

# Grundgebiete der Elektrotechnik

Band 3: Aufgaben

Bearbeitet von  
Holger Borcherding, Klaus Heidemann, Wolfgang Nerreter

3., neu bearbeitete Auflage 2015. Buch. 160 S. Hardcover  
ISBN 978 3 446 44268 9  
Format (B x L): 16,8 x 24,3 cm  
Gewicht: 313 g

[Weitere Fachgebiete > Technik > Energietechnik, Elektrotechnik > Elektrotechnik](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.



## 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 Griech“ 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. Genaue 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](http://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

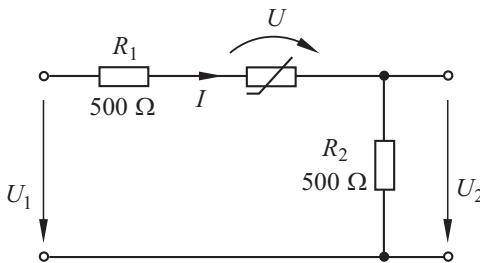
# Inhaltsverzeichnis

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

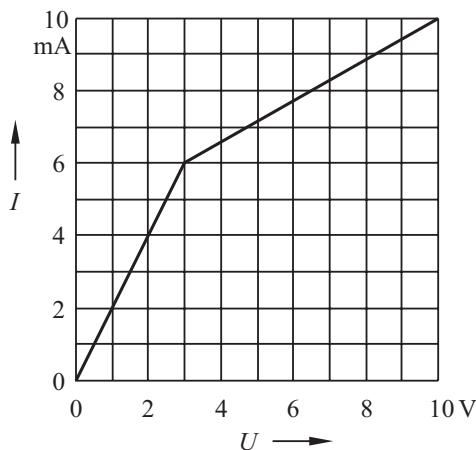
## 2 Netze mit nichtlinearen Eintoren an Gleichspannung

### Aufgabe 2.1

In der Schaltung befindet sich ein nichtlineares Eintor.



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

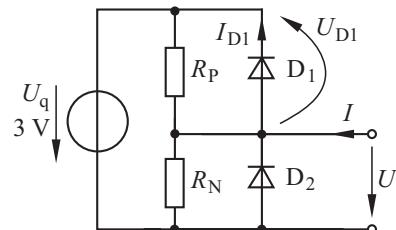


- 1) Welchen Wert hat die Ausgangsspannung  $U_2$  bei der Eingangsspannung  $U_1 = 5 \text{ V}$ ?
- 2) Zeichnen Sie die Übertragungskennlinie  $U_2 = f(U_1)$  des Netzwerks für  $0 \leq U_1 \leq 12 \text{ V}$ .
- 3) Bestimmen Sie für die beiden linearen Teilbereiche der Kennlinie  $I = f(U)$  jeweils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

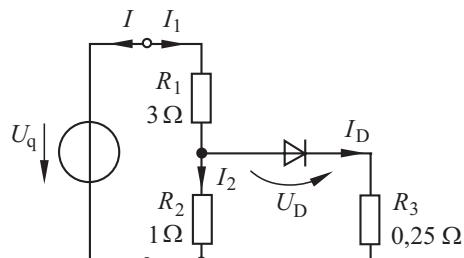
tung eines Ausgangs  $(U_q; R_p; R_N)$  mit den Dioden. Die  $I-U$ -Kennlinie jeder Diode wird durch zwei Geradenabschnitte angenähert, und zwar durch einen mit  $I_D = 0$  für  $U_D \leq 0,6 \text{ V}$  und einen anschließenden, linear ansteigenden durch den Punkt  $I_D = 10 \text{ mA}$  bei  $U_D =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



