



Leseprobe

Arnold Führer, Klaus Heidemann, Wolfgang Nerreter

Grundgebiete der Elektrotechnik

Band 3: Aufgaben

ISBN (Buch): 978-3-446-44268-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-44337-2

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-44268-9>

sowie im Buchhandel.

*Die Übung ist in allem
beste Lehrerin der Sterblichen.*
EURIPIDES (ca. 480 – 407 v. Chr.): „Andromache“

Vorwort

Was der „alte Grieche“ vor mehr als zwei Jahrtausenden formulierte, gilt unverändert auch für die Sterblichen des 21. Jahrhunderts n. Chr. Deshalb ergänzt dieser Aufgabenband, der nun in der 3. Auflage vorliegt, unser zweibändiges Lehrbuch.

Stellt man Anfängern eine Aufgabe, so suchen sie oft nach einer „passenden Formel“, welche die Lösungsgröße enthält. Sie meinen vielfach, mit einer umfangreichen Formelsammlung könnten sie jede Aufgabe ohne eigene Anstrengung lösen. Dies mag auf triviale Problemstellungen zutreffen, wenn man z. B. aus Querschnitt und Länge eines Drahtes seinen Widerstand berechnen soll; auf so etwas haben wir im Band 3 jedoch verzichtet.

Die hier gebrachten Aufgaben bauen zwar auf den im Lehrbuch erworbenen Kenntnissen auf, haben aber meist einen gehobenen Schwierigkeitsgrad und erfordern eine planmäßige Lösungssuche über mehrere Schritte. Die Aufgabenstellungen und ihre Lösungen sind abschnittsweise voneinander getrennt, weil schon ein kurzer absichtsloser Blick auf die Lösung einen entscheidenden Hinweis geben und so die Selbstständigkeit der Arbeit verhindern kann.

Die Lösungswege sind ausführlicher dargestellt als dies bei den etwa 300 Aufgaben in den Bänden 1 und 2 aus Platzgründen möglich war. Durch Sachworte können die Studierenden Lösungshilfen aus den Bänden 1 und 2 erhalten. Genauere Bezüge haben wir vermieden, weil ein Nachschlagen im Lehrtext den Lernprozess fördert.

Wir haben versucht, Aufgaben zu stellen, die zu problemorientiertem Denken anregen. So oft wie möglich werden dabei Praxisbezüge zu verschiedenen Gebieten der Elektrotechnik hergestellt, z. B. zur Funktion eines Rauchmelders, zum „Elektrosmog“ unter einer Hochspannungsleitung oder zu den Dauermagneten in einem modernen Windkraftgenerator.

Um bestimmte Aufgaben leichter wiederfinden zu können, haben wir darin vorkommende Begriffe in einem kurzen Sachwortverzeichnis zusammengefasst.

Algebraische Umformungen, das Lösen von Gleichungssystemen oder das Differenzieren und Integrieren von Funktionen werden nicht mehr ausführlich erklärt. Die Lösung mathematischer Probleme ist mit einem leistungsfähigen Mathematikprogramm wie z. B. MATLAB möglich. An einigen Stellen wird gezeigt, wie man die Lösung mit MATLAB erhalten kann.

Im Lösungsweg geben wir gerundete Zwischenwerte an, intern wird jedoch 16-stellig gerechnet. Beim Weiterrechnen mit den Zwischenwerten können deswegen geringe Abweichungen von unseren Ergebnissen entstehen.

Der Übungsbetrieb an Hochschulen leidet oft unter zu großer Passivität der Studierenden; die Aufgaben werden deswegen zu schnell vorgerechnet. Es hat sich bewährt, geeignete Aufgaben aus dem vorliegenden Band einer Kleingruppe von optimal drei Studierenden als „Mini-Projekt“ zum Vortrag in der folgenden Übung aufzugeben. Dies führt zu verstärkter Motivation und zu erheblichen Lernfortschritten bei der Gruppe, auch wenn sie den Lösungsweg nur nachgearbeitet und ausführlicher gestaltet haben.

Wir wünschen uns, dass diese Aufgabensammlung für Lehrende und Lernende hilfreich sein möge, und sind wie immer dankbar für Anregungen, Kritik und Fehlermeldungen.

Im Internet unter www.elektrotechnik-buch.de sind Informationen und Hinweise zu allen drei Bänden unseres Lehrwerks zu finden.

Dem Carl Hanser Verlag danken wir für die gute Zusammenarbeit und insbesondere Frau Franziska Jacob, M. A. für die Betreuung des Projektes.

