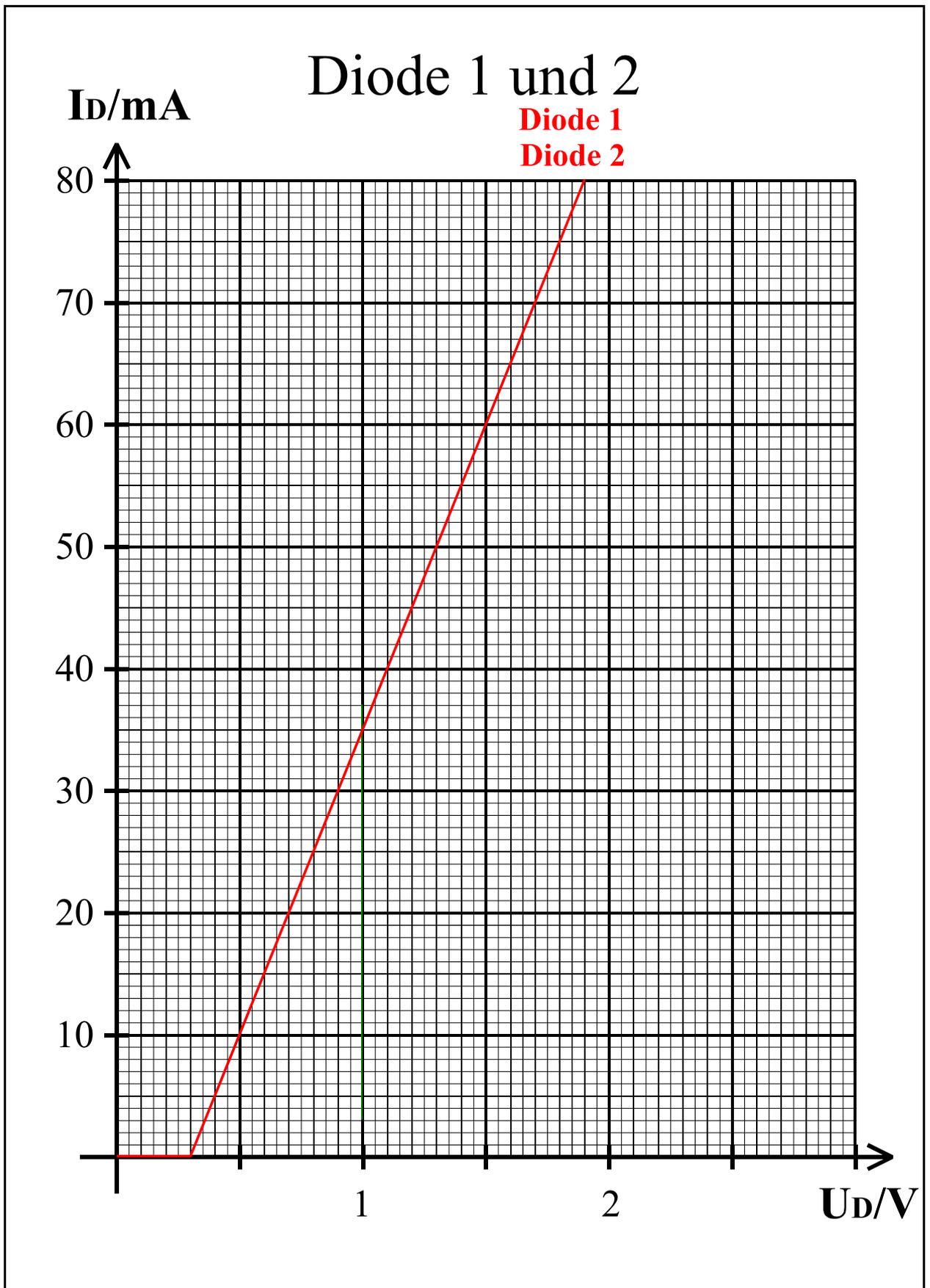
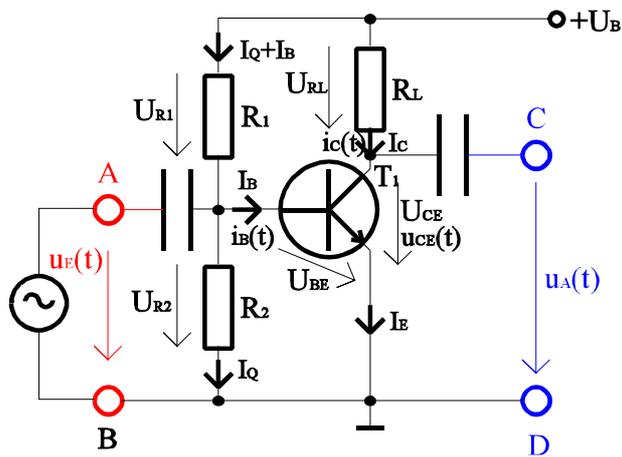


Abb. 4

Aufgabe 2.3.3. - Berechnung einer Transistorschaltung

Unter Zuhilfenahme eines vereinfachten U_{CE}/I_C Kennlinienfeldes mit dem Parameter I_B sollen die Widerstände bei vorgegebenen Gleichstromarbeitspunkt berechnet werden.

Gegeben ist folgende Schaltung:



Werte: $I_{CA} = 20\text{mA}$ $I_Q = 5 I_B$
 $U_B = 6\text{V}$ $U_{CEA} = U_B/2$
 $U_{BEA} = 0,7\text{V}$ $i_B(t) = 100\mu\text{A} \sin(314\text{s}^{-1}t)$

und die Kennlinien des 1. Quadranten des Transistors

Abb. 5

Aufgabe:

1. Zeichnen Sie unter Zuhilfenahme der Betriebsspannung U_B , sowie der Parameter des Arbeitspunktes (I_{CA} und U_{CEA}) die R_L -Gerade in das U_{CE}/I_C Kennlinienfeld ein und bestimmen Sie den Wert von R_L .
2. Bestimmen Sie aus dem U_{CE}/I_C Kennlinienfeld den für den Arbeitspunkt (I_{CA} , U_{CEA}) notwendigen Basisstrom I_{BA} .
3. Berechnen Sie mithilfe des Basisstroms I_{BA} den Querstrom I_Q , der durch den Spannungsteiler (R_1 , R_2) fließen soll.
4. Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2
5. Bestimmen Sie die Gleichstromverstärkung B_A des Transistors im Arbeitspunkt ($B_A = I_{CA}/I_{BA}$)
6. Der Transistor wird mit einem zeitveränderlichen Basisstrom $i_B(t) = I_B \sin(\omega t + \varphi)$ mit $\varphi = 0$ im Arbeitspunkt angesteuert.

Bestimmen Sie den maximalen- und den minimalen Basisstrom (I_{Bmax} , I_{Bmin}), die Basisstromdifferenz $\Delta I_B = I_{Bmax} - I_{Bmin}$, $u_{CE}(t)$, $i_C(t)$ die minimale- und maximale Kollektorspannung (U_{CEmax} , U_{CEmin}), die Kollektorspannungsdifferenz $\Delta U_{CE} = |U_{CEmax} - U_{CEmin}|$, den maximalen- und den minimalen Kollektorstrom (I_{Cmax} , I_{Cmin}), die Kollektorstromdifferenz $\Delta I_C = (I_{Cmax} - I_{Cmin})$.