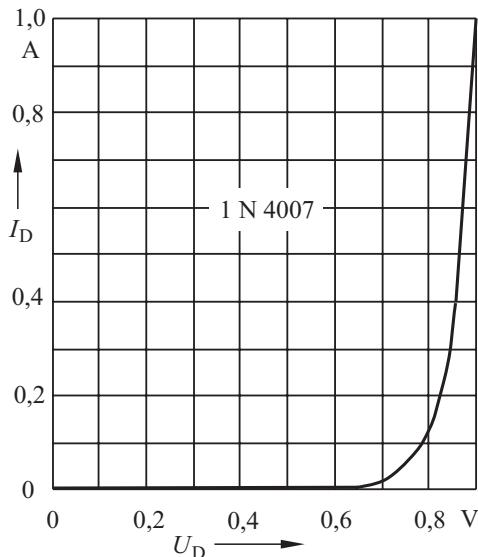
- 1) Bestimmen Sie die  $I-U$ -Kennlinie des Eintors für die Ausgabe des Signalwerts HIGH ( $R_p = 1 \text{ k}\Omega$ ;  $R_N \rightarrow \infty$ ).
- 2) Bestimmen Sie die  $I-U$ -Kennlinie des Eintors für die Ausgabe des Signalwerts LOW ( $R_p \rightarrow \infty$ ;  $R_N = 1 \text{ k}\Omega$ ).
- 3) Durch einen Schaltungsfehler wird der CMOS-Ausgang mit einer linearen Gleichspannungsquelle ( $U_{q1} = 6 \text{ V}$ ;  $R_{i1} = 215 \Omega$ ) 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  $U_q = 3,6 \text{ V}$  den Arbeitspunkt der Diode.

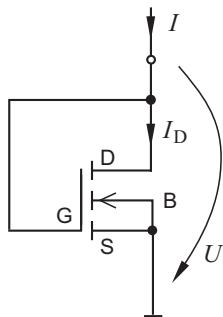


2) Berechnen Sie die Leistungen sämtlicher Baulemente.

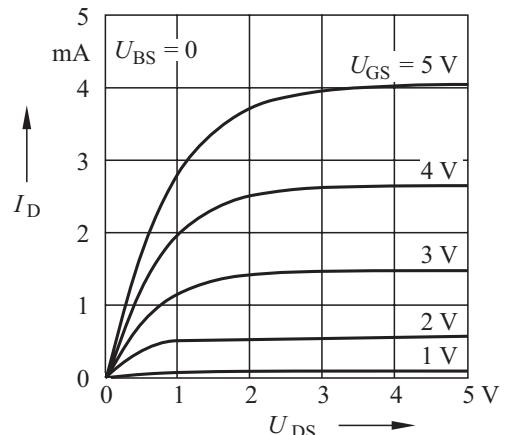
3) Die Quellenspannung ändert sich im Bereich  $5,2 \text{ V} \leq U_q \leq 6,8 \text{ V}$ . Bestimmen Sie die Daten der linearen Ersatzquelle, durch welche die Diode im Durchlassbereich annähernd ersetzt werden kann. Berechnen Sie mithilfe dieser Ersatzschaltung die Werte von  $I_D$  und  $U_D$  für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



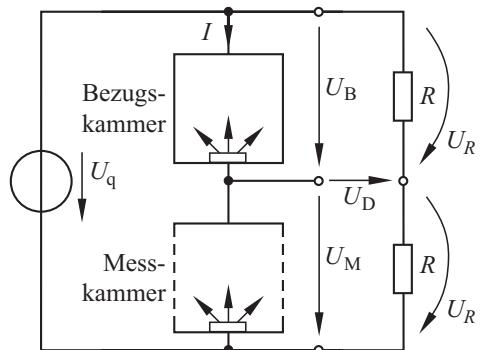
1) Bestimmen Sie die  $I$ - $U$ -Kennlinie des nichtlinearen Eintors für  $U \geq 0$ .



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.

