

Abt. Technische Informatik
Dr. Hans-Joachim Lieske

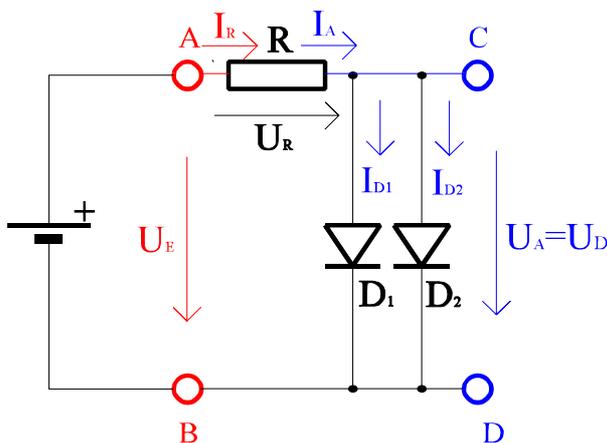
Aufgaben zum Seminar Technische Informatik

Aufgabe 2.3.1. - 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. 1

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.

- Bestimmen Sie die mathematische Funktion der Kennlinien $I_{D1}=f(U_{D1})$ für Diode1 und $I_{D2}=f(U_{D2})$ für beide Intervalle.
- Konstruieren Sie die Ersatzkennlinie für die Parallelschaltung von Diode1 und Diode 2. Beachten Sie, daß sich hierbei die Ströme addieren und drei Intervalle vorhanden sind.
- Bestimmen Sie die mathematische Funktion der Ersatzkennlinie $I_{\text{Ders}}=f(U_{\text{Ders}})$ der Parallelschaltung von Diode1 und Diode 2. Beachten sie dabei, daß nun drei Intervalle vorhanden sind.
- 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.
- 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!