Die Indizes (max, min) richten sich nach dem Basisstrom)

Stellen Sie die Ergebnisse in einer Tabelle dar.

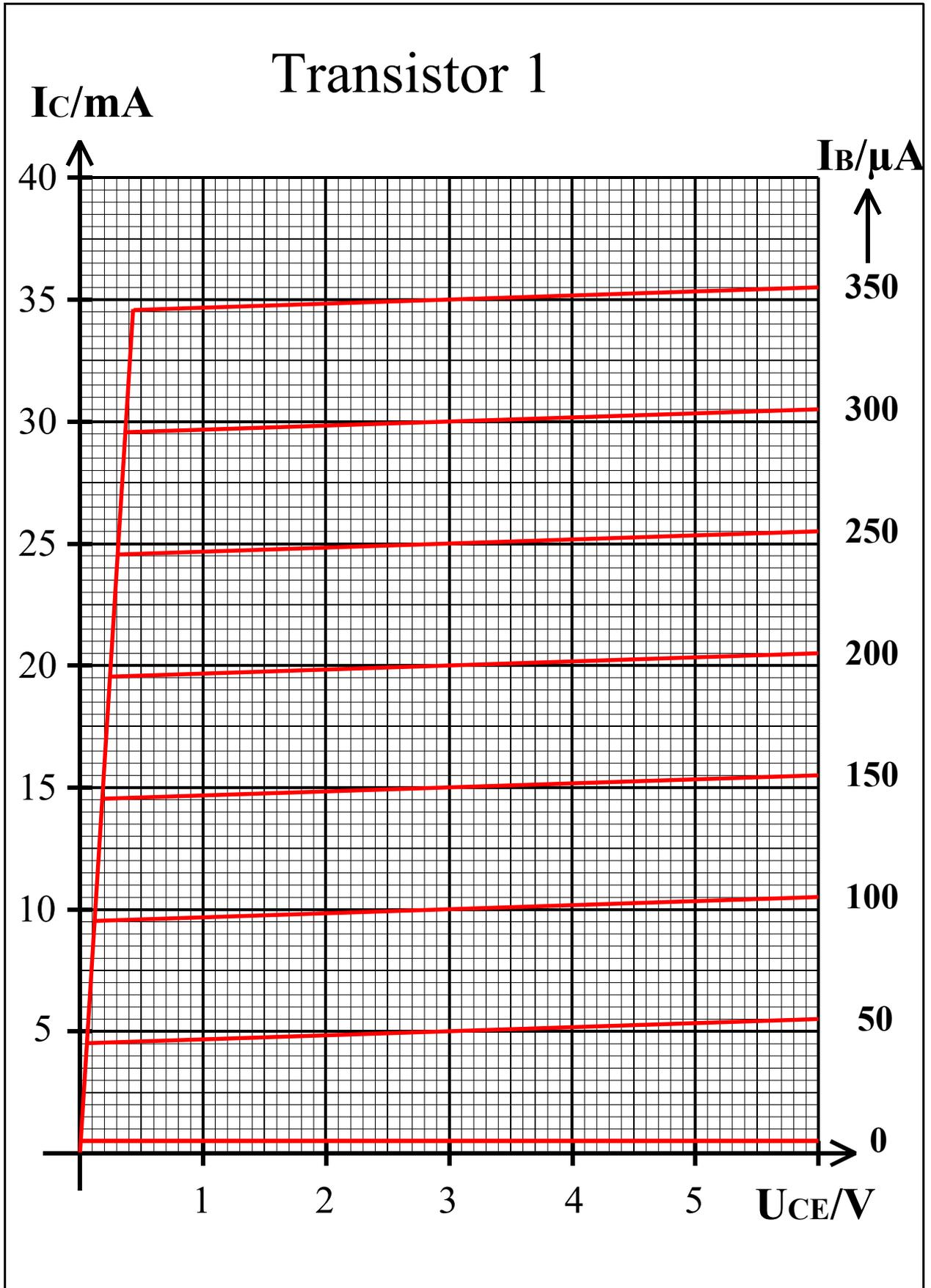


Abb. 6

Lösung: Aufgabe 2.3.1.

Reihenschaltung von Halbleiterdioden

1. Bestimmung der math. Funktion der Kennlinien der Halbleiterdioden

Die Kennlinien wurden als eine Menge von Geraden approximiert

$$I=f(U)=aU+b$$

Befindet sich die Gerade im Intervall $[U_1, U_2]$ so gilt für zwei Punkte:

$$I_1=aU_1+b \text{ und } I_2=aU_2+b$$

und es folgt:

$$a=(I_2-I_1)/(U_2-U_1) \text{ und } b=I_1-aU_1=I_2-aU_2$$

1.1 Diode 1

1. Geradenabschnitt $U \in [0;0,3]V$, $I \in [0;0]mA$

$$a=0 \qquad b=0$$

2. Geradenabschnitt $U \in [0,3;1,1]V$, $I \in [0;80]mA$

$$a=(80mA-0mA)/(1,1V-0,3V)=80mA/0,8V=100 \text{ mS}$$
$$b=80mA-100mS \times 1,1V=80mA-110mA=-30mA$$

3. gesamte Kennlinie

$$I_{D1}=f(U_{D1}) = \begin{cases} 0mS \times U_{D1} & \text{für } U_{D1} \in [0;0,3]V \\ 100mS \times U_{D1} - 30mA & \text{für } U_{D1} \in [0,3;1,1]V \end{cases}$$

1.2 Diode 2

1. Geradenabschnitt $U \in [0; 0,5]V$, $I \in [0; 0]mA$

$$a=0 \quad b=0$$

2. Geradenabschnitt $U \in [0,5; 1,56]V$, $I \in [0; 80]mA$

$$a = (80mA - 0mA) / (1,5666V - 0,5V) = 80mA / 1,0666V = 75 \text{ mS}$$
$$b = 80mA - 75mS \times 1,5666V = 80mA - 117,495mA = -37,5 \text{ mA}$$

3. gesamte Kennlinie

$$I_{D2} = f(U_{D2}) = \begin{cases} 0 \text{ mS} \times U_{D2} & \text{für } U_{D2} \in [0; 0,5]V \\ 75 \text{ mS} \times U_{D2} - 37,5 \text{ mA} & \text{für } U_{D2} \in [0,5; 1,56]V \end{cases}$$

2. Konstruktion der Gesamtkennlinie der Reihenschaltung von Diode 1 und Diode 2

Bei der Reihenschaltung addieren sich die Spannungen, die Ströme bleiben gleich

$$U_{\text{ers}}(I_{\text{ers}}) = U_{D1}(I_{\text{ers}}) + U_{D2}(I_{\text{ers}})$$

Da für beide Kennlinien Geraden vorliegen, brauchen nur die Knickpunkte beachtet werden.

