

LEHRBUCH

Martin Poppe

Prüfungstrainer Elektrotechnik

Erst probieren dann studieren

Internet-Quiz zur 2. Auflage

 Springer Vieweg

Elektrodynamik – die beste Theorie der Welt verstehen

In diesem Kapitel wird die Verbindung von Physik und Elektrotechnik beschrieben. Es werden die grundlegenden Begriffe Ladung, Strom, elektrisches und magnetisches Feld und Spannung eingeführt. Hinzu kommen die in den vier Maxwell-Gleichungen zusammengefassten elementaren Zusammenhänge, auf denen die gesamte Elektrotechnik beruht. Das Kapitel beschreibt ein ebenso einfaches wie universell anwendbares Verfahren, Materie in den Maxwell-Gleichungen zu berücksichtigen. Und es zeigt, wo die klassische Elektrodynamik an ihre Grenzen stößt.

Die Diskussion der Auswirkung der Verwendung neuer Materialien im Flugzeugbau auf die Passagiersicherheit bei Blitzschlag dient als Praxisbeispiel.

Hier die Fragen:

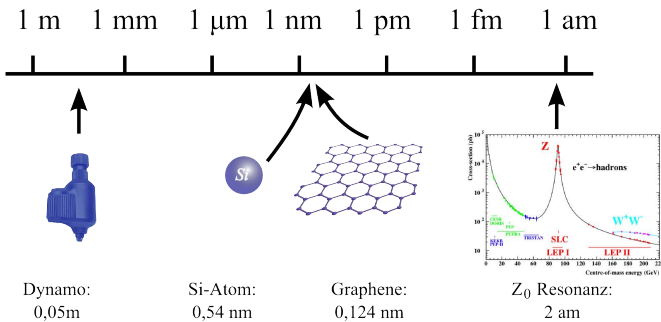
1. Eine geladene Kugel ziehe eine andere mit der Kraft $\mathbf{F} = 0,71N \cdot (1,0,0)$ an. Wie groß ist die Kraft auf sie selbst?
2. Welche der folgenden Größen wird durch einen Vektor dargestellt: Der Strom, die elektrische Spannung, die Stromdichte, die Stärke des magnetischen Kraftfeldes?
3. Gibt es (quellenfreie) elektrische Wirbelfelder?
4. Woran erkennt man, dass ein Körper ein magnetisches Dipolmoment besitzt?
5. Welche der Felder \mathbf{H} , \mathbf{E} , \mathbf{D} und \mathbf{B} lassen sich messen?
6. Wie nennt man Stoffe, deren Polarisationsfelder sich nicht parallel oder antiparallel zu von außen auf sie wirkende elektrische Feldern ausrichten?
7. Was gibt das Integral der Stromdichte über eine geschlossene Fläche an?
8. Woran ist zu erkennen, dass an einem Punkt ein elektrisches Feld wirkt?
9. Wie verändert ein Stoff mit $\epsilon_r = 2$ ein von außen eindringendes elektrisches Kraftfeld \mathbf{E} ?
10. Wie verändert ein Stoff mit $\mu_r = 2$ ein von außen eindringendes magnetisches Kraftfeld \mathbf{B} ?

Elektrodynamik – die beste Theorie der Welt verstehen

...und hier die Antworten

E, B

$D, H, P, M, \mu_r, \epsilon_r$



■ **Abb. 1.20** Grenzen der Anwendbarkeit elektromagnetischer Feldgrößen (Z_0 Resonanz nach [15])