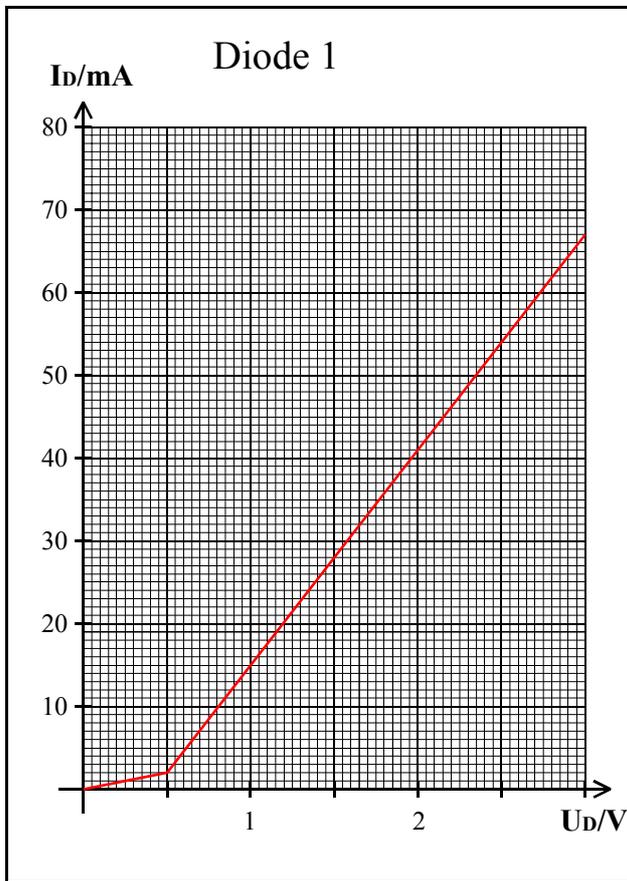


Abb. 2

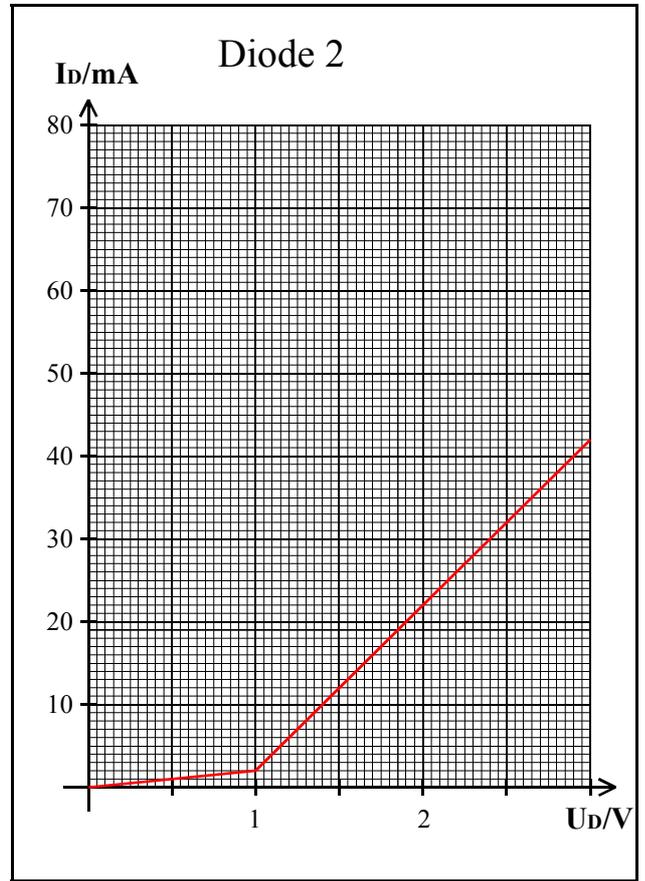


Abb. 3

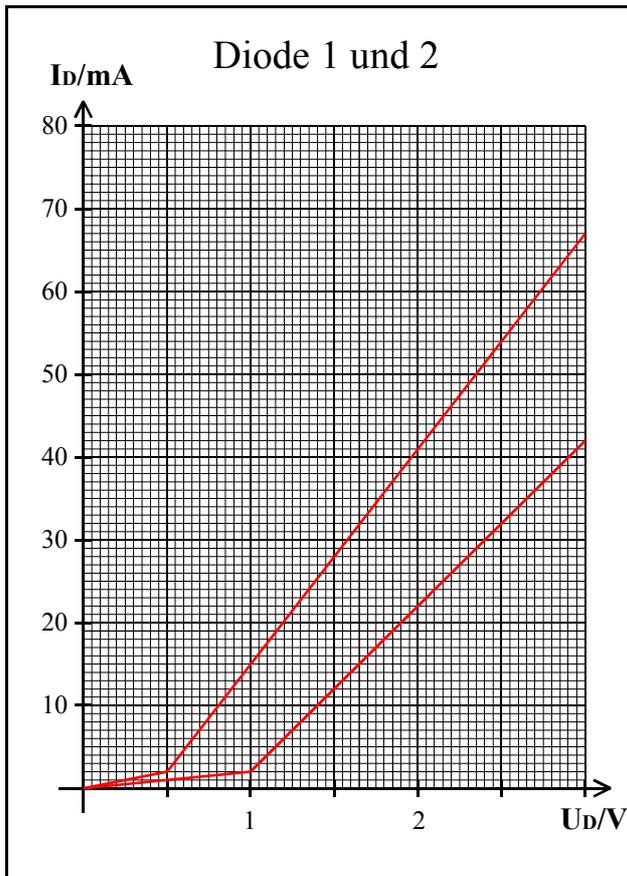


Abb. 4

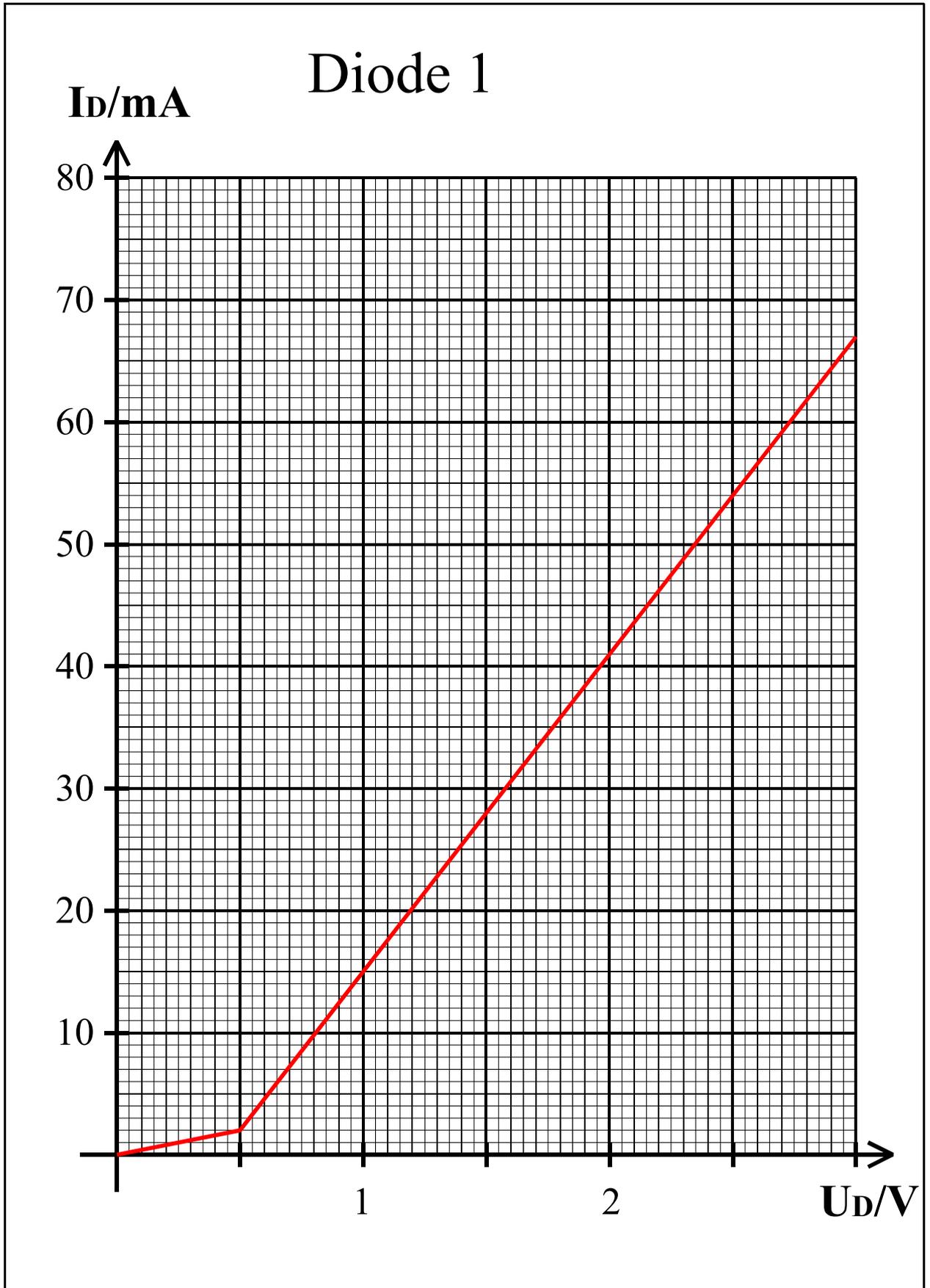


Abb. 5

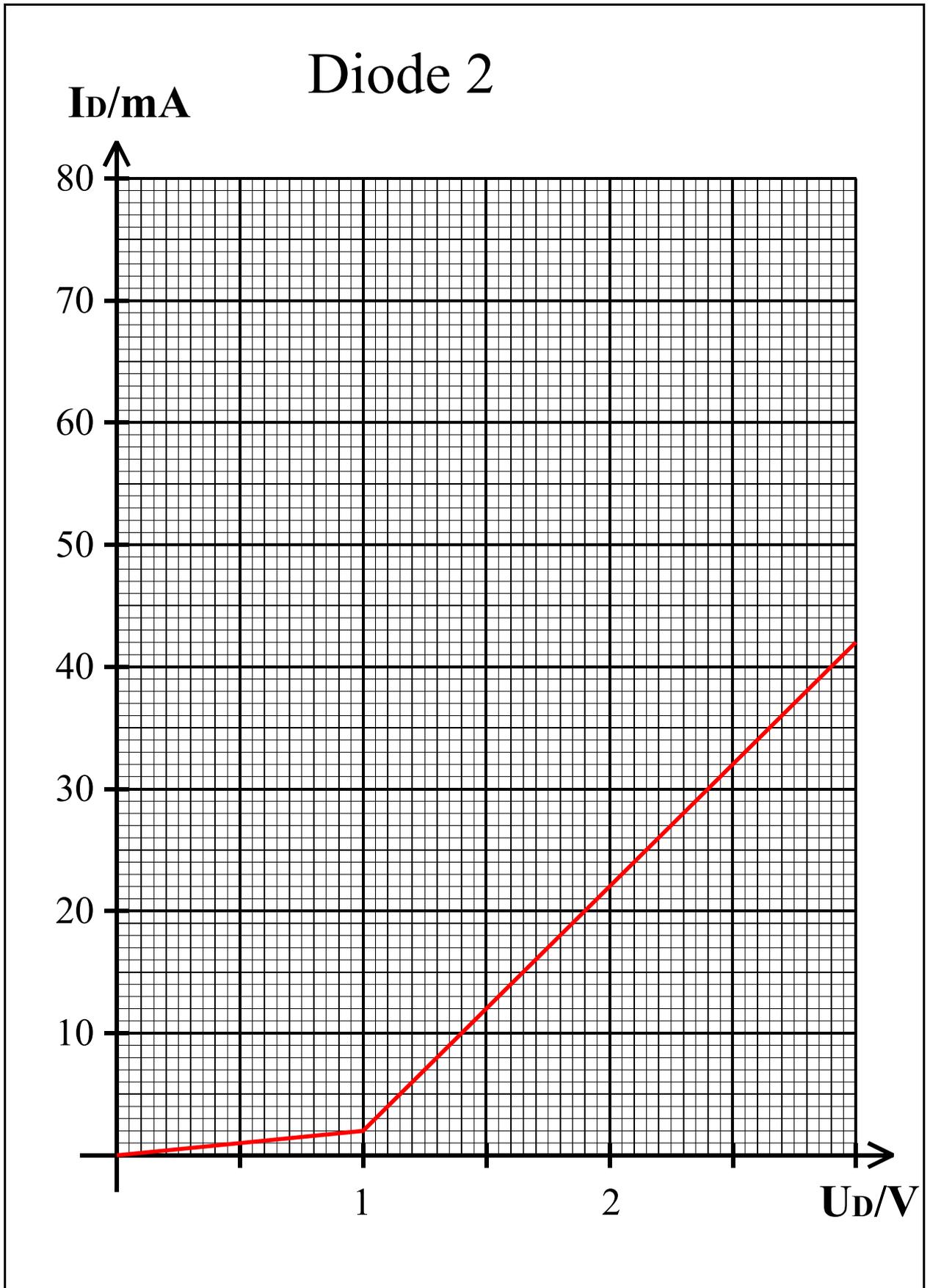


Abb. 6

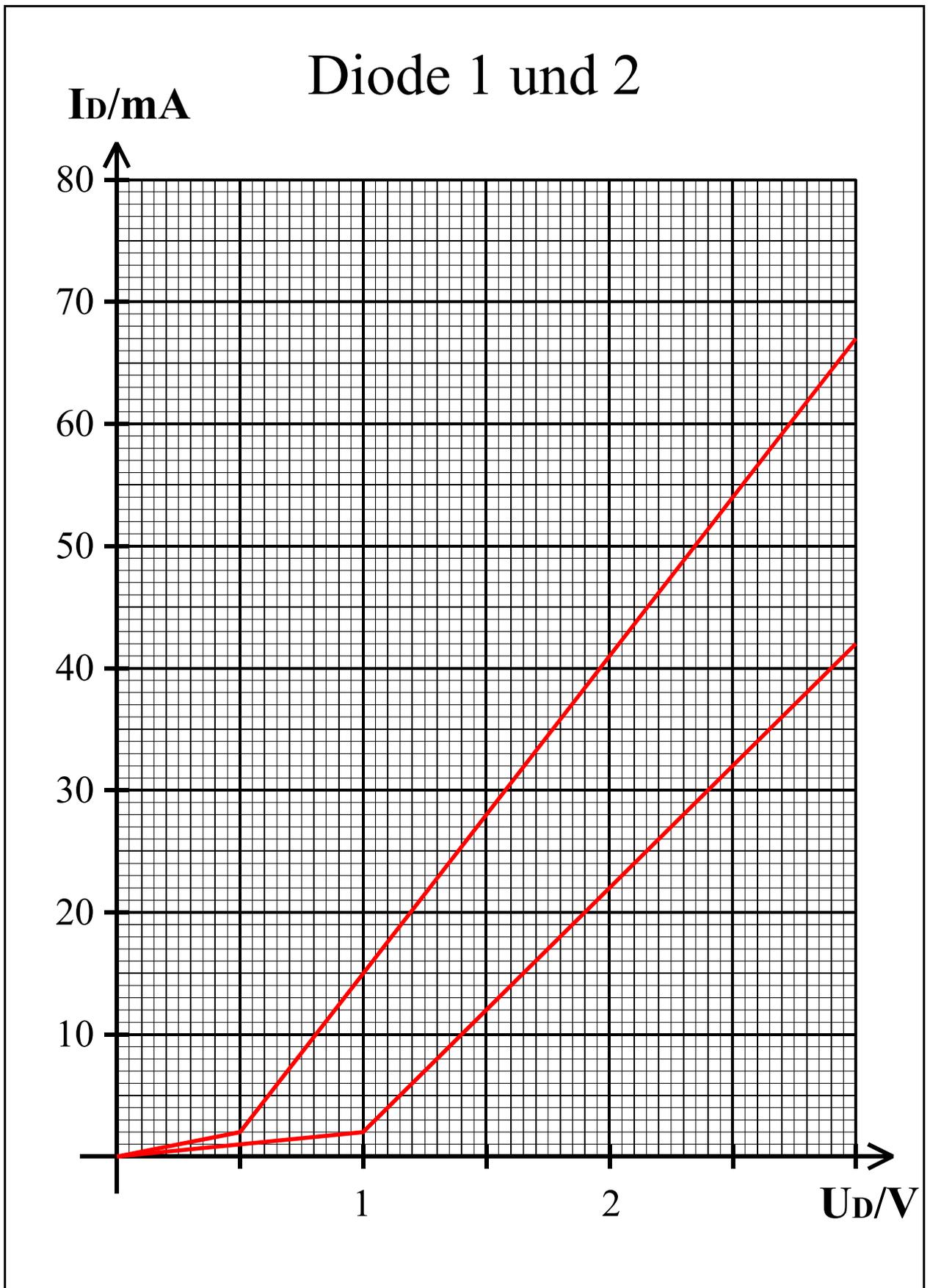


Abb. 7

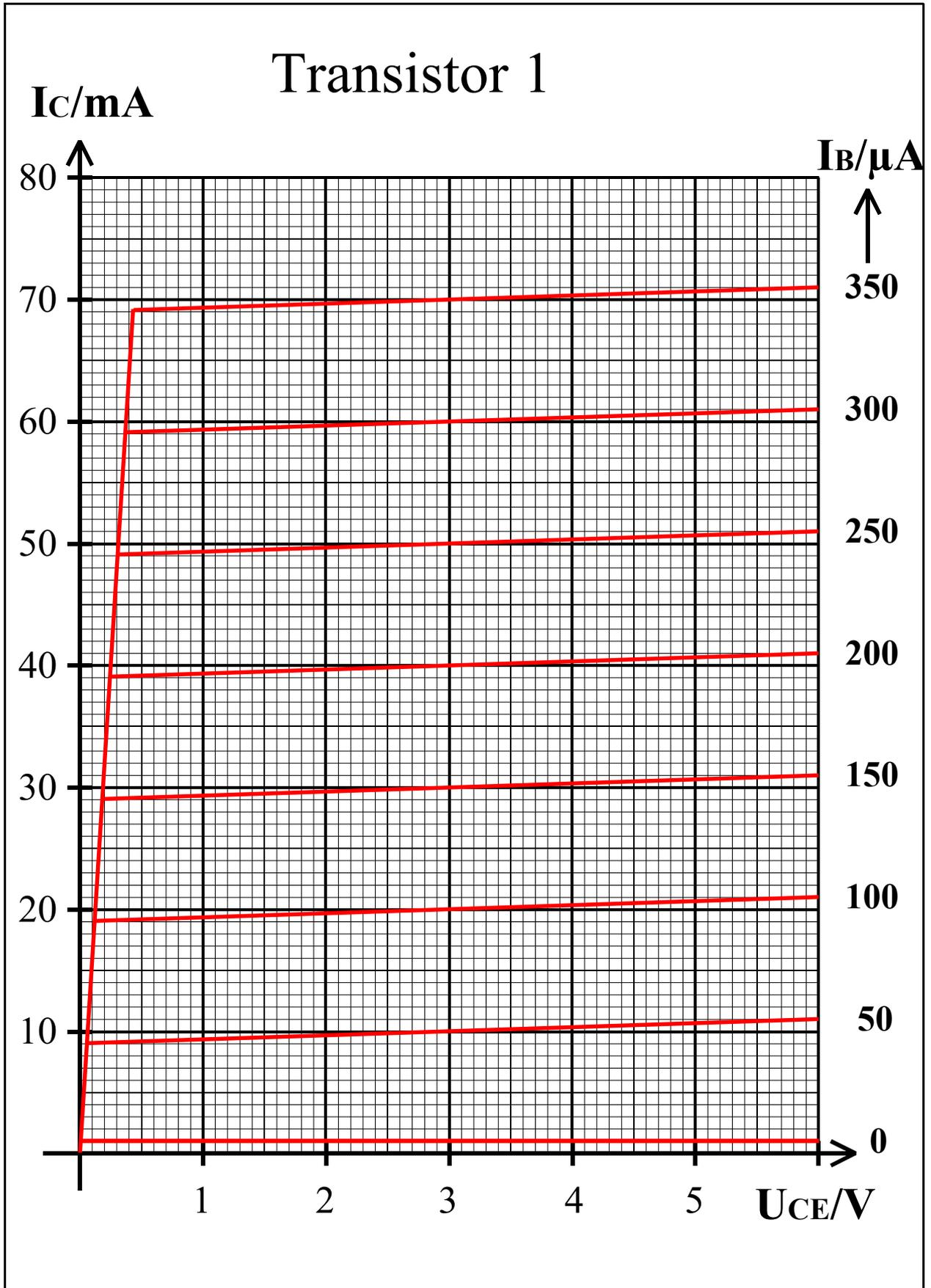


Abb. 10

Lösung: Aufgabe 2.3.1.

Parallelschaltung 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 $U \in [0; 0,5]V$, $I \in [0; 2]mA$

$$a=2mA/0,5V=4mS \quad b=0$$

2. Geradenabschnitt $U \in [0,5; 3,0]V$, $I \in [2; 67]mA$

$$a=(67mA-2mA)/(3V-0,5V)=65mA/2,5V=26mS \\ b=67mA-26mS \times 3V=67mA-78mA=-11mA$$

3. gesamte Kennlinie

$$I_{D1}=f(U_{D1}) = \begin{cases} 4mS \times U_{D1} & \text{für } U_{D1} \in [0; 0,5]V \\ 26mS \times U_{D1} - 11mA & \text{für } U_{D1} \in [0,5; \infty)V \end{cases}$$

1.2. Diode 2

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

$$a = 2mA/1V = 2mS \quad b = 0$$

2. Geradenabschnitt $U \in [1;3]V$, $I \in [2;42]mA$

$$a = (42mA - 2mA)/(3V - 1V) = 40mA/2V = 20mS$$

$$b = 42mA - 20mS \times 3V = 42mA - 60mA = -18mA$$

3. gesamte Kennlinie

$$I_{D2} = f(U_{D2}) = \begin{cases} 2mS \times U_{D2} & \text{für } U_{D2} \in [0;1]V \\ 20mS \times U_{D2} - 18mA & \text{für } U_{D2} \in [1;\infty)V \end{cases}$$

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