1. Knickpunkt: $I_{\text{ers}} = 0mA$

$$U_{D1} = 0,3V, U_{D2} = 0,5V \text{ daraus folgt } U_{\text{ers}} = 0,8V$$

2. Knickpunkt: $I_{\text{ers}} = 80mA$

$$U_{D1} = 1,1V, U_{D2} = 1,56V \text{ daraus folgt } U_{\text{ers}} = 1,1V + 1,56V = 1,66V$$

3. Bestimmung der math. Funktion der Ersatzkennlinie der Halbleiterdioden

Die Kennlinie wurde als eine Menge von Geraden approximiert

Ersatzkennlinie

1. Geradenabschnitt $U \in [0; 0,8]V$, $I \in [0; 0]mA$

$$a=0 \quad b=0$$

2. Geradenabschnitt $U \in [0,8; 2,66]V$, $I \in [0; 80]mA$

$$a = (80mA - 0mA) / (2,66V - 0,8V) = 80mA / 1,86V = 43,0 \text{ mS}$$
$$b = 80mA - 43,0 \text{ mS} \times 2,66V = 80mA - 114,38mA = -34,38 \text{ mA}$$

4. gesamte Kennlinie

$$I_{\text{ers}} = f(U_{\text{ers}}) = \begin{cases} 0 \text{ mS} \times U_{\text{Ders}} & \text{für } U_{\text{ers}} \in [0; 0,8] \text{V} \\ 43 \text{ mS} \times U_{\text{Ders}} - 34,4 \text{ mA} & \text{für } U_{\text{ers}} \in [0,8; 2,66] \text{V} \end{cases}$$

4. Bestimmung der Gesamtspannung und des Gesamtstroms

$$U_{\text{leer}} = 3 \text{V} \quad I_{\text{max}} = 3 \text{V} / 50 \Omega = 60 \text{mA}$$

daraus folgt aus der Ersatzkennlinie

$$U_{\text{A}} = 1,5 \text{V} \quad I_{\text{A}} = 30 \text{mA}$$

$$U_{\text{R}} = U_{\text{E}} - U_{\text{A}} = 3 \text{V} - 1,5 \text{V} = 1,5 \text{V}$$

$$I_{\text{R}} = I_{\text{A}} = 30 \text{ mA}$$

5. Bestimmung der Teilspannungen

$$I_{\text{A}} = I_{\text{D1}} = I_{\text{D2}} = 30 \text{mA}$$

$$U_{\text{D1}} = 0,6 \text{V}$$

$$U_{\text{D2}} = 0,9 \text{V}$$

und zur Kontrolle:

$$U_{\text{A}} = U_{\text{D1}} + U_{\text{D2}} = 0,6 \text{V} + 0,9 \text{V} = 1,5 \text{V}$$