1. Auf sie selbst wirkt eine Kraft von $\mathbf{F} = 0,71\text{N} \cdot (-1, 0, 0)$. (Newton: *actio = reactio*).
2. Strom und Spannung sind ungerichtete Größen, werden also nicht durch Vektoren dargestellt. Die Stromdichte beinhaltet die Richtung der Bewegung der Ladungsträger und ist eine vektorielle Größe. Die elektrischen und magnetischen Kraftfelder sind zwar vektorielle Größen, mit ihrer Stärke ist jedoch der Betrag gemeint. Die Stärken sind also skalar.
3. Ja, die gibt es: Elektrische Felder, welche durch Änderungen von Magnetfeldern entstehen sind wirbelfrei.
4. Das magnetische Dipolmoment μ erkennt man daran, dass im Magnetfeld ein ein Drehmoment $\tau = \mu \times \mathbf{B}$ wirkt.
5. Nur die Felder \mathbf{E} und \mathbf{B} sind messbar.
6. Solche Materialien nennt man elektrisch anisotrop.
7. Dieses Integral gibt den nach außen fließenden Strom, also den zeitlichen Ladungsverlust des Bereiches, welcher von der Fläche umschlossen wird.
8. Ein elektrisches Feld erkennt man an der Coulomb-Kraft, wenn also auf einen geladenen Körper eine Kraft wirkt.
9. Die elektrische Feldstärke wird halbiert.
10. Die Stärke des magnetischen Kraftfeldes \mathbf{B} wird verdoppelt.

Passive Bauelemente – den Strom zum Helfer machen

Die elektrischen und magnetischen Eigenschaften der Materie und deren Behandlung im Rahmen der Maxwell'schen Gleichungen bilden die Grundlage der Konstruktion von Bauelementen, die heute *passiv* genannt werden. Ausgehend von den Materialeigenschaften werden die Brechungsgesetze für statische Magnetfelder hergeleitet und so die Erhaltung des magnetischen Flusses in Ferromagnetika begründet. Darauf aufbauend folgen zwei Techniken, Magnetfelder in einfachen Geometrien zu bestimmen.

Das grundsätzliche Verhalten der Bauelemente Widerstand, Kondensator und Spule wird sowohl reell als auch in der komplexen Ebene beschrieben.

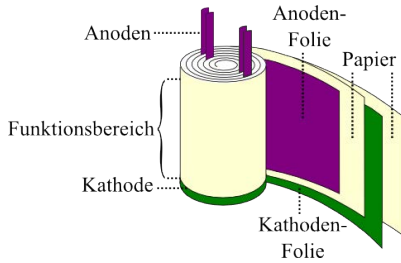
Es folgt die Beschreibung von Parasitärelementen, deren Modellierung, Quantifizierung durch Güte und Verlustwinkel, sowie deren Einfluss auf das Frequenzverhalten.

Hier die Fragen:

1. Wie gut leiten ionisch gebundene Stoffe den elektrischen Strom?
2. Wie nennt man Materialien, die Magnetfelder um einen sehr kleinen Faktor verstärken?
3. Unter welchen Umständen verlassen magnetische Feldlinien ein Werkstück aus Eisen im Winkel von ca. 90° ?
4. Ein vorher leerer Kondensator wird mit einem Strom von $I = 1\text{mA}$ eine Sekunde lang geladen. Wieviel Ladung sitzt auf der Kathode, und wie groß ist die Summe der Ladungen auf der Kathode und der Anode zusammen?
5. Wie lässt sich mit Hilfe von zwei Kondensatoren die meiste Energie speichern, durch Parallel- oder durch Reihenschaltung?
6. Eine lange Spule bestehe aus 100 Windungen, die in zwei Lagen zu je 50 Windungen gewickelt wurde. Wie verändert sich die Induktivität der Spule, wenn noch eine dritte Lage von 50 Windungen dazugewickelt wird?
7. Wie ändert sich das Verhalten einer Spule, wenn ihr Eisenkern durch einen Ferritkern ersetzt wird?
8. Wie lässt sich der Schichtwiderstand einer oberflächlich aufgetragenen Materialschicht verdoppeln?
9. In welchem Falle ist eine große Bauteilgüte an einen großen Widerstand gekoppelt?
10. An einem Kondensator im Wechselstromkreis wird eine Phasenverschiebung von 86° gemessen. Wie groß ist der Verlustwinkel des Kondensators?