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

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

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

1. Knickpunkt: $U_{ers} = 0V$

$$I_{D1} = 0mA$$

$$I_{D2} = 0mA$$

$$\text{daraus folgt } I_{ers} = 0mA$$

2. Knickpunkt: $U_{ers} = 0,5V$

$$I_{D1} = 4mS \times 0,5V = 2mA$$

$$I_{D2} = 2mS \times 0,5V = 1mA$$

$$\text{daraus folgt: } I_{ers} = 2mA + 1mA = 3mA$$

3. Knickpunkt: $U_{ers} = 1V$

$$I_{D1} = 26mS \times 1V - 11mA = 15mA$$

$$I_{D2} = 2mS \times 1V = 2mA$$

$$\text{daraus folgt: } I_{ers} = 15mA + 2mA = 17mA$$

4. Quasi-Endpunkt: $U_{ers} = 2V$

$$I_{D1} = 26mS \times 2V - 11mA = 41mA$$

$$I_{D2} = 20mS \times 2V - 18mA = 22mA$$

$$\text{daraus folgt: } I_{ers} = 41mA + 22mA = 63mA$$

3. Bestimmung der math. Funktion der Ersatzkennlinie der Halbleiterdioden (Abb.12)

Die Kennlinie wurde 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:

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

Ersatzkennlinie

1. Geradenabschnitt $U \in [0; 0,5]V$, $I \in [0; 3]mA$

$$a = 3mA / 0,5V = 6mS \quad b = 0$$

2. Geradenabschnitt $U \in [0,5; 1]V$, $I \in [3; 17]mA$

$$a = (17mA - 3mA) / (1V - 0,5V) = 14mA / 0,5V = 28mS \\ b = 17mA - 28mS \times 1V = 17mA - 28mA = -11mA$$

3. Geradenabschnitt $U \in [1; 2]V$, $I \in [17; 63]mA$

$$a = (63mA - 17mA) / (2V - 1V) = 46mA / 1V = 46mS \\ b = 63mA - 46mS \times 2V = 63mA - 92mA = -29mA$$