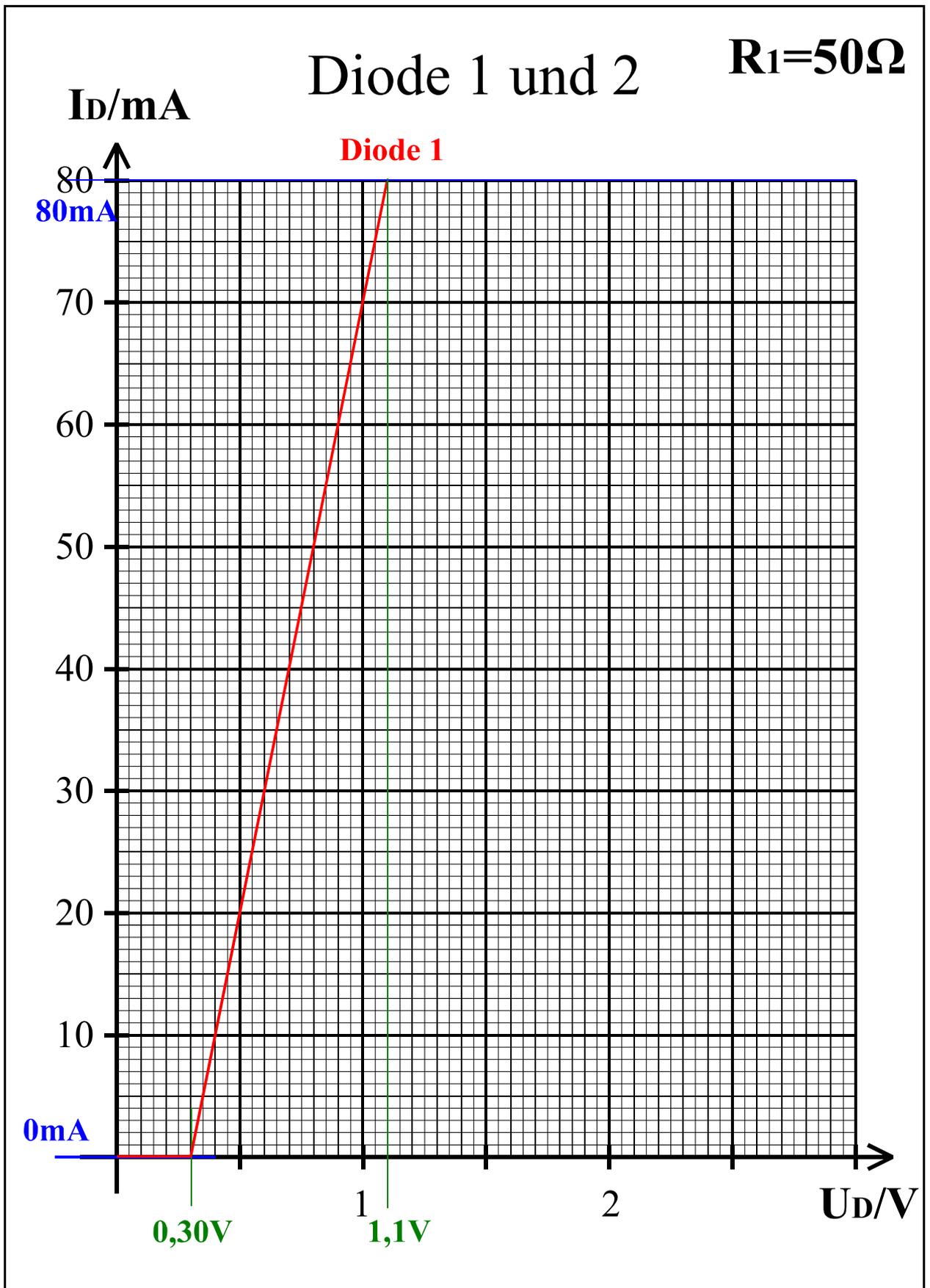


Abb. 7

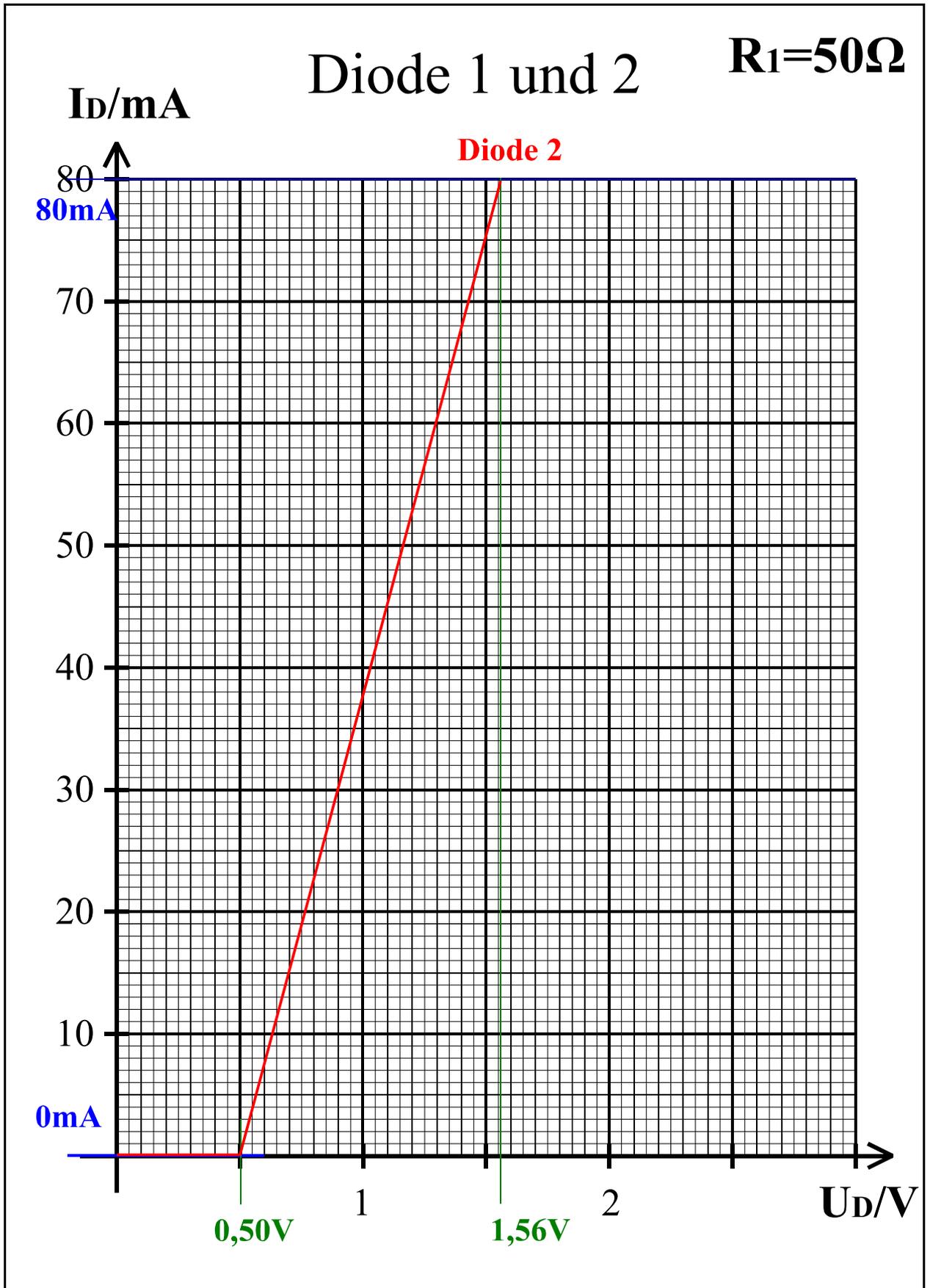


Abb. 8

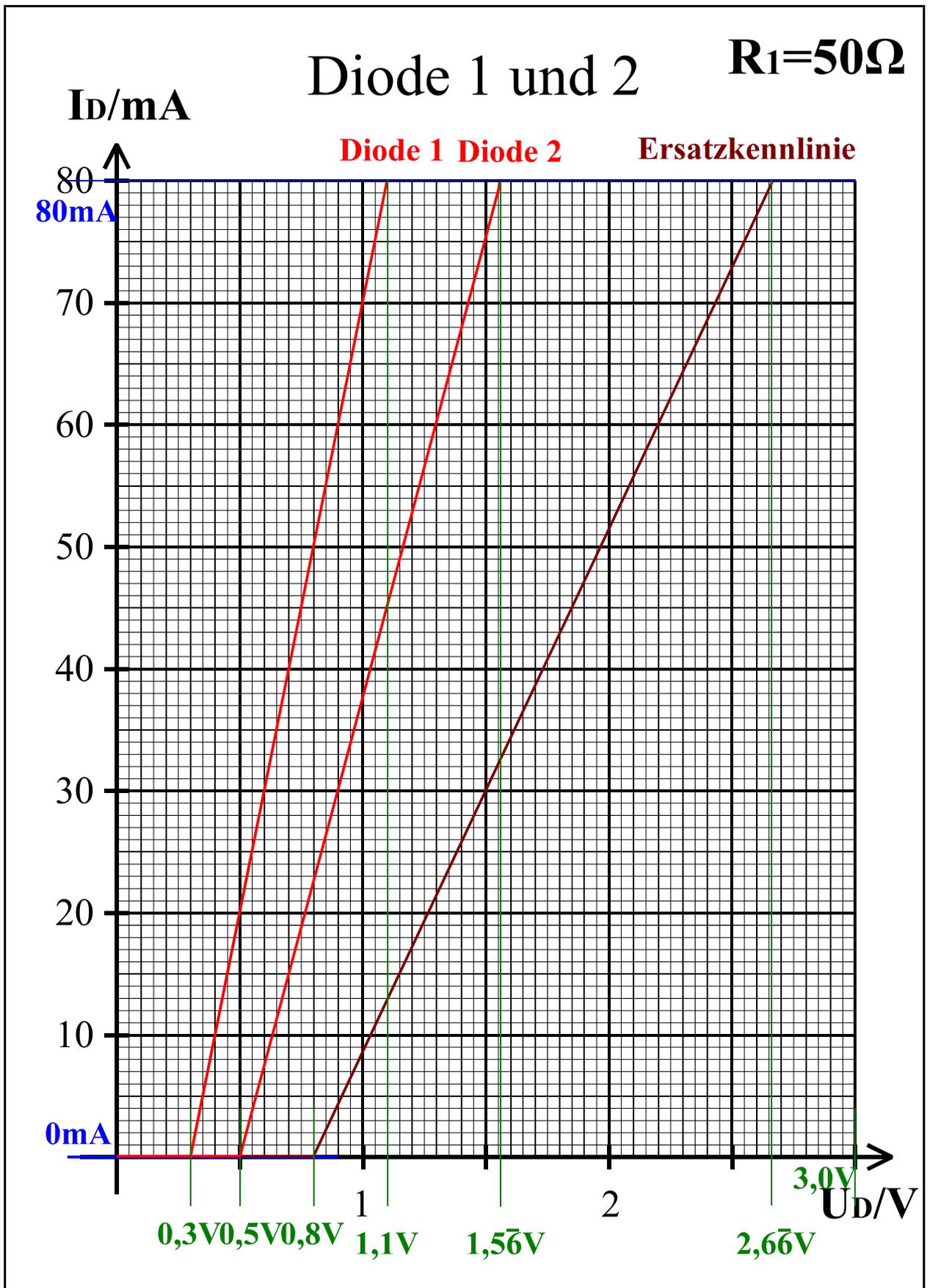


Abb. 9

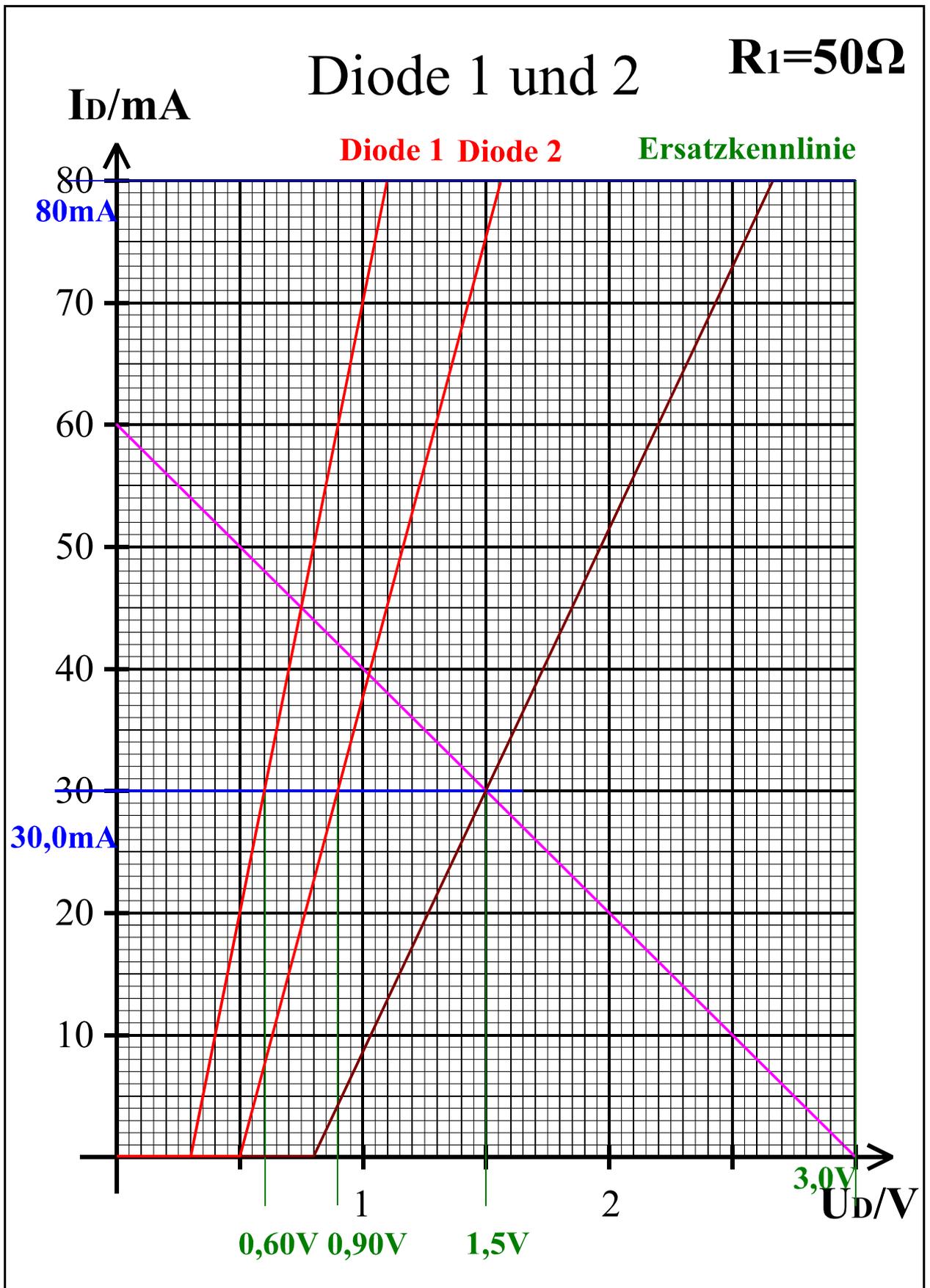


Abb. 10

Lösung: Aufgabe 2.3.2.

Parallelschaltung von Halbleiterdioden

Bestimmen Sie die Ausgangsspannung U_A , den Gesamtstrom durch die Dioden I_A sowie die Teilströme I_{D1} und I_{D2} durch die Dioden.

1. Konstruieren Sie die Ersatzkennlinie für die Parallelschaltung von Diode 1 und Diode 2. Beachten Sie, daß sich hierbei die Ströme addieren.

Für die Konstruktion der Ersatzkennlinie wurden die Punkte 0,3V und 1,1V gewählt.

Punkt 1: $U_{D1}=U_{D2}=0,3 \text{ V}$ $I_{D1}=I_{D2}= 0 \text{ mA}$

Daraus folgt:

$$U_{\text{ers}}=0,3 \text{ V} \quad I_{\text{ers}}=I_{D1}+I_{D2}= 0 \text{ mA} + 0 \text{ mA}= 0 \text{ mA}$$

Punkt 2: $U_{D1}=U_{D2}=1,1 \text{ V}$ $I_{D1}=I_{D2}= 40 \text{ mA}$

Daraus folgt:

$$U_{\text{ers}}=1,1 \text{ V} \quad I_{\text{ers}}=I_{D1}+I_{D2}= 40 \text{ mA} + 40 \text{ mA}= 80 \text{ mA}$$