Passive Bauelemente – den Strom zum Helfer machen

...und hier die Antworten



■ **Abb. 2.11** Gewickelter Kondensator: Diese Bauform wird für elastische Dielektrika und Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren verwendet. Die Kathode ragt unten heraus und ermöglicht so eine optimale Kontaktierung. Für die Anode müssen Extralektroden oben mit eingewickelt werden

1. Sie leiten den Strom gar nicht. Die besten Isolatoren sind Stoffe mit ionischer Bindung.
2. Das sind paramagnetische Stoffe.
3. Fast immer treten die Feldlinien in einem Winkel nahe 90° aus. Nur wenn das Eisen einen anderen ferromagnetischen Stoff berührt, ist der Winkel an den Berührungsflächen ein anderer.
4. Auf der Anode befindet sich $Q = 1\text{mC}$, auf der Kathode ist $Q = -1\text{mC}$, und die Summe ist Null.
5. In beiden Fällen ist die Maximalenergie gleich groß. Allerdings kann es bei einer Reihenschaltung aufgrund von Bauteiltoleranzen zu Überspannungen kommen.
6. Die Induktivität steigt auf mehr als das Doppelte, genau: um $+125\%$.
7. Die Verlustleistung sinkt, und die Güte steigt.
8. Der Schichtwiderstand wird verdoppelt, wenn das Material in halber Stärke (Dicke) aufgetragen wird.
9. Ein großer Widerstand gehört zu einer großen Bauteilgüte, wenn er als Widerstand parallel zum idealen Bauteil interpretiert wird.
10. Der Verlustwinkel beträgt 4° .

Halbleiter-Bauelemente – durch Verunreinigung Perfektion erreichen

In diesem Kapitel werden Halbleiter-Materialien, ihre Eigenschaften und deren Modifizierung durch das Dotieren beschrieben. Ausgehend von der Bänderstruktur der Halbleiter wird das Verhalten von PN-Übergängen, Halbleiter-Metall Kontakten und deren Durchbruchmechanismen diskutiert. Darauf aufbauend werden die Funktionen und die Kennlinien von Solarzellen, PN-, Schottky- und Zener-Dioden beschrieben. Es folgen Kennlinien und Betriebszustände der Bipolar Transistoren. Die Funktion und die Kennlinie des MOS Transistors inklusive der neuen 3D Transistoren werden aus den Eigenschaften des Dünnoxid-Kondensators hergeleitet.

Es werden Modelle für vereinfachte Schaltungsberechnungen vorgestellt und diskutiert. Mit Hilfe dieser Modelle werden Tests auf die jeweiligen Betriebszustände entwickelt.

Es folgt die Beschreibung der Funktionsweise und Einsatzfelder von Thyristoren, Leistungstransistoren und IGBTs.

Hier die Fragen:

1. Wie viele Elektronen befinden sich auf der äußersten Schale eines Siliziumatoms und wie sind diese in einem Kristall geometrisch angeordnet?
2. Unter welchen Umständen leitet ein Halbleiter den elektrischen Strom?
3. Wie tragen bei einem N-dotierten Halbleiter die Donator-Elektronen zur Leitfähigkeit bei?
4. An welchen Anschlüssen misst man mit einem Voltmeter die Diffusionsspannung?
5. Wann entsteht ein Schottky-Übergang?
6. Wie ändert sich die elektrische Leistung einer Solarzelle, wenn die Strahlungsdichte (Watt pro Quadratmeter) verdoppelt und gleichzeitig die Wellenlänge des Lichts verzehnfacht wird?
7. Wie viele Widerstände braucht man, um einen Bipolar-Transistor im Vorwärtsbetrieb vor Überhitzung zu schützen?
8. Welcher Effekt führt zum Anstieg des Kollektor-Stromes mit steigender Kollektor-Emitter-Spannung?
9. Wie unterscheiden sich Source und Drain eines MOS-Transistors?
10. Warum eignen sich MOS-Transistoren besonders für Mikroprozessoren?