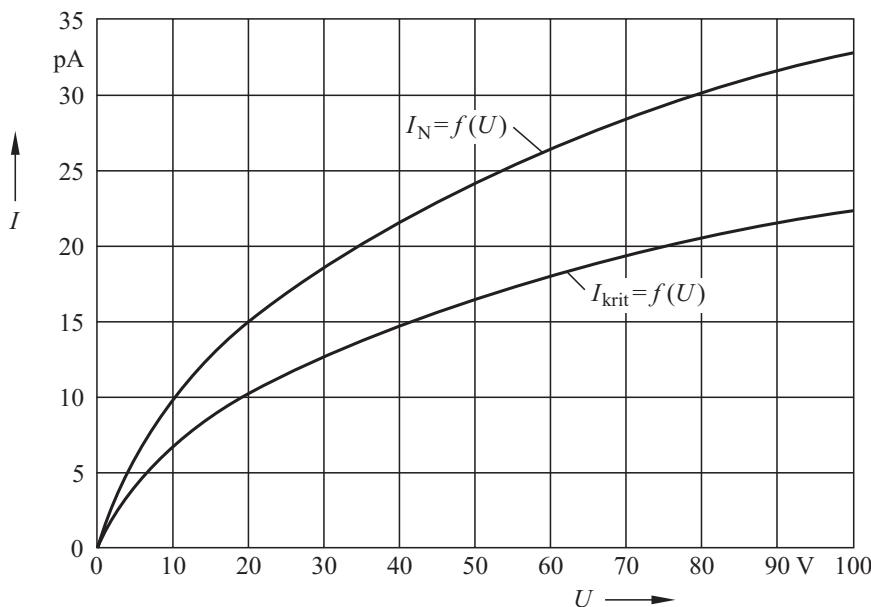
Im Normalbetrieb (also ohne Raucheneinfluss) hat die Kammer die Kennlinie  $I_N = f(U)$ . Gelangen Rauchpartikel in die Kammer, so verschiebt sich die Kennlinie zu kleineren Stromstärken, was z. B. schon durch Zigarettenrauch geschehen kann. Sinkt die Kennlinie auf den kritischen Verlauf  $I_{\text{krit}}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

Im Rauchmelder werden zwei gleiche Ionisationskammern in einer Brückenschaltung an der Gleichspannung  $U_q = 100$  V betrieben.

Die eine Kammer ist gegen die Umgebungsluft abgeschlossen; sie hat als Bezugskammer stets die

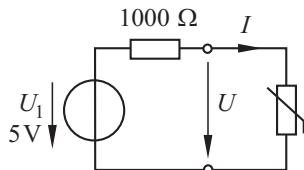
Kennlinie  $I_N = f(U)$ . Die andere steht als Messkammer mit der Luft des zu überwachenden Raumes in Verbindung; im Normalfall hat auch sie die Kennlinie  $I_N = f(U)$ . Tritt jedoch so viel Rauch ein, dass die Kennlinie  $I_{\text{krit}} = f(U)$  erreicht wird, so wird ein Alarm ausgelöst. Das Signal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

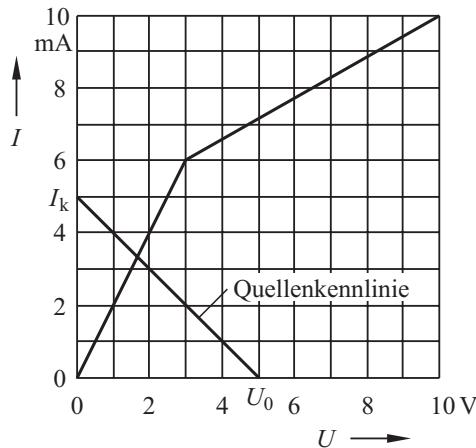


**Lösung 2.1**

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:

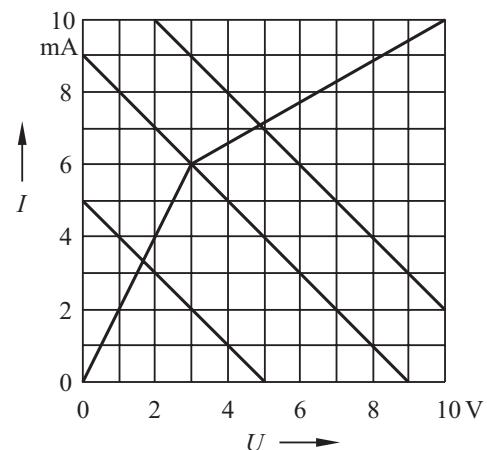
$$U_2|_{U_1=5 \text{ V}} = R_2 I = 1,65 \text{ V}$$

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:

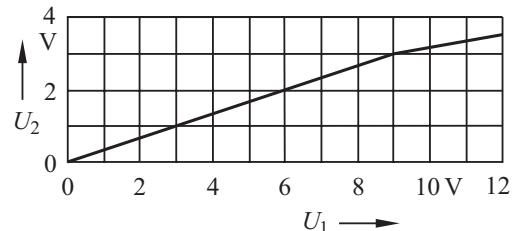
$$U_2|_{U_1=9 \text{ V}} = R_2 I = 3 \text{ V}$$



Von diesem Punkt ( $3 \text{ V}; 6 \text{ mA}$ ) 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:

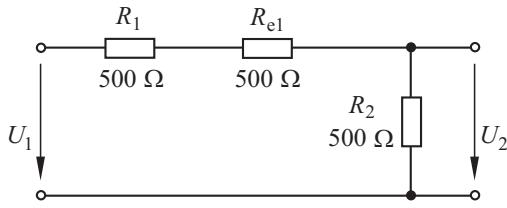
$$U_2|_{U_1=12 \text{ V}} = R_2 I = 3,55 \text{ V}$$

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:

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

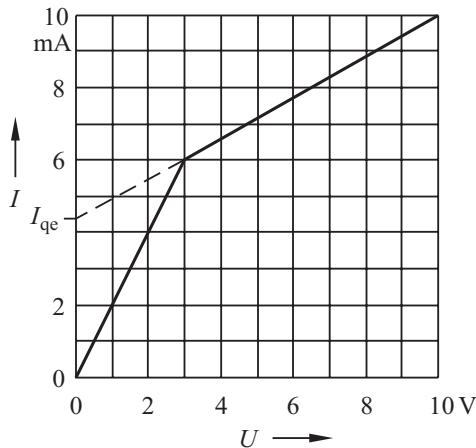


Der zweite Teilbereich entspricht der Kennlinie einer linearen Quelle, die wir als Stromquelle ansehen. Ihr Innenleitwert ergibt sich aus der Steigung der Kennlinie:

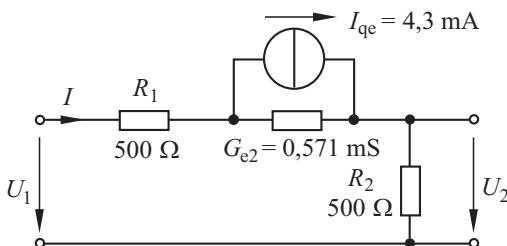
$$G_{e1} = \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{4 \text{ mA}}{7 \text{ V}} = 0,571 \text{ mS}$$

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

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

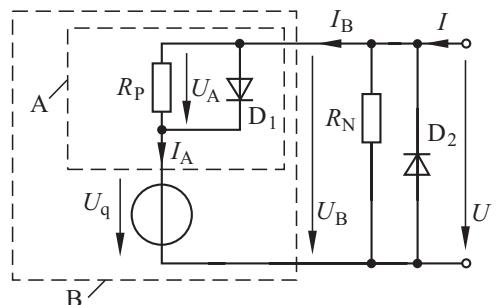


Damit erhalten wir die Ersatzschaltung für den zweiten Teilbereich, bei dem die Spannung Werte  $U \geq 3 \text{ V}$  annimmt.

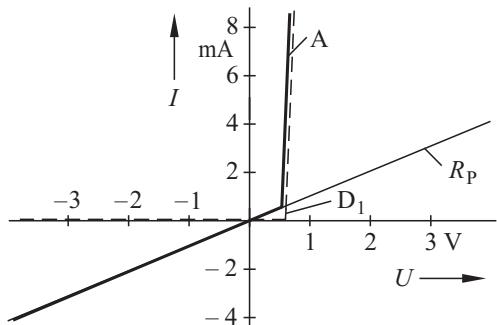


### Lösung 2.2

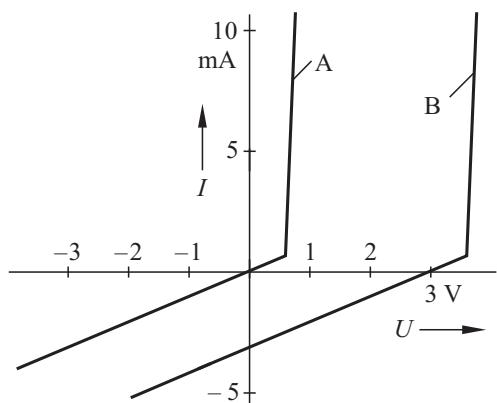
1) Zunächst fassen wir die Diode  $D_1$  und den Widerstand  $R_p$  zum Eintor A zusammen.