Lemgo, 2014

Die Verfasser

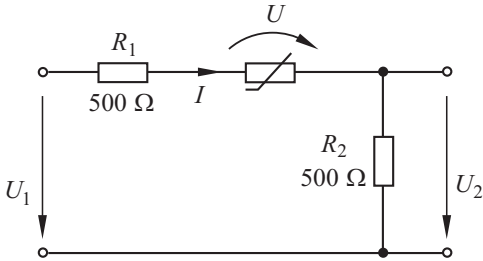
Inhaltsverzeichnis

1 Netze mit linearen Eintoren an Gleichspannung	7
Aufgaben 1.1 - 1.15	7
Lösungen 1.1 - 1.15	11
2 Netze mit nichtlinearen Eintoren an Gleichspannung	21
Aufgaben 2.1 - 2.5	21
Lösungen 2.1 - 2.5	24
3 Netze mit linearen Zweitoren an Gleichspannung	29
Aufgaben 3.1 - 3.13	29
Lösungen 3.1 - 3.13	33
4 Netze mit nichtlinearen Zweitoren an Gleichspannung	44
Aufgaben 4.1 - 4.4	44
Lösungen 4.1 - 4.4	46
5 Netze an Sinusspannung konstanter Frequenz	51
Aufgaben 5.1 - 5.15	51
Lösungen 5.1 - 5.15	55
6 Netze an Sinusspannung variabler Frequenz	66
Aufgaben 6.1 - 6.16	66
Lösungen 6.1 - 6.16	70
7 Drehstrom-Schaltungen	87
Aufgaben 7.1 - 7.5	87
Lösungen 7.1 - 7.5	88
8 Schaltvorgänge	92
Aufgaben 8.1 - 8.11	92
Lösungen 8.1 - 8.11	95
9 Nichtsinusförmige Größen	107
Aufgaben 9.1 - 9.10	107
Lösungen 9.1 - 9.10	110
10 Elektrische Felder	120
Aufgaben 10.1 - 10.10	120
Lösungen 10.1 - 10.10	123
11 Magnetische Felder	135
Aufgaben 11.1 - 11.16	135
Lösungen 11.1 - 11.16	143
Sachwortverzeichnis	160

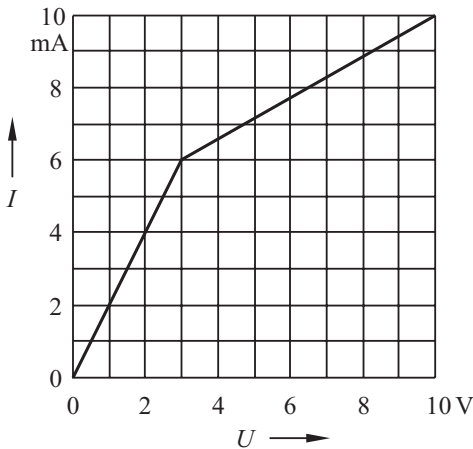
2 Netze mit nichtlinearen Eintoren an Gleichspannung

Aufgabe 2.1

In der Schaltung befindet sich ein nichtlineares Eintor.



Die I - U -Kennlinie des nichtlinearen Eintors wird durch zwei Geraden angenähert.

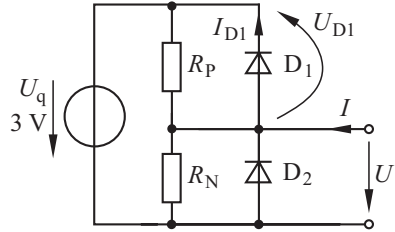


- 1) Welchen Wert hat die Ausgangsspannung U_2 bei der Eingangsspannung $U_1 = 5$ V?
- 2) Zeichnen Sie die Übertragungskennlinie $U_2 = f(U_1)$ des Netzwerks für $0 \leq U_1 \leq 12$ V.
- 3) Bestimmen Sie für die beiden linearen Teilbereiche der Kennlinie $I = f(U)$ jeweils ein lineares Ersatzteintor und zeichnen Sie dieses in die Schaltung ein.

Aufgabe 2.2

Die Ein- und Ausgänge von integrierten CMOS-Schaltungen werden durch Dioden vor Überspannungen geschützt. Das Bild zeigt die Ersatzschal-

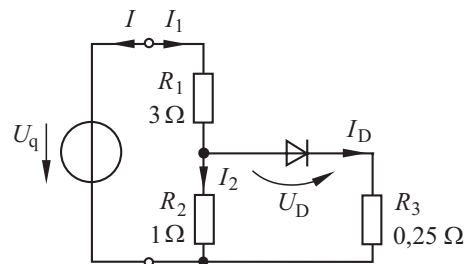
tung eines Ausgangs ($U_q; R_P; R_N$) mit den Dioden. Die I - U -Kennlinie jeder Diode wird durch zwei Geradenabschnitte angenähert, und zwar durch einen mit $I_D = 0$ für $U_D \leq 0,6$ V und einen anschließenden, linear ansteigenden durch den Punkt $I_D = 10$ mA bei $U_D = 0,75$ V.