Halbleiter-Bauelemente – durch Verunreinigung Perfektion erreichen

...und hier die Antworten

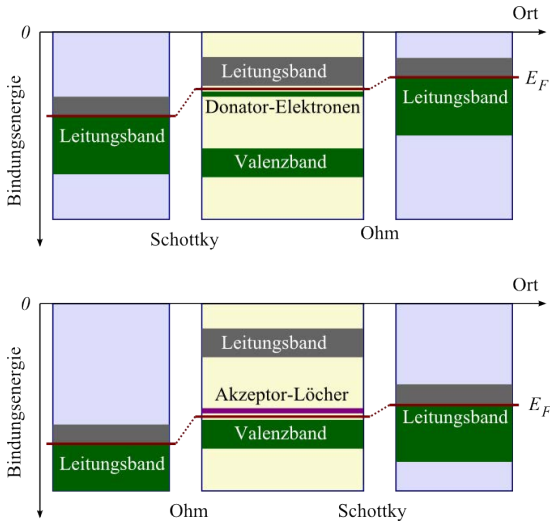


Abb. 3.13 Energieniveaus von Halbleitern (in der Mitte) und Metallen vor einer Kontaktierung. Ist der Halbleiter mit Donatoren dotiert, so entsteht eine Verarmungszone durch Abwandern der Halbleiter-Elektronen (Schottky). Ist der Halbleiter mit Akzeptoren dotiert, so führt das Einwandern von Metall-Elektronen in die Akzeptor-Löcher zur Bildung einer Verarmungszone

1. Silizium hat wie alle Elemente dieser Hauptgruppe vier Elektronen auf der äußersten Schale. Innerhalb eines Kristalls bilden diese einen Tetraeder mit dem Atomkern als Zentrum.
2. Ein Halbleiter hat nur aufgrund von Temperatur oder Verunreinigung bewegliche Ladungsträger. Ein gänzlich reiner Halbleiter leitet bei der absoluten Temperatur Null Kelvin nicht.
3. Donator-Elektronen sind an sich ortsfest. Allerdings ist ihre Energie so nahe am Leitungsband, dass schon die thermische Energie bei einer Temperatur von weit unter Null Grad Celsius ausreicht, um sie praktisch vollständig in das Leitungsband zu heben.
4. Gar nicht.
5. Ein Schottky-Übergang entsteht, wenn ein dotierter Halbleiter an ein Metall stößt und zusätzlich eine der beiden Bedingungen erfüllt ist: Ist der Halbleiter N dotiert, so muss seine Fermi-Energie höher liegen als die des Metalls, ist er P dotiert, so muss seine Fermi-Energie niedriger liegen als die des Metalls.
6. Sie sinkt auf Null.
7. Ein (einziger) Basiswiderstand reicht.
8. Der Early-Effekt.
9. Technologisch gibt es keinen Unterschied. Beim NMOS Transistor ist die Source der stromführende Anschluss mit dem kleineren Potenzial, beim PMOS-Transistor der mit dem höheren.
10. Weil sie nur während des Umschaltens Abwärme produzieren.

Lineare elektrische Netze – dem Strom einen Weg bahnen

Der Einführung in die Begriffswelt der Schaltpläne folgt die Diskussion von Strom- und Spannungspfeilen und deren Bedeutung als Koordinatensysteme. Hieraus folgt eine wenig bekannte, aber sehr einfache Methode zur Bestimmung der richtigen Vorzeichen der Bauelementgleichungen von Energieerzeugern und -verbrauchern. Die Kirchhoff'schen Regeln werden aus Erhaltungssätzen hergeleitet. Es wird gezeigt, welche Schaltungen auf reale Strom- und Spannungsquellen zurückgeführt werden können und wie deren Leistung maximiert wird.