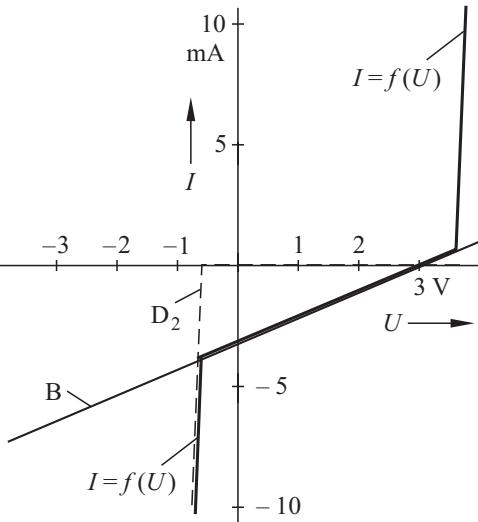
Danach bestimmen wir grafisch die Kennlinie  $I_A = f(U_A)$ .



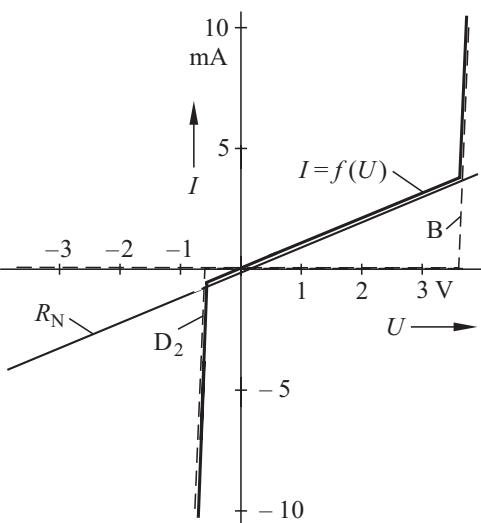
Anschließend fassen wir die ideale Quelle und das Eintor A zum Eintor B zusammen. Die Kennlinie  $I_B = f(U_B)$  ist gegen die Kennlinie  $I_A = f(U_A)$  um  $U_q = 3 \text{ V}$  verschoben.



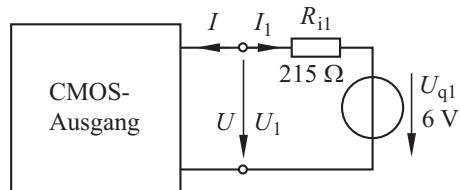
Dem Eintor B ist die Diode  $D_2$  parallel geschaltet; der Widerstand  $R_N$  hat keinen Einfluss. Wir bestimmen hierfür die Strom-Spannungs-Kennlinie  $I = f(U)$ .



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.

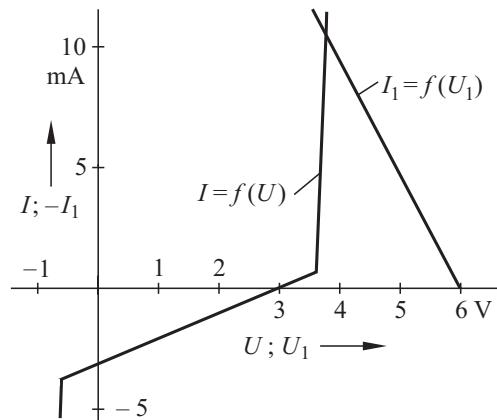


3) Die beiden Eintore sind in Gegen-Reihenschaltung miteinander verbunden.



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

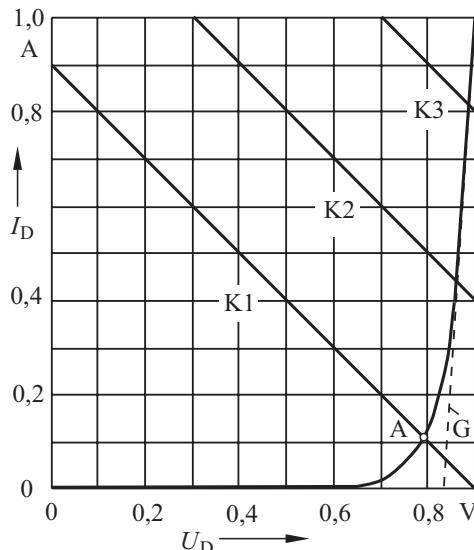
1) Wir schneiden zunächst in Gedanken die Diode aus der Schaltung heraus und ermitteln die Daten der linearen Ersatzspannungsquelle außerhalb der Schnittstelle:

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

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

Der Kurzschlussstrom der Ersatzspannungsquelle ist  $I_{qe} = 0,9 \text{ V} / 1 \Omega = 0,9 \text{ A}$ . 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 Baulemente 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.