4. gesamte Kennlinie

$$I_{ers} = f(U_{ers}) = \begin{cases} 6mS \times U_{ers} & \text{für } U_{D1} \in [0; 0,5]V \\ 28mS \times U_{ers} - 11mA & \text{für } U_{D1} \in [0,5; 1]V \\ 46mS \times U_{ers} - 29mA & \text{für } U_{D1} \in [1; \infty)V \end{cases}$$

4. Bestimmung der

Gesamtspannung und des Gesamtstroms

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

Bestimmung der Geradengleichung der Widerstandskennlinie:

1. Geradenabschnitt $U \in [0; 3]V$, $I \in [60; 0]mA$

$$a = (0mA - 60mA) / (3V - 0V) = -60mA / 3V = -20mS \\ b = 0mA - (-20mS \times 3V) = 60mA$$

$$I_R = f(U_R) = -20mS \times U_R + 60mA \quad \text{für } U_R \in [0; 3]V$$

Bestimmung des Schnittpunktes der Widerstandsgeraden mit der Ersatzkennlinie:

$$I_{ges} = f(U_{ges}) = I_R = f(U_R) = I_A = f(U_A)$$

Die Berechnung für alle 3 Intervalle der Ersatzkennlinie und der Vergleich der Ergebnisse ergibt, daß der gültige Schnittpunkt im 3. Teil der Kennlinie (3. Intervall) liegen muß. Hier nur die Berechnung des gültigen Intervalls.

$$I_A = 46mS \times U_A - 29mA = -20mS \times U_A + 60mA \\ (46mS + 20mS) \times U_A = 29mA + 60mA \\ 66mS \times U_A = 89mA$$

$$U_A = 89mA / 66mS = 1,348V \approx 1,35V$$

$$I_A = 46mS \times 1,348V - 29mA = 62,008mA - 29mA = 33,008mA \approx 33mA$$

Bestimmung des Stromes durch die Diode 1 durch Einsetzen von U_A in die Kennliniengleichungen.