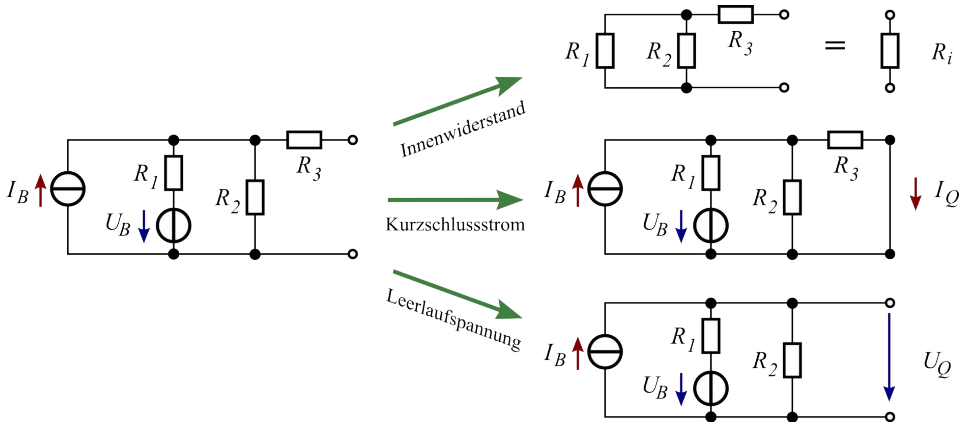
Die Netzwerkberechnung wird auf Basis des Knotenpotenzial-Verfahrens, des Maschenstrom-Verfahrens und des Überlagerungsverfahrens diskutiert. Es wird gezeigt, wie mit Ausnahmen umgegangen wird und wann welches Verfahren das beste ist.

Hier die Fragen:

1. Woran erkennt man, dass ein Zweipol einem elektrischen Netz Energie zuführt?
2. Wann gilt $U = +LdI/dt$ und wann $U = -LdI/dt$?
3. Welches Naturgesetz steckt hinter der Kirchhoff'schen Knotenregel?
4. Wann gibt es in einem Netz mit k Knoten genau k Knotengleichungen und wann nur $k - 1$?
5. Welches Naturgesetz steckt hinter der Kirchhoff'schen Maschenregel?
6. Für welche Schaltungen ist das Knotenpotenzial-Verfahren besonders leicht anzuwenden und für welche das Maschenstrom-Verfahren?
7. Sie rechnen eine reale Spannungsquelle in eine reale Stromquelle um. Welcher Parameter der Quelle bleibt bestehen?
8. Ein geschlossenes Netzwerk bestehe aus m Maschen und k Knoten. Wie viele Gleichungen liefern die Kirchhoff'schen Gesetze, wie viele das Massenstromverfahren und wie viele das Knotenpotenzialverfahren?
9. Die ersten Elemente einer Widerstandsmatrix lauten $(R_{11}, R_{12}, R_{13}, \dots) = (1 \text{ k}\Omega, -\sqrt{2} \text{ k}\Omega, 9 \text{ k}\Omega, \dots)$. Welche Werte haben die Elemente $R_{21}, R_{22}, R_{23}, R_{31}, R_{32}$ und R_{33} ?
10. Unter welchen Voraussetzungen lässt sich eine Schaltung mit zwei äußeren Anschlüssen, diversen Widerständen und mehreren realen Strom- und Spannungsquellen zu einer einzigen realen Stromquelle zusammenfassen?

Lineare elektrische Netze – dem Strom einen Weg bahnen

...und hier die Antworten



■ **Abb. 4.12** Grafische Darstellung eines Beispiels zur Bestimmung der Parameter von realen Ersatzquellen. Für die Bestimmung der Leerlaufspannung ist der Widerstand R_3 irrelevant

1. Beim Energielieferant fließt der Strom der Spannung entgegen.
2. Das Minuszeichen gilt, wenn Strompfeil und Spannungspfeil in entgegengesetzte Richtungen zeigen.
3. Die Knotenregel folgt aus der Ladungserhaltung.
4. Wenn das Netz geschlossen ist, oder wenn in das Netz genauso viel Strom herein- wie herausfließt, dann wird es durch $k - 1$ Gleichungen beschrieben. Für ein offenes Netz mit unbekannter Außenbilanz gibt es k Gleichungen.
5. Hinter der Maschenregel steckt die Energieerhaltung.
6. Das Knotenpotenzial-Verfahren eignet sich besonders für Netzwerke mit Stromquellen. Das Maschenstrom-Verfahren ist am einfachsten bei Netzen mit Spannungsquellen anwendbar.
7. Der Innenwiderstand ist bei beiden gleich.
8. Die Kirchhoff'schen Gesetze geben $k - 1 + m$ Gleichungen, das Knotenpotenzial-Verfahren $k - 1$ und das Maschenstrom-Verfahren m Gleichungen.
9. Die Symmetrie der Widerstandsmatrix fordert $(R_{11}, R_{21}, R_{31}, \dots) = (1 \text{ k}\Omega, -\sqrt{2} \text{ k}\Omega, 9 \text{ k}\Omega, \dots)$ Alle anderen Elemente lassen sich nicht aus der gegebenen Information bestimmen.
10. Immer.