2. Bestimmen Sie mithilfe der Ersatzkennlinie die Ausgangsspannung U_A und den Strom I_A für die Parallelschaltung der Dioden sowie die Spannung U_R und den Strom I_R über den Widerstand.

Die Widerstandsgeraden kann mittels folgender beider Punkte festgelegt werden:

$$R_1=50\Omega$$

Punkt 1: $U_{R1}=U_E= 3 \text{ V}$ $I_{R1}= 0 \text{ mA}$

Punkt 2: $U_{R1}=0$ $I_{R1}= U_E/R_1=3\text{V}/50\Omega = 60 \text{ mA}$

Der Arbeitspunkt des Systems der Parallelschaltung der Dioden kann aus dem Schnittpunkt der Ersatzkennlinie mit der Widerstandsgeraden bestimmt werden.

$$U_A= 0,75 \text{ V} \quad I_A= 45 \text{ mA}$$

Die Spannung über dem Widerstand ergibt sich aus:

$$U_{AR1}=U_E-U_A= 3\text{V}-0,75 \text{ V}= 2,25 \text{ V}$$

Der Strom über den Widerstand ist gleich dem Strom über die Diodenkonfiguration.

$$U_{AR1}=I_A= 45 \text{ mA}$$

3. Bestimmen Sie aus den Einzelkennlinien die Teilströme I_{D1} und I_{D2} durch die Dioden D_1 und D_2 .

Um die Teilströme über die Dioden zu bestimmen muß auf die Kennlinien der Einzeldioden zurückgegangen werden.

$$I_A= I_{AD1}+ I_{AD2}= 45 \text{ mA}$$

Da hier gleiche Kennlinien vorliegen halbieren sich die Ströme.