Die Berechnung für die 2 Intervalle der Ersatzkennlinie und der Vergleich der Ergebnisse ergibt, daß der gültige Schnittpunkt im 2. Teil der Kennlinie (2. Intervall) liegen muß. Hier nur die Berechnung des gültigen Intervalls.

$$I_{D1A}=f(U_A)=26\text{mS} \times 1,348\text{V} - 11\text{mA} = 35,048\text{mA} - 11\text{mA} = \mathbf{24,048\text{mA} \approx 24\text{mA}}$$

Bestimmung des Stromes durch die Diode 2 durch Einsetzen von U_A in die Kennliniengleichungen.

Die Berechnung für die 2 Intervalle der Ersatzkennlinie und der Vergleich der Ergebnisse ergibt, daß der gültige Schnittpunkt im 2. Teil der Kennlinie (2. Intervall) liegen muß. Hier nur die Berechnung des gültigen Intervalls.

$$I_{D2A}=f(U_A)=20\text{mS} \times 1,348\text{V} - 18\text{mA} = 26,96\text{mA} - 18\text{mA} = \mathbf{8,96\text{mA} \approx 9\text{mA}}$$

Probe: (genau) $I_A = I_{D1A} + I_{D2A} = 20,048\text{mA} + 8,96\text{mA} = \mathbf{33,008\text{mA}}$

dieselben Werte können (nicht so genau) aus der Ersatzkennlinie abgelesen werden (Abb. 13)