Wechselstromnetze – beliebige Spannungen erzeugen

In diesem Kapitel werden die grundlegenden Konzepte zur Beschreibung von Phänomenen in Wechselstromnetzen in einfacher und in komplexer Notation dargelegt. Dazu gehören Parallelersatzwiderstände, Effektivwerte, Scheinleistung und Blindleistungskompensation ebenso wie die komplexe Leistungsanpassung. Die Transformatorgleichungen und deren Eigenschaften werden hergeleitet.

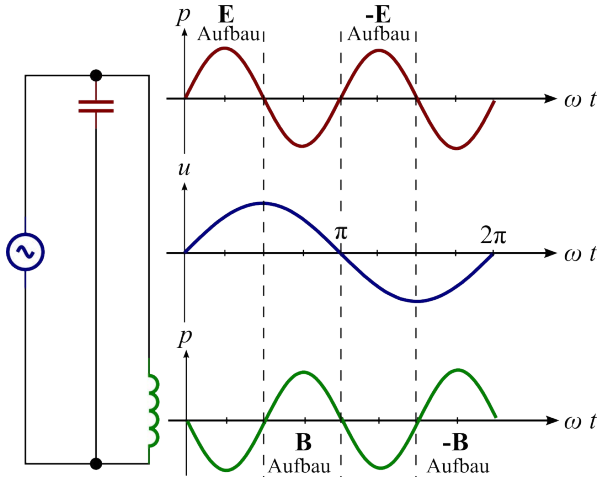
Auf ihrer Basis wird gezeigt, unter welchen Randbedingungen die Näherung des *idealen Transformators* benutzt werden kann. Der Einfluss von Verlustbringern wird ebenso behandelt wie der Mechanismus der Stromverdrängung. Als Praxisbeispiel wird der Zündtransformator eines Automobils beschrieben. Die Eigenschaften des Drei-Phasen-Wechselstromes und deren Ausnutzung in Stern- und Dreieckschaltungen werden analysiert und damit Hausnetze erklärt.

Hier die Fragen:

1. Ein Kondensator wird über die gleichgerichtete Wechselspannung einer Wohnzimmersteckdose aufgeladen. Welche Spannung liegt danach an ihm?
2. Was wird mit *Blindleistungskompensation* erreicht?
3. Eine Spannungsquelle habe eine innere Impedanz von $\underline{Z} = 1\Omega e^{-5^\circ}$. Welche Impedanz sollte ein Verbraucher haben, damit er die maximale Leistung aus dieser Quelle zieht?
4. Was haben der *ideale Transformator* und der *verlustlose Transformator* gemein und was unterscheidet sie?
5. Welche der drei hat immer den größten Wert: Blindleistung, Scheinleistung oder Wirkleistung?
6. Welche Anzahl von Leitungen an Hochspannungsmasten findet man am seltensten: 6, 8 oder 9?
7. Bei einem Hausgerät liegen die Nulldurchgänge des Stromes 10 Millisekunden vor den Nulldurchgängen der Spannung. Wie groß ist die Phasenverschiebung des Stromes?
8. Für ein Hausgerät wird $u(t) = \hat{U} \sin(\omega t)$ und $i(t) = -\hat{I} \sin(\omega t)$ gemessen. Um was für einen Gerätetyp handelt es sich?
9. Ein Transformator mit Eisenkern für Endgeräte bis zu 200 Watt bestehe aus einem Eisenkern, einer Primärwicklung aus 100 Windungen und einer Sekundärwicklung aus 50 Windungen. Was muss getan werden, um diesen zu einem Transformator für Geräte bis zu 1 kW weiterzuentwickeln?
10. Vereinfachen Sie bitte $x = e^{j\pi/4}$.