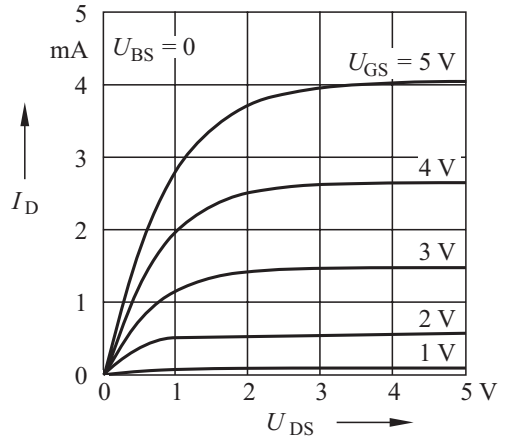
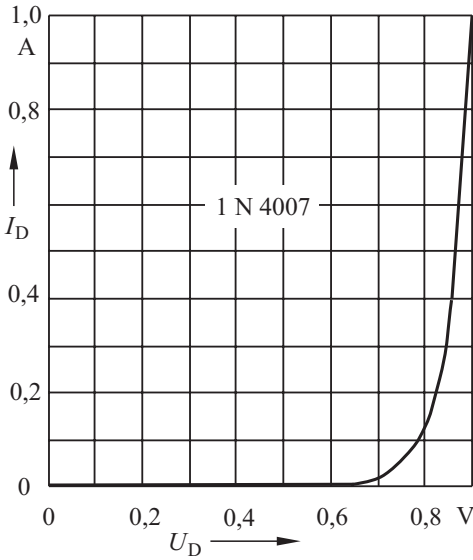
- 1) Bestimmen Sie die I - U -Kennlinie des Eintors für die Ausgabe des Signalwerts HIGH ($R_P = 1$ k Ω ; $R_N \rightarrow \infty$).
- 2) Bestimmen Sie die I - U -Kennlinie des Eintors für die Ausgabe des Signalwerts LOW ($R_P \rightarrow \infty$; $R_N = 1$ k Ω).
- 3) Durch einen Schaltungsfehler wird der CMOS-Ausgang mit einer linearen Gleichspannungsquelle ($U_{q1} = 6$ V; $R_{i1} = 215$ Ω) in Gegenreihenschaltung verbunden. Untersuchen Sie, ob dabei der maximal zulässige Diodenstrom 10 mA überschritten wird.

Aufgabe 2.3

Zum Widerstand R_3 ist eine Diode 1N4007 in Reihe geschaltet.



- 1) Ermitteln Sie für $U_q = 3,6$ V den Arbeitspunkt der Diode.

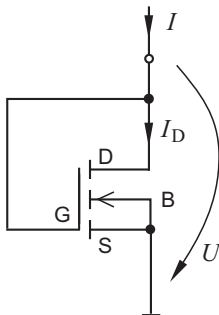


2) Berechnen Sie die Leistungen sämtlicher Bauelemente.

3) Die Quellenspannung ändert sich im Bereich $5,2 \text{ V} \leq U_q \leq 6,8 \text{ V}$. Bestimmen Sie die Daten der linearen Ersatzquelle, durch welche die Diode im Durchlassbereich annähernd ersetzt werden kann. Berechnen Sie mithilfe dieser Ersatzschaltung die Werte von I_D und U_D für die Quellenspannung $U_q = 6 \text{ V}$.

Aufgabe 2.4

In integrierten Schaltungen wird statt einer Diode ein MOS-Transistor verwendet, dessen Gate mit Drain verbunden ist.

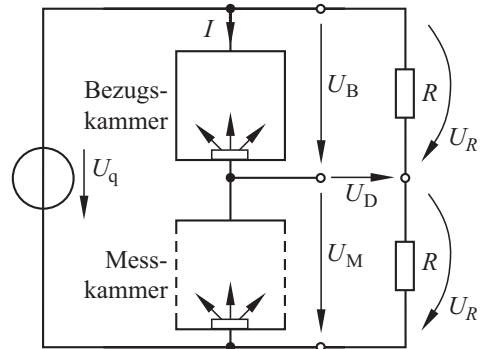


1) Bestimmen Sie die I - U -Kennlinie des nichtlinearen Eintors für $U \geq 0$.

2) Sperrt die Schaltung bei negativen Spannungswerten, wie das bei einer Diode der Fall ist?

Aufgabe 2.5

Ein **Ionisations-Rauchmelder** enthält zwei Kammern, die mit Luft gefüllt sind. In jeder Kammer ionisiert ein radioaktives Präparat die Gasmoleküle und erzeugt dadurch Elektronen und Ionen; die Kammer wird deshalb als Ionisationskammer bezeichnet.



Wird an eine derartige Kammer eine Spannung gelegt, so entsteht eine Gasentladung und es fließt ein Strom.

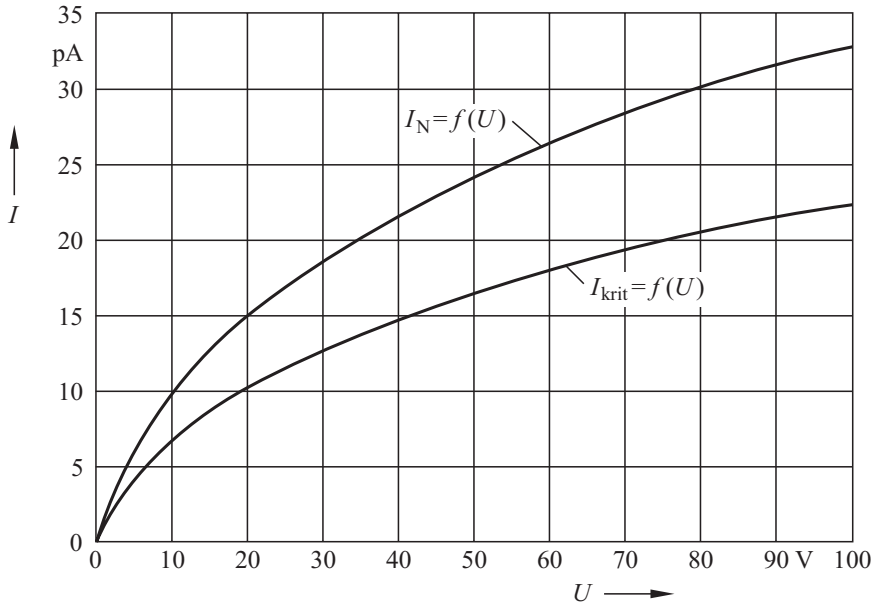
Die I - U -Kennlinie der Ionisationskammer ist nichtlinear: Der Strom strebt mit steigender Spannung einem Sättigungswert zu, weil die Zahl der Ladungen begrenzt ist, die in einer Zeitspanne vom radioaktiven Präparat erzeugt werden.