Bestimmung der Spannung und des Stromes über den Widerstand im Arbeitspunkt

$$U_R = U_E - U_A = 3\text{V} - 1,35\text{V} = \mathbf{1,65\text{V}}$$

$$I_R = I_A = \mathbf{33\text{mA}}$$

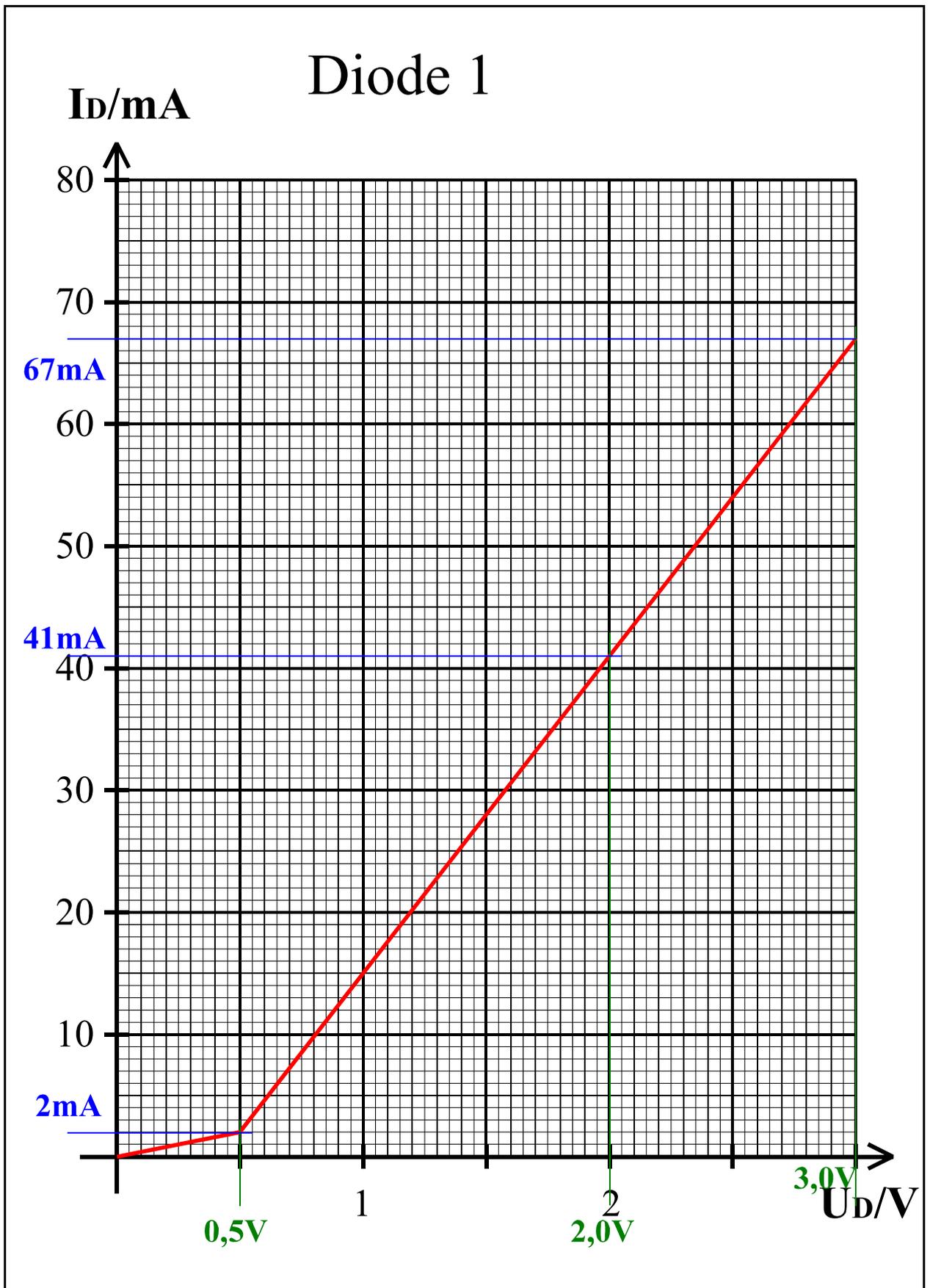


Abb. 11

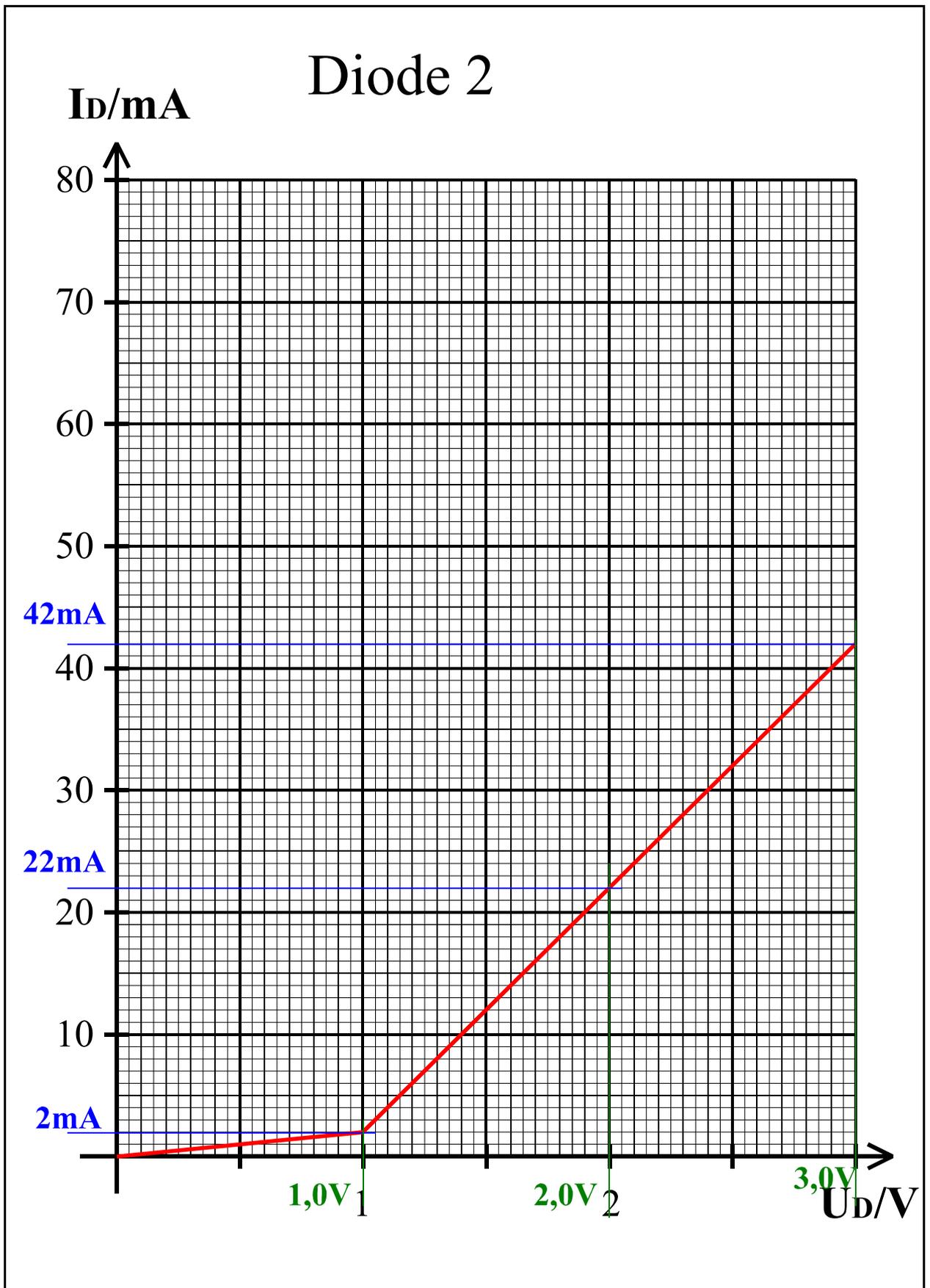


Abb. 12

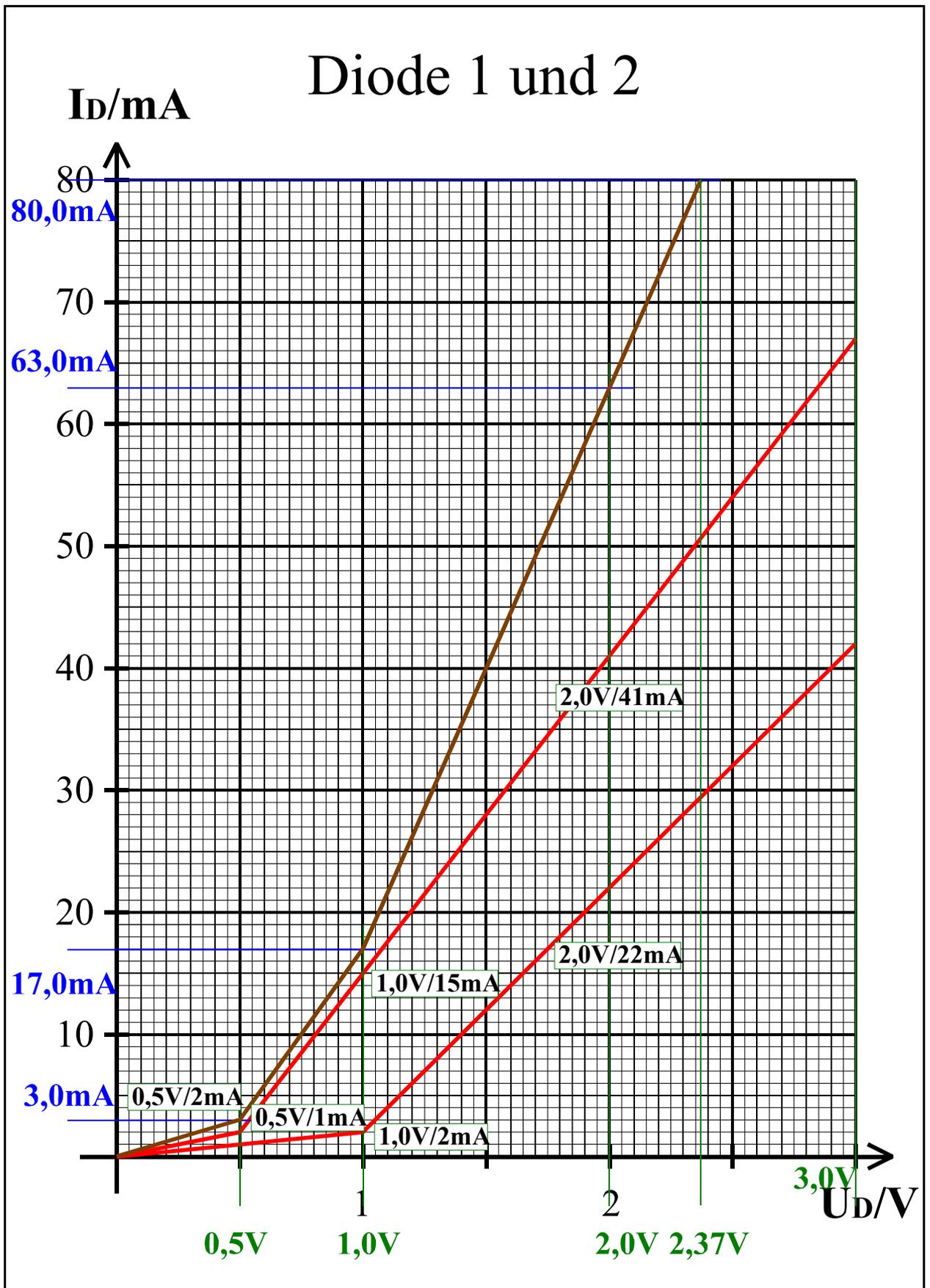


Abb. 13

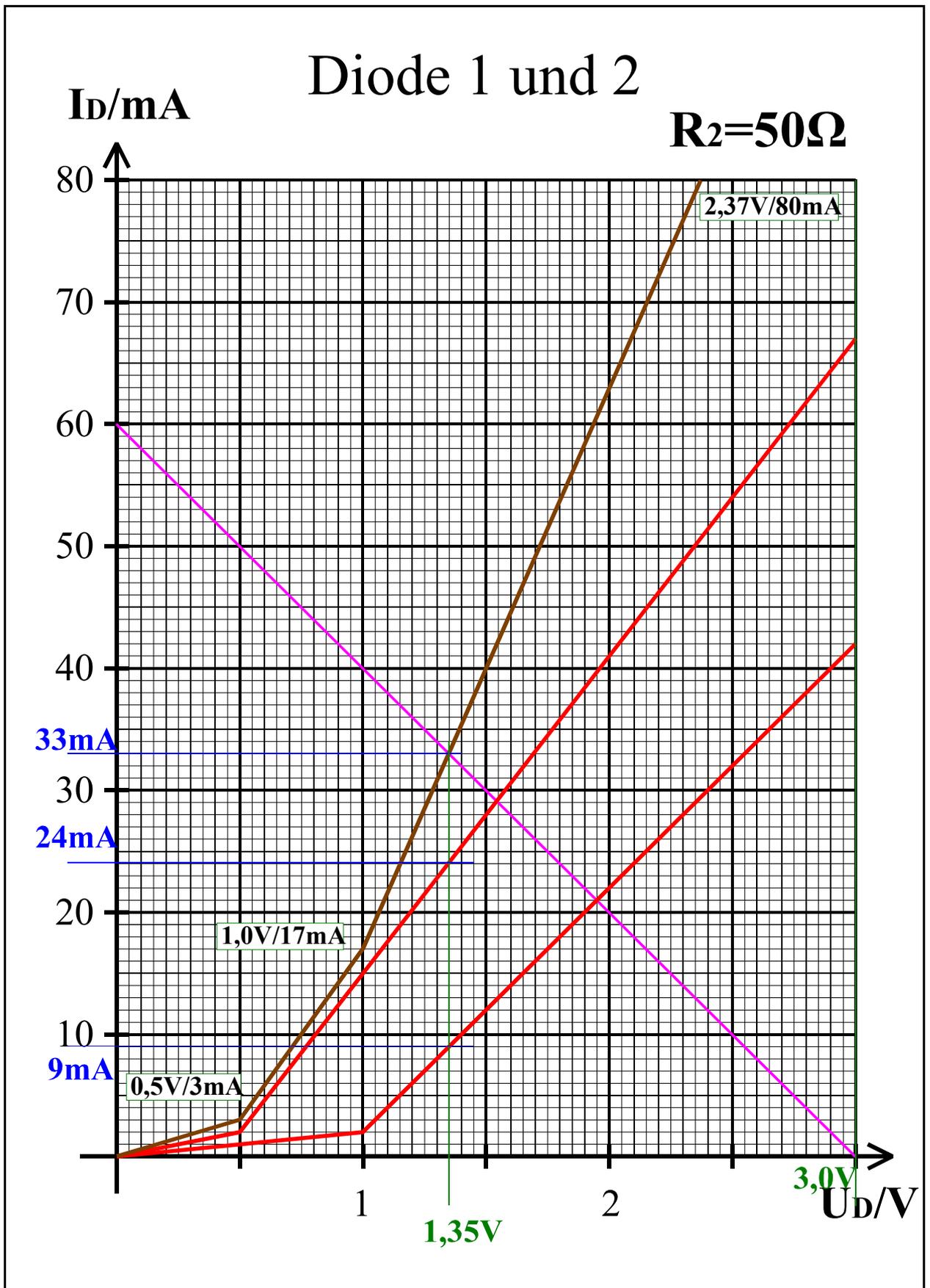


Abb. 14

Lösung: Aufgabe 2.3.2.

Berechnung einer Transistorschaltung

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

$$U_{CEA} = U_B / 2 = 6V / 2 = 3V$$
$$U_{RL} = U_B - U_{CEA} = 6V - 3V = 3V \quad I_{RL} = I_{CA} = 40mA$$
$$R_L = U_{RL} / I_{RL} = 3V / 40mA = \mathbf{75\Omega}$$

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

$$U_B = 6V \quad I_{max} = 80mA$$
$$R_L = U_B / I_{max} = 6V / 80mA = \mathbf{75\Omega}$$

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

$$B_A = I_{CA} / I_{BA} = 40mA / 200\mu A = \mathbf{200}$$

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