Wechselstromnetze – beliebige Spannungen erzeugen

...und hier die Antworten



■ **Abb. 5.5** Momentane Leistungen von Kondensator (oben, (5.17)) und Spule (unten, (5.18)) bei der Speisung durch eine Spannungsquelle (Mitte). Bei $p(\omega t) > 0$ werden auf Kosten des Netzes Felder aufgebaut. Bei $p(\omega t) < 0$ wirken die Bauteile wie Generatoren

1. Es sind $\sqrt{2} \cdot 230 \text{ V} \approx 325 \text{ V}$.
2. Blindleistungskompensation führt im Idealfall dazu, dass ein Verbraucher keine Blindleistung aufnimmt und daher auf seinen Versorgungsleitungen keine Blindströme fließen.
3. Impedanz des Verbrauchers sollte $\underline{Z} = 1 \Omega e^{5^\circ}$ betragen.
4. Beide produzieren keine Verlustleistung. Im Grenzfall $\mu_r \rightarrow \infty$ geht der verlustlose Transformator in den idealen Transformator über. Das Verhältnis von Primärstrom zu Sekundärstrom ist nur beim idealen Transformator gleich dem Kehrwert des Verhältnisses von Primärspannung zu Sekundärspannung.
5. Die Scheinleistung.
6. Die meisten Hochspannungsmasten führen Drei-Phasen Wechselstrom. Acht Leitungen sind daher selten.
7. $\Delta \phi_I = f \Delta t \cdot 360^\circ = 180^\circ$.
8. Da $u(t) \cdot i(t) < 0$ ist, handelt es sich um einen Energielieferanten, z. B. Solarzellenanbindung oder ein Wasserrad am Gartenbach.
9. Es muss die fünffache Menge an Eisen verbaut werden, denn es ist die Leistungsdichte im Transformator Kern, die die Leistung begrenzt.
10. Es ist $x = e^{j\pi/4} = j$.

Frequenzselektion durch Zwei- und Vierpole – die guten Signalanteile herausfiltern

Anhand von Parallel- und Reihenschwingkreisen werden die Begriffe Güte, Grenzfrequenz, Bandbreite und Verstimmung eingeführt. Es wird erklärt, wie Parallelersatzwiderstände die Berechnungen realer Schwingkreise erleichtern und unter welchen Umständen dies möglich ist.

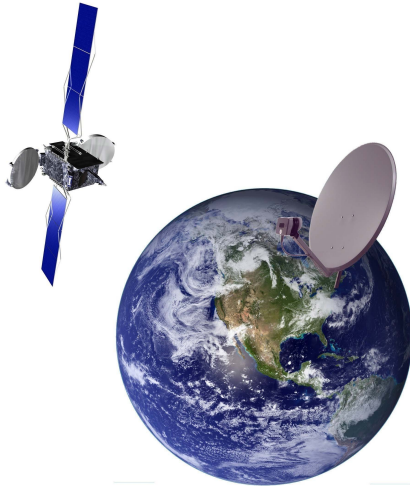
Von einfachen RC-Pässen werden die Übertragungsfunktionen berechnet und als Bode-Diagramme dargestellt. Es werden Tipps für die schnelle und sichere Berechnung solcher Pässe gegeben. Die Vierpoltheorie wird aus einer Verallgemeinerung der belasteten Übertragungsfunktion entwickelt. Die verschiedenen Matrizendarstellungen und Begriffe wie Eingangsimpedanz oder Stromübertrag werden eingeführt. Die Wellenparameterdarstellung stellt sich als natürliche Darstellungsform symmetrischer Vierpole heraus. Als Praxisbeispiel wird das Hochfrequenzverhalten von Leitungen (Telegraphengleichungen) aus der Vierpoltheorie hergeleitet.