$$I_{AD1}= I_{AD2}= 22,5 \text{ mA}$$

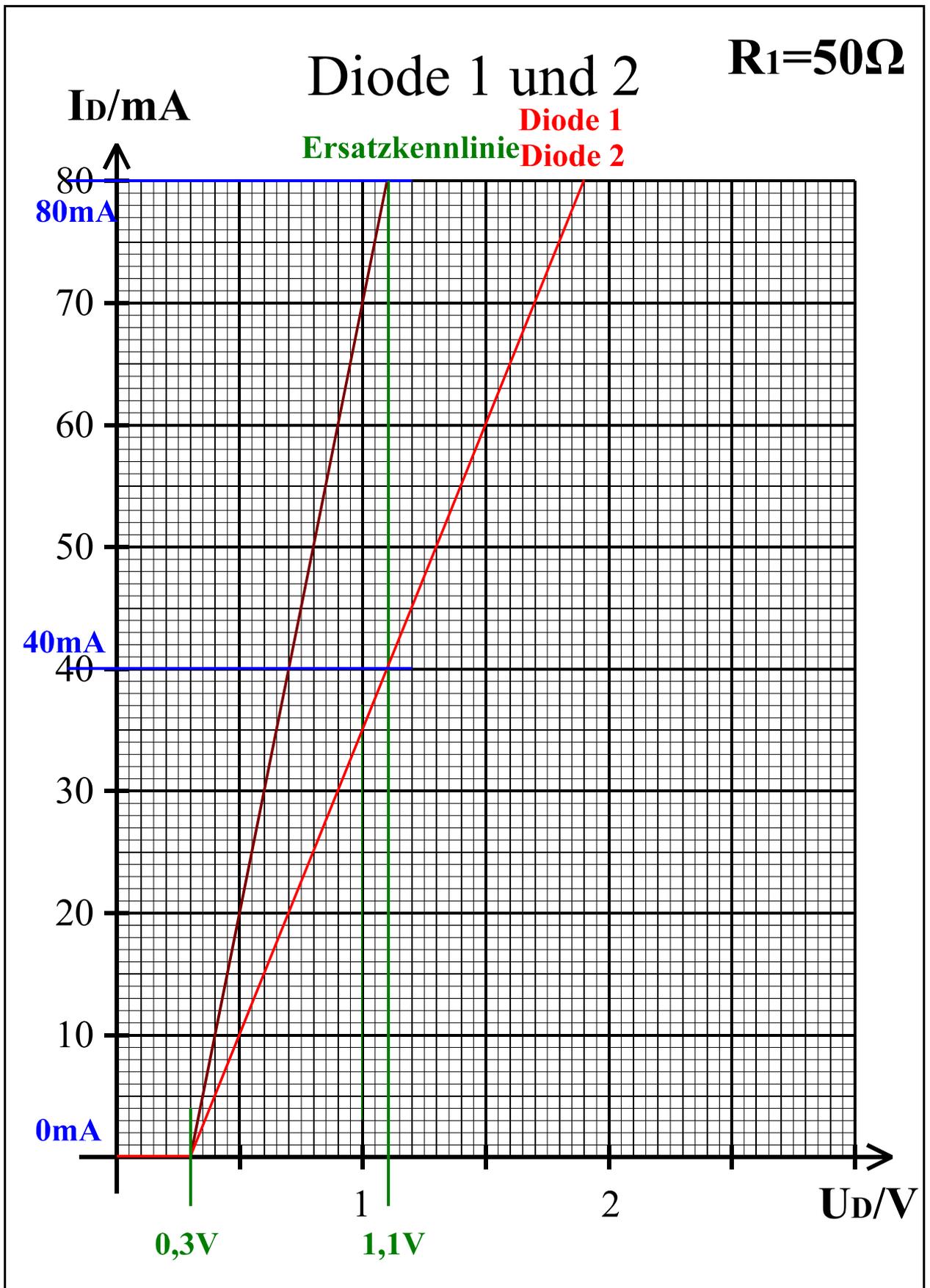


Abb. 11

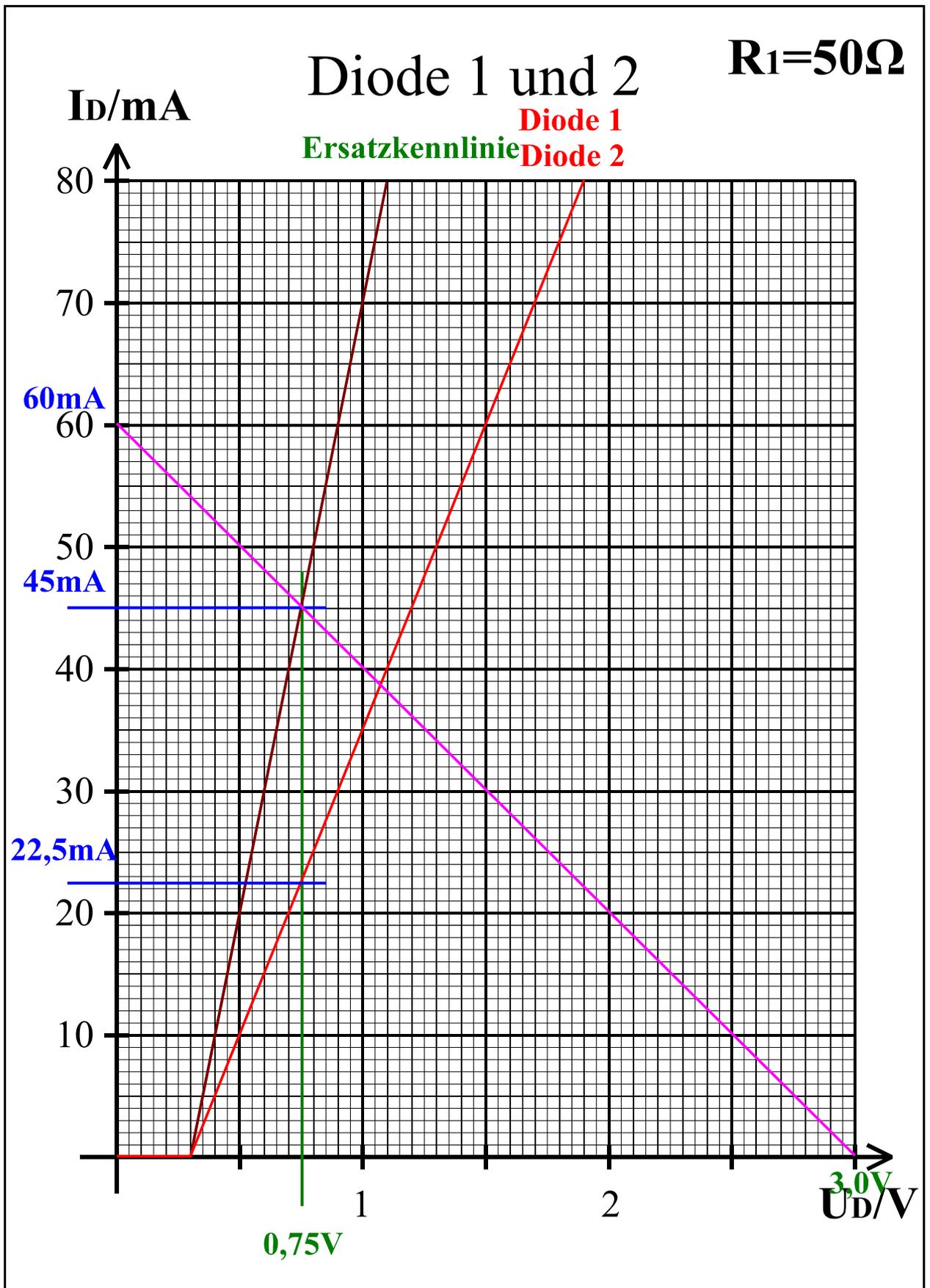


Abb. 12

Lösung: Aufgabe 2.3.3.