$$I_{Cmin} = \mathbf{20,4mA} \quad I_{Cmax} = \mathbf{59,6mA}$$
$$\Delta I_C = I_{Cmax} - I_{Cmin} = 59,6mA - 20,4mA = \mathbf{39,2mA}$$

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. Dies resultiert aus dem 180° Phasenwinkel zwischen Kollektorstrom und Kollektorspannung.

6.4. Bestimmung des Scheitelwertes des Kollektorwechselstroms und der Zeitfunktion

$$I_C=I_{Cmax}-I_{CA}=59,6mA-40mA=19,6mA \quad \text{oder} \quad I_C=I_{CA}-I_{Cmin}=40mA-20,4mA=19,6mA$$

$$i_C(t)=I_C \sin(\omega t + \varphi) = 19,6mA \sin(314s^{-1}t)$$

auch richtig, nicht Bestandteil der Aufgabenstellung:

$$i_{Cges}(t)=i_C(t)+I_A=I_C \sin(\omega t + \varphi) + I_A = 19,6mA \sin(314s^{-1}t) + 40mA$$

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)*

$$B_{wechsel} = I_C / I_B = 19,6mA / 100\mu A = 196 \quad \text{für symmetrische Ausgangsspannung}$$

$$B_{wechsel} = \Delta I_C / \Delta I_B = 39,2mA / 200\mu A = 196 \quad \text{für symmetrische- und unsymmetrische Ausgangsspannung}$$

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.