Im Normalbetrieb (also ohne Raucheinfluss) hat die Kammer die Kennlinie $I_N = f(U)$. Gelangen Rauchpartikel in die Kammer, so verschiebt sich die Kennlinie zu kleineren Stromstärken, was z. B. schon durch Zigarettenrauch geschehen kann. Sinkt die Kennlinie auf den kritischen Verlauf $I_{krit} = f(U)$, so ist die Raumentwicklung so stark, dass ein Brand angenommen werden kann.

Im Rauchmelder werden zwei gleiche Ionisationskammern in einer Brückenschaltung an der Gleichspannung $U_q = 100\text{ V}$ betrieben. Die eine Kammer ist gegen die Umgebungsluft abgeschlossen; sie hat als Bezugskammer stets die

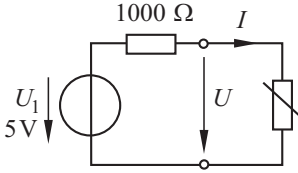
Kennlinie $I_N = f(U)$. Die andere steht als Messkammer mit der Luft des zu überwachenden Raumes in Verbindung; im Normalfall hat auch sie die Kennlinie $I_N = f(U)$. Tritt jedoch so viel Rauch ein, dass die Kennlinie $I_{krit} = f(U)$ erreicht wird, so wird ein Alarm ausgelöst. Das Signal hierfür lässt sich z. B. aus der Diagonalspannung U_D gewinnen.

Bestimmen Sie die Diagonalspannung U_D für Leerlauf an den Klemmen sowie zusätzlich den Kammerstrom I und die Spannung U_M an der Messkammer für den Normalfall und für den Alarmfall.

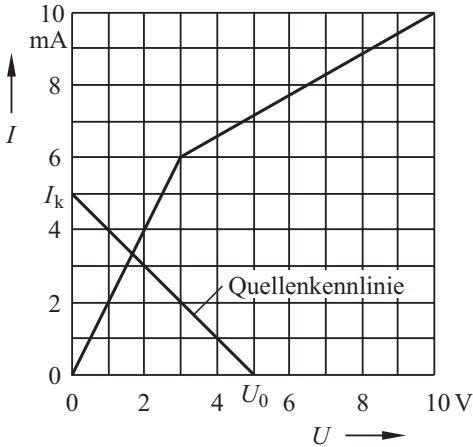


Lösung 2.1

1) Wir fassen die beiden OHMSchen Widerstände mit der Eingangsspannung $U_1 = 5\text{ V}$ zu einer linearen Ersatzspannungsquelle zusammen.



Durch ihre Leerlaufspannung $U_0 = 5\text{ V}$ und den Kurzschlussstrom $I_k = 5\text{ V} / 1000\ \Omega = 5\text{ mA}$ ist ihre Kennlinie gegeben, die wir mit der I - U -Kennlinie des nichtlinearen Eintors zum Schnitt bringen.



Wir lesen den Strom im Schnittpunkt ab:

$$I|_{U_1=5\text{ V}} \approx 3,3\text{ mA}$$

Damit berechnen wir die Ausgangsspannung, die am Widerstand R_2 abfällt:

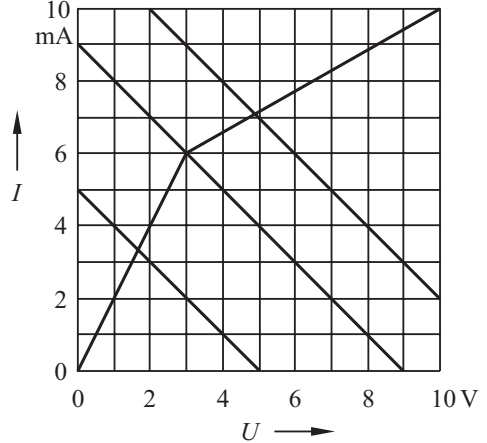
$$U_2|_{U_1=5\text{ V}} = R_2 I = 1,65\text{ V}$$

2) Die Erhöhung der Eingangsspannung entspricht einer Parallelverschiebung der Ersatzquellenkennlinie in Richtung der U -Achse.

Dabei wandert der Arbeitspunkt des nichtlinearen Eintors im ersten linearen Teilbereich bis zum

Knickpunkt, der bei $U_1 = 9\text{ V}$ erreicht wird; dort lesen wir den Strom $I = 6\text{ mA}$ ab und berechnen:

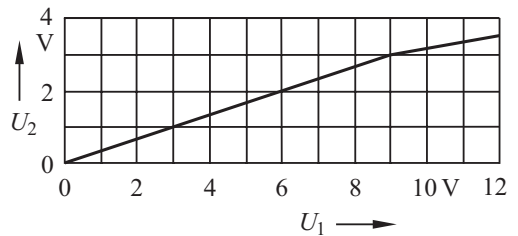
$$U_2|_{U_1=9\text{ V}} = R_2 I = 3\text{ V}$$



Von diesem Punkt (3 V; 6 mA) an verläuft die Kennlinie flacher. Für die Spannung $U_1 = 12\text{ V}$ lesen wir den Strom $I \approx 7,1\text{ mA}$ ab und berechnen:

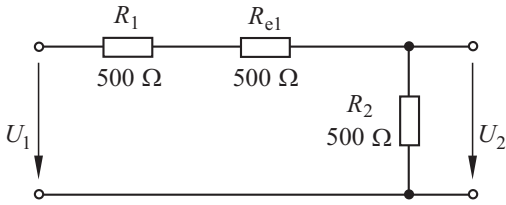
$$U_2|_{U_1=12\text{ V}} = R_2 I = 3,55\text{ V}$$

Mit diesen berechneten Werten zeichnen wir die Übertragungskennlinie.