Berechnung einer Transistorschaltung

1. Zeichnen der R_L -Gerade und Bestimmung des Wertes von R_L (Abb. 14)

1.1. Berechnung mithilfe des Arbeitspunktes

$$U_{CEA} = U_B / 2 = 6V / 2 = 3V$$
$$U_{RL} = U_B - U_{CEA} = 6V - 3V = 3V \quad I_{RL} = I_{CA} = 20mA$$

$$R_L = U_{RL} / I_{RL} = 3V / 20mA = \mathbf{150\Omega}$$

1.2. Berechnung mithilfe des Kennlinienfeldes (Extrema für Spannung und Strom)

$$U_B = 6V \quad I_{max} = 40mA$$

$$R_L = U_B / I_{max} = 6V / 40mA = \mathbf{150\Omega}$$

2. Bestimmung des Basisstromes im Arbeitspunkt aus dem Kennlinienfeld (Abb. 14)

$$I_{BA} = \mathbf{200\mu A}$$

3. Berechnung des Querstroms über den Spannungsteiler

$$I_Q = 5 \times I_{BA} = 5 \times 200\mu A = \mathbf{1mA}$$

4. Berechnung von R_1 und R_2

$$U_{R1} = U_B - U_{BE} = 6V - 0,7V = 5,3V \quad I_{R1} = I_Q + I_{BA} = 1mA + 0,2mA = 1,2mA$$

$$R_1 = U_{R1} / I_{R1} = 5,3V / 1,2mA = \mathbf{4,417k\Omega \approx 4,4k\Omega}$$

$$U_{R2} = U_{BE} = 0,7V \quad I_{R1} = I_Q = 1mA$$

$$R_2 = U_{R2} / I_{R2} = 0,7V / 1mA = \mathbf{700\Omega}$$

5. Berechnung der Gleichstromverstärkung im Arbeitspunkt

$$B_A = I_{CA} / I_{BA} = 20mA / 200\mu A = \mathbf{100}$$

6. Bestimmung der Spannungen und Ströme für Ansteuerung mit einer Sinusspannung

$$i_B(t) = I_B \sin(\omega t + \varphi) = \mathbf{100\mu A \sin(314s^{-1}t)}$$

6.1. Bestimmung des minimalen und maximalen Basisstromes sowie der Basisstromdifferenz

$$I_{Bmin} = I_{BA} - I_B = 200\mu A - 100\mu A = \mathbf{100\mu A} \quad I_{Bmax} = I_{BA} + I_B = 200\mu A + 100\mu A = \mathbf{300\mu A}$$

$$\Delta I_B = I_{Bmax} - I_{Bmin} = 300\mu A - 100\mu A = \mathbf{200\mu A}$$

6.2. Bestimmung des minimalen und maximalen Kollektorstromes sowie der Kollektorstromdifferenz

$$I_{Cmin} = \mathbf{10,2mA} \quad I_{Cmax} = \mathbf{29,8mA}$$

$$\Delta I_C = I_{Cmax} - I_{Cmin} = 29,8mA - 10,2mA = \mathbf{19,6mA}$$

6.3. Bestimmung der minimalen und maximalen Kollektor-Emitterspannung sowie der Kollektor-Emitterspannungsdifferenz

$$U_{CEmax} = 1,54V$$

$$U_{CEmin} = 4,46V$$

$$\Delta U_{CE} = |U_{CEmax} - U_{CEmin}| = |1,54V - 4,46V| = 2,92V$$

Die Betragsbildung bei Punkt 6.3. und das negative Vorzeichen bei Punkt 6.5 resultiert aus der Tatsache, daß die Indizes "max" und "min" nach den Strömen gewählt wurden um eine eindeutige Zuordnung zu haben. Unter "min" ist in Wirklichkeit die maximale Spannung und unter "max" die minimale Spannung zu sehen. Dies resultiert aus dem 180° Phasenwinkel zwischen Kollektorstrom und Kollektorspannung.

6.4. Bestimmung des Scheitelwertes des Kollektorwechselstroms und der Zeitfunktion

$$I_C = I_{Cmax} - I_{CA} = 29,8mA - 20mA = 9,8mA \quad \text{oder} \quad I_C = I_{CA} - I_{Cmin} = 40mA - 10,2mA = 9,8mA$$

$$i_C(t) = I_C \sin(\omega t + \varphi) = 9,8mA \sin(314s^{-1}t)$$

auch richtig, nicht Bestandteil der Aufgabenstellung:

$$i_{Cges}(t) = i_C(t) + I_A = I_{CE} \sin(\omega t + \varphi) + I_A = 9,8mA \sin(314s^{-1}t) + 20mA$$

6.5. Bestimmung des Scheitelwertes der Kollektorwechselspannung und der Zeitfunktion

$$U_{CE} = -(U_{CEmax} - U_{ECA}) = -(4,46V - 3V) = 1,46V \quad \text{oder} \quad U_{CE} = -(U_{CEA} - U_{ECmin}) = -(3V - 1,54V) = 1,46V$$

$$u_{CE}(t) = U_{CE} \sin(\omega t + \varphi) = -1,46V \sin(314s^{-1}t) = 1,46V \sin(314s^{-1}t - \pi)$$

auch richtig, nicht Bestandteil der Aufgabenstellung:

$$u_{CEges}(t) = u_{CE}(t) + U_A = U_{CE} \sin(\omega t + \varphi) + U_A = -1,46V \sin(314s^{-1}t) + 3V = 1,46V \sin(314s^{-1}t - \pi) + 3V$$

6.6. Bestimmung der Wechselstromverstärkung *(nicht Bestandteil der Aufgabenstellung)*

$$B_{wechsel} = I_C / I_B = 9,8mA / 100\mu A = 98 \quad \text{für symmetrische Ausgangsspannung}$$

$$B_{wechsel} = \Delta I_C / \Delta I_B = 19,6mA / 200\mu A = 98 \quad \text{für symmetrische- und unsymmetrische Ausgangsspannung}$$

Wir sehen, daß die Gleichstromverstärkung nur vom Arbeitspunkt abhängig ist. Die Wechselstromverstärkung dagegen ist zusätzlich noch von der Steilheit der Widerstandsgeraden (Wert von R_L) abhängig.

Bei steigender Wechselstromverstärkung (Verringerung von R_L) verringert sich die Wechselspannungsverstärkung und umgekehrt.