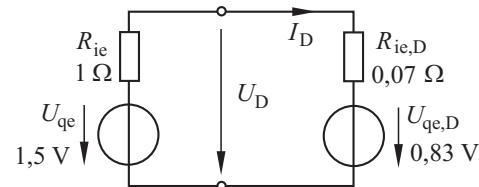
Nach Gl. (1) ist  $U_{qe} = U_q / 4$ ; die Spannung der Ersatzquelle ändert sich also im Bereich  $1,3 \text{ V} \leq U_{qe} \leq 1,7 \text{ V}$ . Dies entspricht einer Verschiebung der Kennlinie um jeweils 4 Teilstriche; wir erhalten so die Kennlinien K2 und K3.

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 Ersatzzinnenwiderstand 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

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

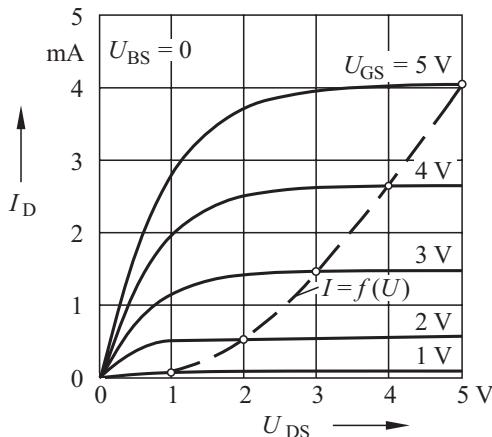
berechnen wir die Spannung an der Diode:

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

#### 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.



- 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.

### Lösung 2.5

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

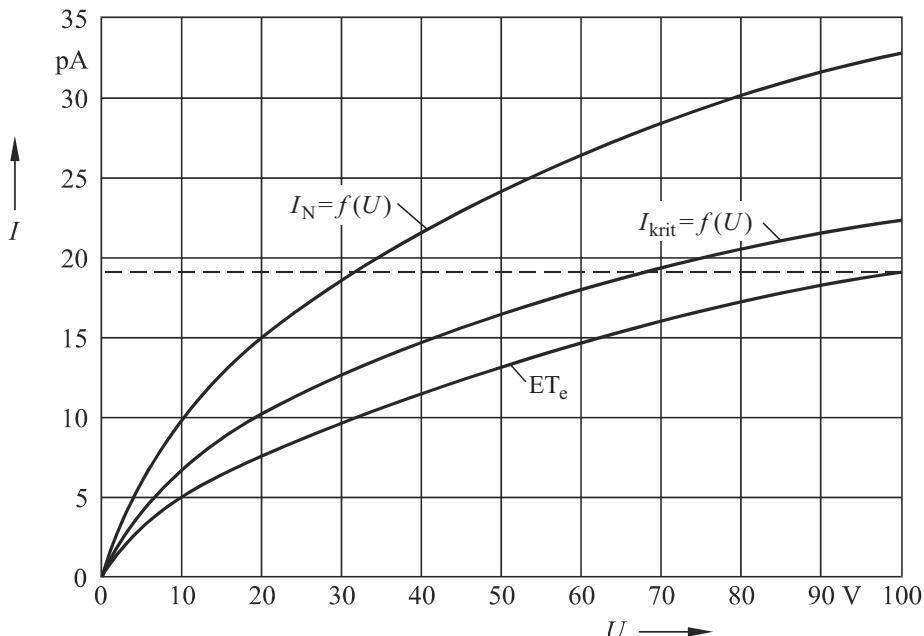
Die beiden Ionisationskammern sind in Reihe geschaltet und werden vom gleichen Strom  $I$  durchflossen. Im Normalfall haben beide Kammern gleiche Kennlinien und es ist  $U_B = U_M = 50$  V. Dabei fließt durch die Ionisationskammern der Strom  $I = 24$  pA. Die Maschengleichung

$$-U_M + U_D + U_R = 0 \quad (1)$$

ergibt die Diagonalspannung  $U_D = 0$  V.

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

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



# Sachwortverzeichnis

- Ablenkempfindlichkeit 122  
Ablenkplatten 122  
Abschaltbedingung 88  
Allpass 76  
Antialiasingfilter 107
- Bandpass 73, 81  
Bandsperrre 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  
Eingangsruhestrom 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  
Sperrsichttemperatur 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