3) Die I - U -Kennlinie des nichtlinearen Eintors entspricht im ersten Teilbereich ($0 \leq U \leq 3\text{ V}$) der linearen Kennlinie eines OHMSchen Widerstandes:

$$R_{e1} = \frac{3\text{ V}}{6\text{ mA}} = 500\ \Omega$$

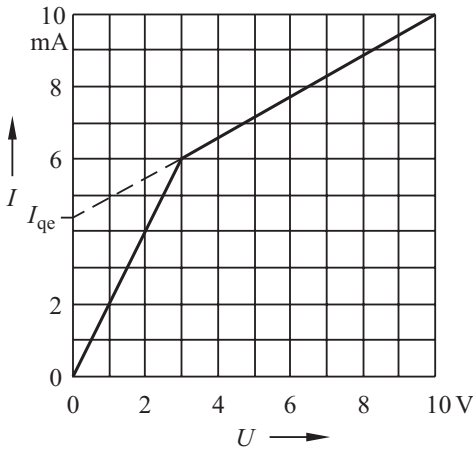


Der zweite Teilbereich entspricht der Kennlinie einer linearen Quelle, die wir als Stromquelle ansehen. Ihr Innenleitwert ergibt sich aus der Steigung der Kennlinie:

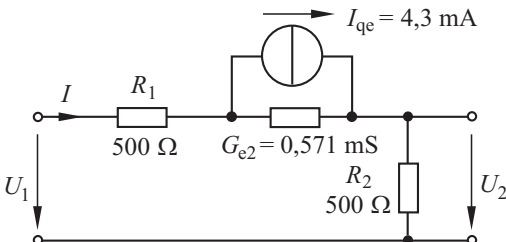
$$G_{e1} = \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{4 \text{ mA}}{7 \text{ V}} = 0,571 \text{ mS}$$

Wir verlängern die Kennlinie bis zur I -Achse und lesen dort den Quellenstrom ab:

$$I_{qe} \approx 4,3 \text{ mA}$$

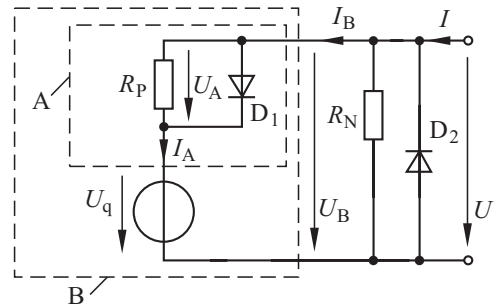


Damit erhalten wir die Ersatzschaltung für den zweiten Teilbereich, bei dem die Spannung Werte $U \geq 3 \text{ V}$ annimmt.

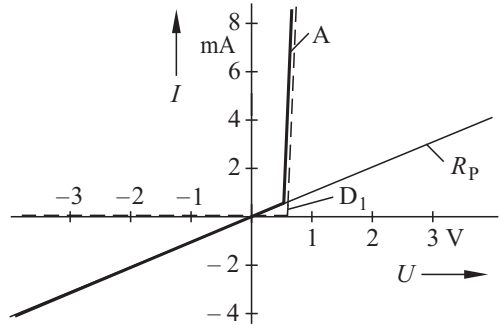


Lösung 2.2

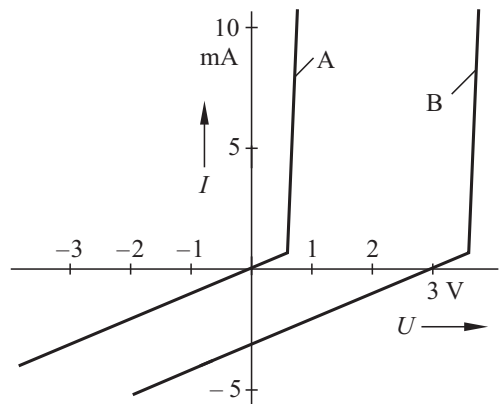
1) Zunächst fassen wir die Diode D_1 und den Widerstand R_p zum Eintor A zusammen.



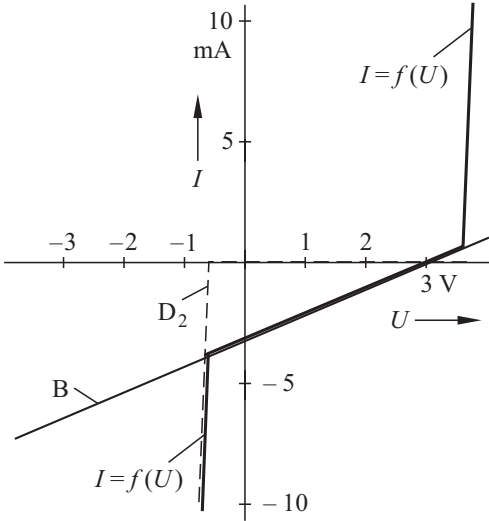
Danach bestimmen wir grafisch die Kennlinie $I_A = f(U_A)$.