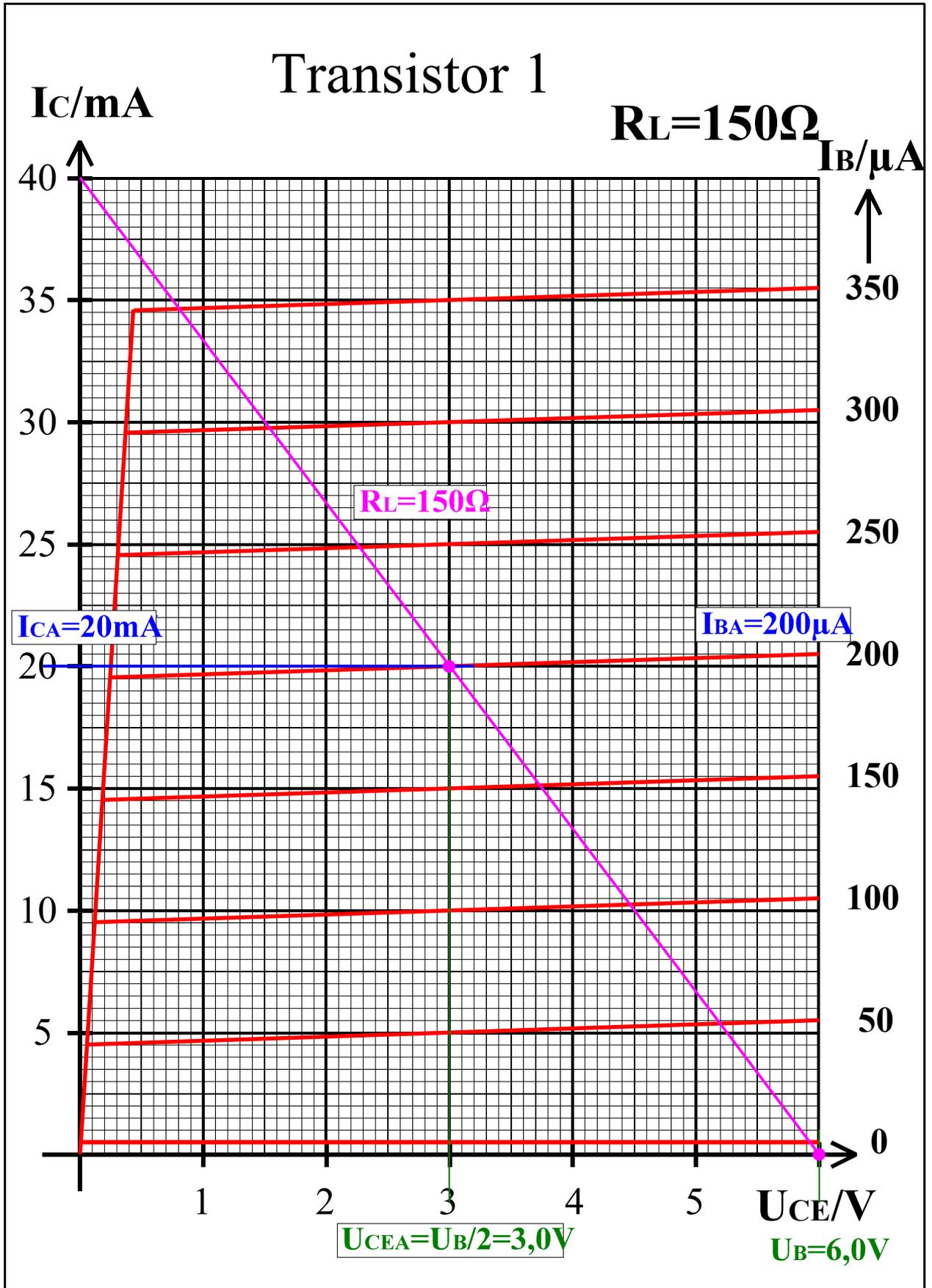


Abb. 13

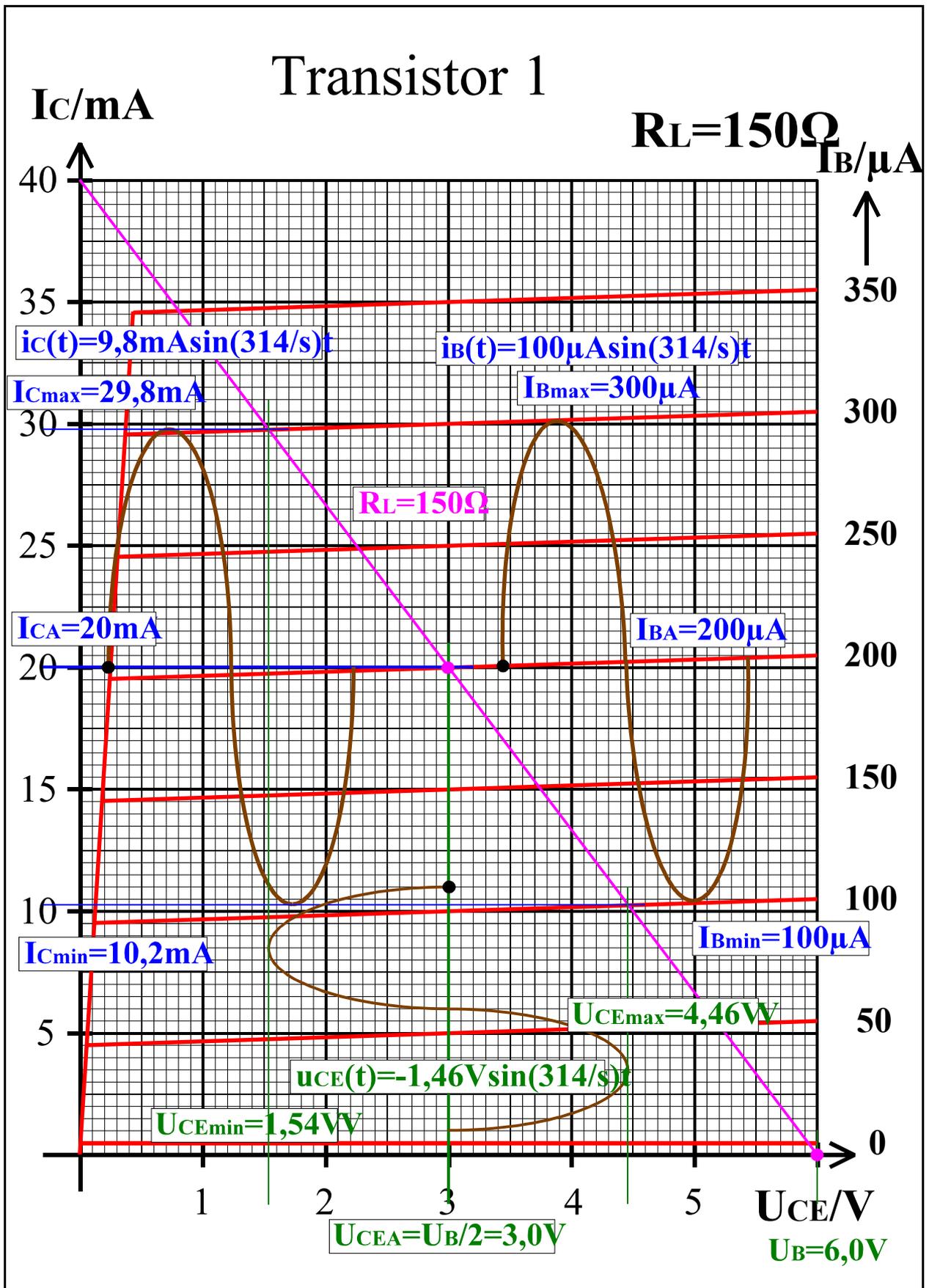


Abb. 14