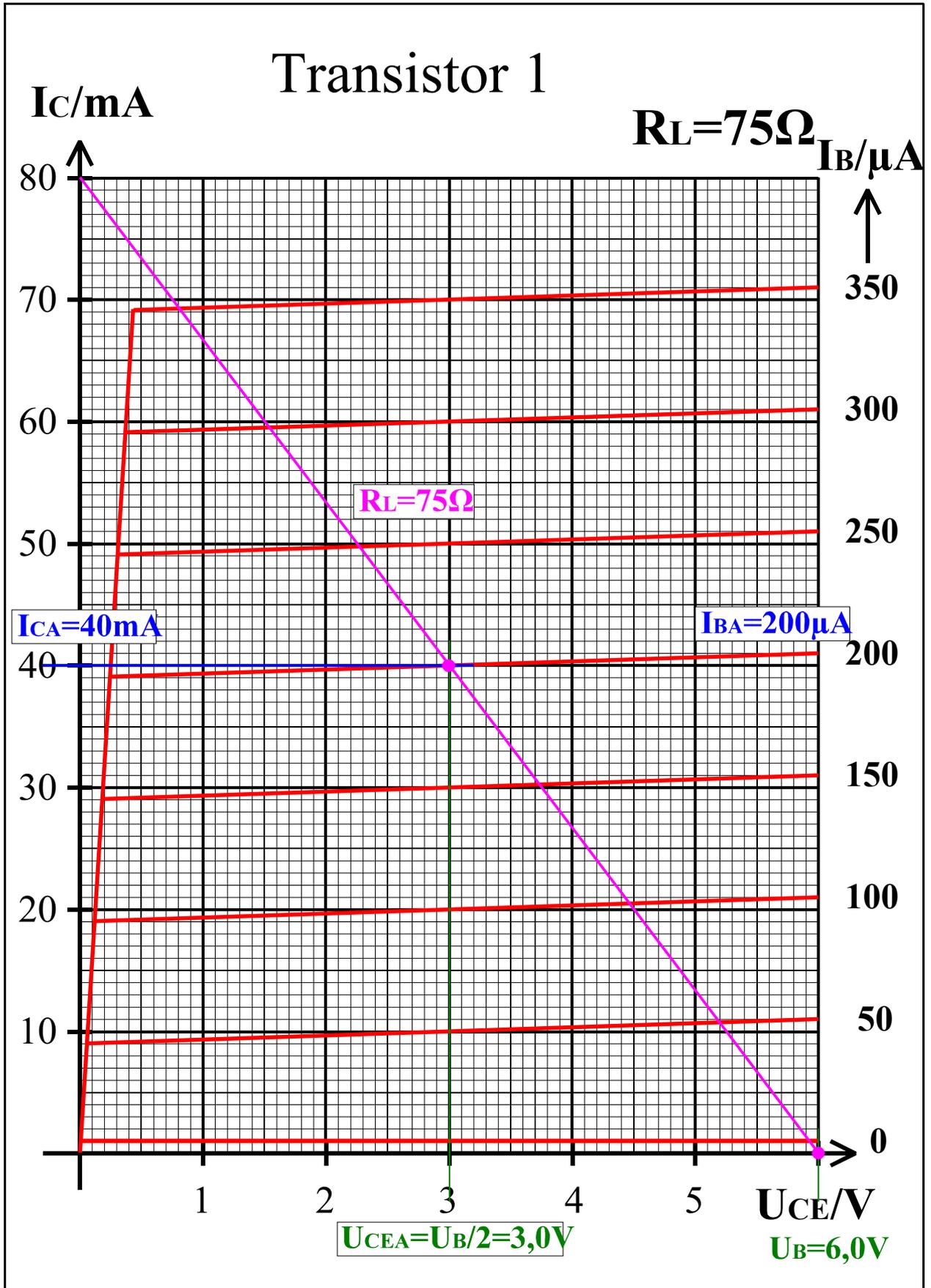


Abb. 15

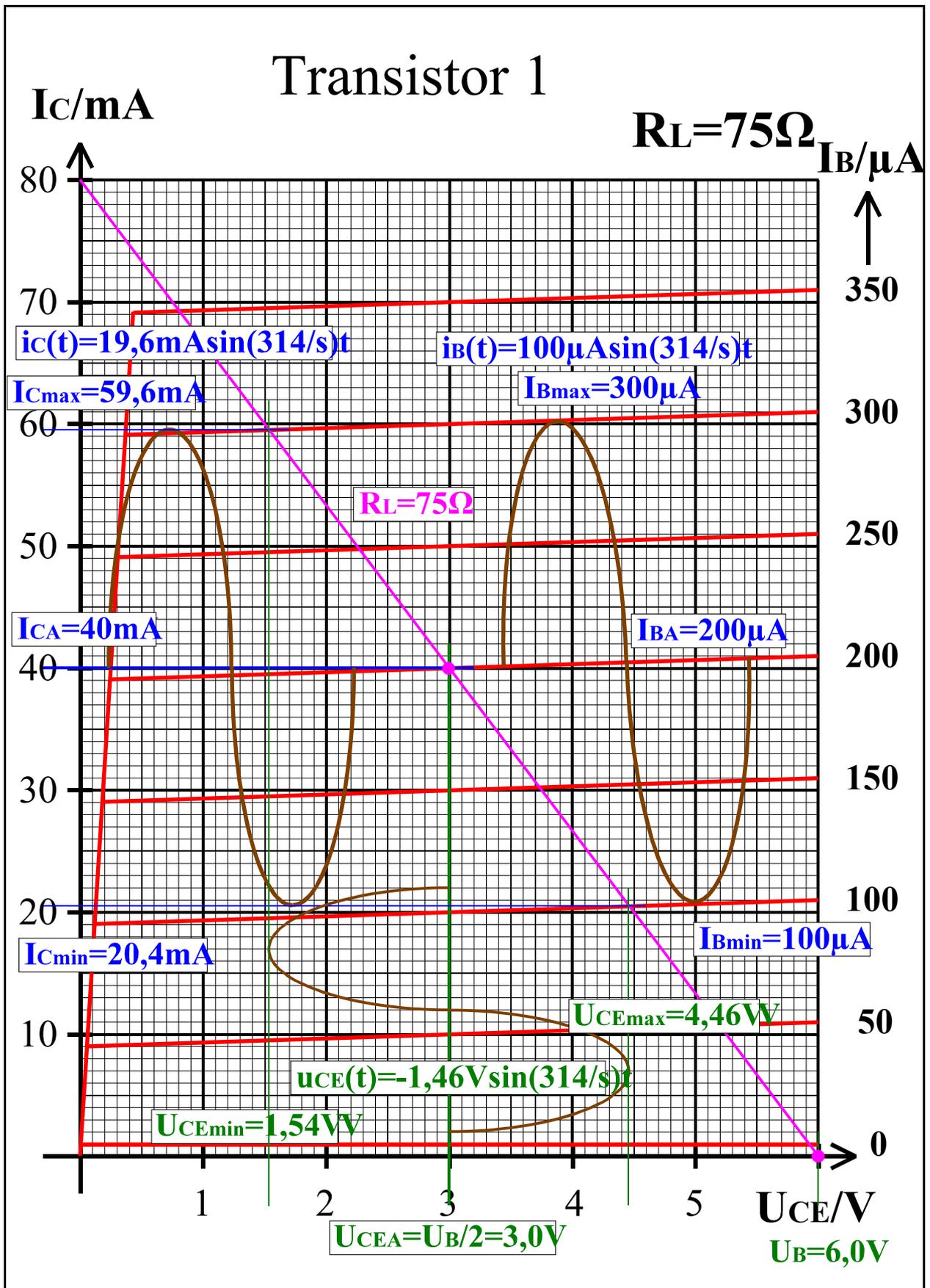


Abb. 16