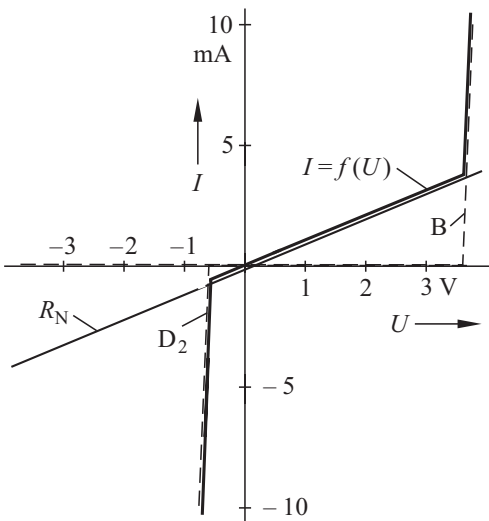
Anschließend fassen wir die ideale Quelle und das Eintor A zum Eintor B zusammen. Die Kennlinie $I_B = f(U_B)$ ist gegen die Kennlinie $I_A = f(U_A)$ um $U_q = 3 \text{ V}$ verschoben.



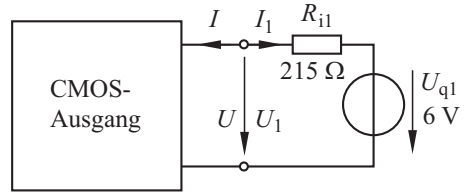
Dem Eintor B ist die Diode D_2 parallel geschaltet; der Widerstand R_N hat keinen Einfluss. Wir bestimmen hierfür die Strom-Spannungs-Kennlinie $I=f(U)$.



2) Da der Widerstand R_p keinen Einfluss hat, ist die I - U -Kennlinie des Eintors B die um $U_q=3V$ verschobene Kennlinie der Diode D_1 . Dem Zweipol B sind die Diode D_2 und der Widerstand R_N parallel geschaltet. Wir bestimmen die Kennlinie $I=f(U)$ wie bei der Teilaufgabe 1.

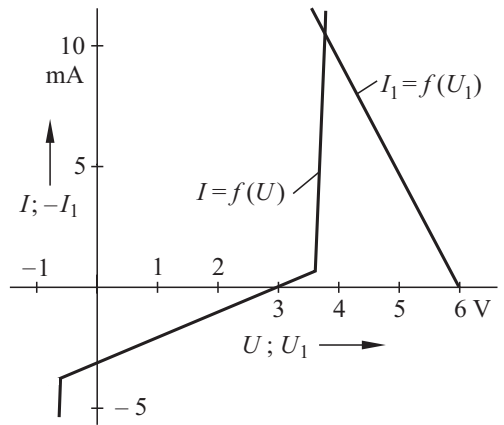


3) Die beiden Eintore sind in Gegen-Reihenschaltung miteinander verbunden.



Da der Kurzschlussstrom $U_{q1}/R_{i1} = 27,9 \text{ mA}$ der Quelle größer ist als der maximal zulässige Strom der Diode, ist eine Gefährdung der Diode nicht ausgeschlossen. Wir bestimmen deshalb den Diodenstrom.

Von den beiden Betriebsarten des Ausgangs ist die mit dem Signalwert HIGH ungünstiger, weil die Stromstärke I_{D1} höher ist. Wir tragen deshalb die I - U -Kennlinie der Quelle in das unter 1) bestimmte Diagramm ein.



Im Arbeitspunkt sind $U \approx 3,75 \text{ V}$ und $I \approx 10,5 \text{ mA}$. Der Strom im Widerstand R_p ist $(U - U_q) / R_p = 0,75 \text{ mA}$, und durch die Diode fließen $9,75 \text{ mA}$; dieser Strom ist zulässig.

Lösung 2.3

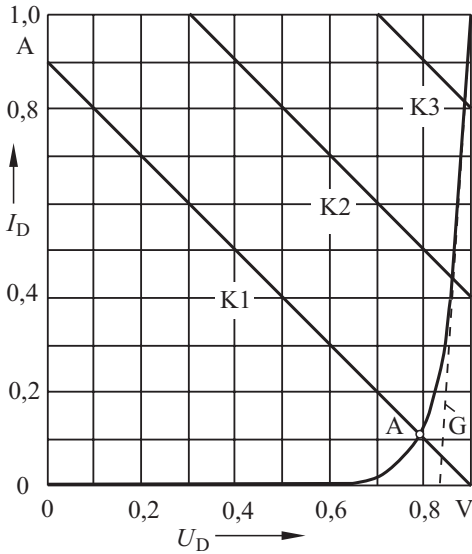
1) Wir schneiden zunächst in Gedanken die Diode aus der Schaltung heraus und ermitteln die Daten der linearen Ersatzspannungsquelle außerhalb der Schnittstelle:

$$R_{ie} = R_3 + \frac{1}{G_1 + G_2} = 1,0 \Omega$$

$$U_{qe} = \frac{U_q R_2}{R_1 + R_2} = 0,9 \text{ V} \tag{1}$$

Der Kurzschlussstrom der Ersatzspannungsquelle ist $I_{ke} = 0,9 \text{ V} / 1 \Omega = 0,9 \text{ A}$. Wir zeichnen die Kennlinie K1 der Ersatzspannungsquelle in das Kennlinienfeld der Diode ein und bestimmen den Arbeitspunkt A als Schnittpunkt mit der Diodenkennlinie; dort lesen wir ab:

$$U_D \approx 0,79 \text{ V}; I_D \approx 0,11 \text{ A}$$



2) Die Verlustleistung der Diode ist:

$$P_D = U_D I_D = 86,9 \text{ mW}$$

Zur Bestimmung der Leistungen der übrigen Bauelemente berechnen wir:

$$U_2 = U_D + I_D R_3 = 0,818 \text{ V}$$

$$I_2 = U_2 / R_2 = 0,818 \text{ A}; I_1 = I_2 + I_D = 0,928 \text{ A}$$

Die Leistungen der Widerstände betragen:

$$P_1 = R_1 I_1^2 = 2,58 \text{ W}; P_2 = 0,668 \text{ W}; P_3 = 3 \text{ mW}$$

Die Leistung der Quelle ist:

$$P_q = U_q I = U_q \cdot (-I_1) = -3,34 \text{ W}$$

Wie das Vorzeichen zeigt, wirkt die Quelle aktiv.

3) Durch die Änderung der Quellenspannung wird die Kennlinie der Ersatzquelle parallel verschoben, da sämtliche Widerstände unverändert bleiben.

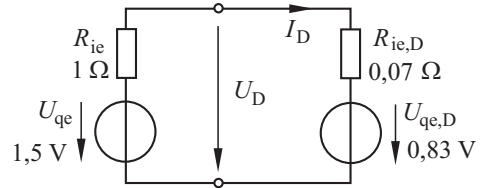
Nach Gl. (1) ist $U_{qe} = U_q / 4$; die Spannung der Ersatzquelle ändert sich also im Bereich $1,3 \text{ V} \leq U_{qe} \leq 1,7 \text{ V}$. Dies entspricht einer Verschiebung der Kennlinie um jeweils 4 Teilstriche; wir erhalten so die Kennlinien K2 und K3.

Die Diodenkennlinie kann zwischen K2 und K3 durch die Gerade G (s. Bild) angenähert werden. Diese lässt sich als Kennlinie einer im passiven Bereich mit $U > U_0$ betriebenen linearen Spannungsquelle auffassen.

Die Gerade G schneidet die U -Achse bei der Dioden-Ersatzquellenspannung $U_{qe,D} \approx 0,83 \text{ V}$. Der Ersatzinnenwiderstand ist:

$$R_{ie,D} = \Delta U / \Delta I = 0,07 \text{ V} / 1,0 \text{ A} = 70 \text{ m}\Omega$$

Bei $U_q = 6 \text{ V}$ beträgt die Ersatzquellenspannung $U_{qe} = 6 \text{ V} / 4 = 1,5 \text{ V}$. Die Ersatzquelle liegt in Gegen-Reihenschaltung zur Dioden-Ersatzquelle.



Mit dem Strom

$$I_D = \frac{U_{qe} - U_{qe,D}}{R_{ie} + R_{ie,D}} = 0,626 \text{ A}$$

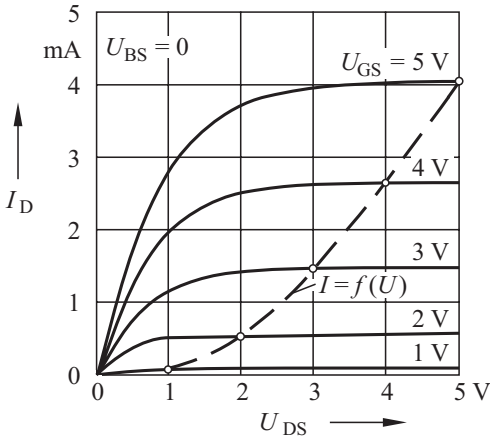
berechnen wir die Spannung an der Diode:

$$U_D = U_{qe,D} + I_D R_{ie,D} = 0,874 \text{ V}$$

Lösung 2.4

1) Der Strom I ist der Drainstrom I_D , da der Gatestrom null ist. Die gesuchte Spannung U ist gleich der Gate-Source-Spannung des Transistors und gleich der Drain-Source-Spannung $U = U_{GS} = U_{DS}$.

Zur Konstruktion der Kennlinie markieren wir auf den Ausgangskennlinien diejenigen Punkte, bei denen $U_{GS} = U_{DS}$ ist, und verbinden diese Punkte.



Lösung 2.5

An jedem der Widerstände R fällt die Spannung $U_R = U_q / 2 = 50 \text{ V}$ ab.

Die beiden Ionisationskammern sind in Reihe geschaltet und werden vom gleichen Strom I durchflossen. Im Normalfall haben beide Kammern gleiche Kennlinien und es ist $U_B = U_M = 50 \text{ V}$. Dabei fließt durch die Ionisationskammern der Strom $I = 24 \text{ pA}$. Die Maschengleichung

$$-U_M + U_D + U_R = 0 \tag{1}$$

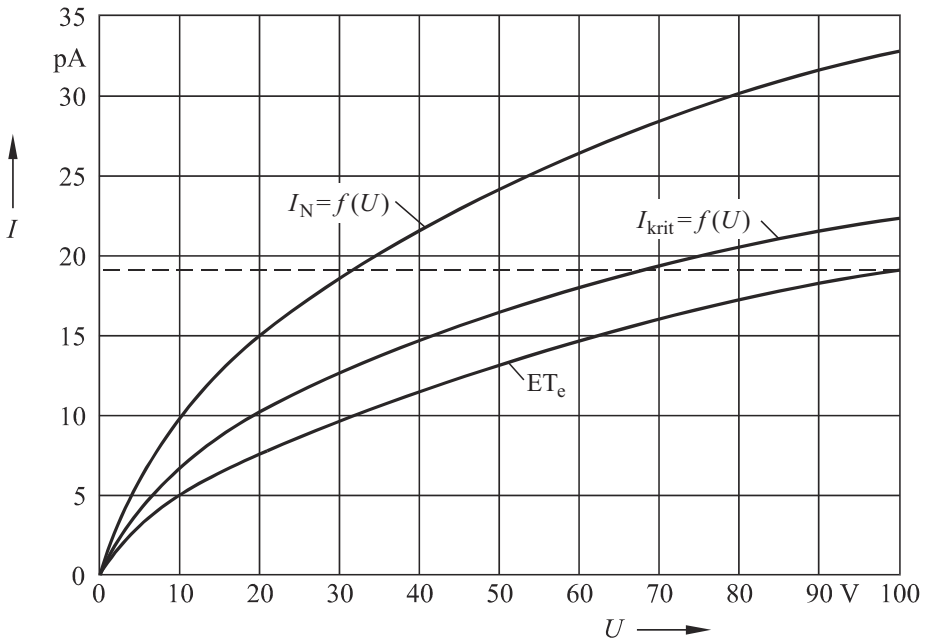
ergibt die Diagonalspannung $U_D = 0 \text{ V}$.

2) Die Drain- und Source-Inseln des N-Kanal-Transistors bilden mit der P-Wanne einen PN-Übergang. Diese Wanne ist mit dem Bulk-Anschluss verbunden. Bei einer negativen Spannung $U < 0$ wird der PN-Übergang leitend und der Strom fließt von Masse über Bulk nach Drain.

Die I - U -Kennlinie entspricht zwar für $U \geq 0$ der Durchlasskennlinie einer Diode, aber das Eintor sperrt nicht bei einer negativen Spannung.

Im Alarmfall sind die I - U -Kennlinien ungleich. Zur Ermittlung des Stromes bestimmen wir zunächst die I - U -Kennlinie des Ersatzteiles ET_e . Wir addieren dazu punktweise die bei gleichem Strom an den Ionisationskammern auftretenden Spannungen.

Bei der Spannung $U = U_q = 100 \text{ V}$ lesen wir an der Kennlinie von ET_e die Stromstärke $I = 19 \text{ pA}$ ab. Die zugehörige Spannung an der Messkammer ist $U_M = 68 \text{ V}$. Mit der Gl. (1) berechnen wir die Diagonalspannung $U_D = 18 \text{ V}$.



Sachwortverzeichnis

Ablenkempfindlichkeit 122
Ablenkplatten 122
Abschaltbedingung 88
Allpass 76
Antialiasingfilter 107

Bandpass 73, 81
Bandsperre 78
Begrenzerschaltung 109
BOUCHEROT-Schaltung 52

CMOS-Schaltung 21, 44

dBm 81
Dielektrikum, geschichtetes 94
Digital-Analog-Umsetzer 10
div 56
division (Oszilloskop) 56
Doppel-T-Filter 67
Drehstromleitung 123, 141

Eigenschwingung 100, 101, 102
Eingangsruehestrom 32
Einpulsschaltung 109
Elektromagnet 136
Erdmagnetfeld 141

Fehlerschleife 88
Fehlerstrom 87
Flachbandkabel 140
Freilaufdiode 93
Freileitung 122

Gegenkopplung 36
Gleichstrommotor 137

HUMMEL-Schaltung 54

Induktivitätsbelag 155
Ionisations-Rauchmelder 22

Kaskodeschaltung 30
Klirrfaktor 107
Koaxialleitung 120
Kollektorschaltung 83
Konstantspannungsquelle 44
Konstantstromquelle 46
Konvektionskoeffizient 94

Leistung, natürliche 91

Magnetisierungskurve 142
Masse 10
Messwerk, elektrodynamisches 54
MILLER-Effekt 85

Nachladeeffekt 94
Netze, äquivalente 69
Netz, duales 97

Offsetspannung 32
Operationsverstärker, idealisierter 31, 32
Oszilloskop 122

PE-Leiter 87
Polynomfilter 68

R-2R-Widerstandsnetzwerk 10
Rauchmelder 22
Relais 135

Schutzleiter 87
Sensor, kapazitiver 122
Spannung, wiederkehrende 94, 106
Spannungsspule 54
Spannungsteilerschaltung 9
Sperrschichttemperatur 45
Spule, planare 140
Stabilisierung 36
Stellwiderstand 8
Stromspiegel 46, 50
Stromspule 54
Stromverdrängung 140

Temperaturmessung 8
TN-Netz 87

Überstrom-Schutzeinrichtung 87
Übertrager 136

Verstärker, invertierender 41
Verstärker, nicht invertierender 42

Wärmekapazität 94
Wärmeleitung 94
Wärmewiderstand 94
Windkraftwerk 137

Zylinderkondensator 125, 127, 128