Hier die Fragen:

1. Welche Admitanz hat ein Reihenschwingkreis bei sehr hohen Frequenzen?
2. Wie beeinflusst ein Ohm'scher Widerstand die Güte eines Schwingkreises?
3. Was versteht man unter einer Grenzfrequenz?
4. Unter welcher Voraussetzung ist die Bestimmung und rechnerische Verwendung eines Parallelersatzwiderstandes sinnvoll?
5. Welche Ohm'sche Last wird bei der Berechnung einer Übertragungsfunktion zugrunde gelegt?
6. Mit wie viel Dezibel pro Dekade fällt die Übertragungsfunktion eines Tiefpasses 7. Ordnung asymptotisch ab?
7. Welche der folgenden Matrizen gehört zur Vierpoltheorie: Admitanzmatrix, h-Parameter-Matrix, Kettenparameter-Matrix, Impedanzmatrix?
8. In welcher der folgenden Einheiten wird der Wellenwiderstand gemessen: ΩHz , Ωms^{-1} oder Ω ?
9. Wann lässt sich eine Kettenparameter-Matrix durch die beiden Größen *Übertragungsmaß* und *Wellenwiderstand* vollständig charakterisieren?
10. Ist der Wellenwiderstand einer verlustlosen Leitung rein reell, rein imaginär oder eine Mischung aus beiden Anteilen?

Frequenzselektion durch Zwei- und Vierpole – die guten Signalanteile herausfiltern

...und hier die Antworten



■ **Abb. 6.29** zur Aufgabe 6.36: Fernseh-Satellit und passende Antenne. Die kleinen Leistungen der Satellitenempfänger sind nur mit vollständig angepassten Systemen zu transportieren

1. Die Admitanz geht gegen Null: $\underline{Y}(\omega \rightarrow \infty) = 0$.
2. Je größer der Widerstand wird, desto größer wird die Güte des Parallelschwingkreises und desto geringer wird die Güte des Reihenschwingkreises.
3. Die Grenzfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der die Ausgangsspannungsamplitude um den Faktor $\sqrt{2}$ kleiner ist als die maximale Ausgangsspannungsamplitude.
4. Das Ersetzen von Reihenwiderständen durch Parallelwiderstände und umgekehrt ist jeweils nur bei einer einzigen, festgelegten Frequenz exakt. Daher ist die Verwendung von Parallelersatzwiderständen nur sinnvoll, wenn ein sehr kleiner Frequenzbereich betrachtet wird.
5. Die Übertragungsfunktion betrachtet den lastfreien Fall: $1/R_{Last} = 0$.
6. Die Funktion fällt mit 140 dB pro Dekade ab.
7. Alle!
8. Der Wellenwiderstand wird in Ohm gemessen.
9. Wenn die Matrix symmetrisch ist, reichen Übertragungsmaß und Wellenwiderstand.
10. Eine verlustlose Leitung hat einen rein reellen Wellenwiderstand.

Transistorschaltungen – mit kleinen Strömen viel bewegen

Im Rahmen der Diskussion von Emittier-, Kollektor- und Basisschaltung werden die Begriffe Strom- und Spannungsverstärkung eingeführt. Es wird gezeigt, wie die Großsignalanalyse die Arbeitspunkte und die Kleinsignalanalyse die Verstärkereigenschaften liefert. Hierzu werden vereinfachende Rechentipps gegeben.

Eine Diskussion der Einfüsse von Temperatur- und Parameterschwankungen führt zu Dimensionierungsbedingungen und zu den Techniken der Strom- und Spannungsgegenkopplung. Eine Diskussion der Erweiterung des Anwendungsspektrums durch Darlington-Schaltungen und Schottky-Transistoren beschließt diesen Teil.

Als einfachste MOS Schaltung wird der Inverter sowie dessen Dimensionierung und Kennlinie beschrieben.

Ein Anwendungsbeispiel ist seine Verwendung in einem Quarz-Oszillator. Anhand des Transfer Gatters (elektronischer Schalter) wird gezeigt, wie MOS Transistoren im laufenden Betrieb nicht nur ihre Arbeitszustände, sondern auch die Bedeutung von Source- und Drainanschlüssen wechseln können. Zum Schluss wird die Funktion eines Master-Slave Flipf ops behandelt.

Hier die Fragen:

1. Was hat der Arbeitspunkt einer Transistorschaltung mit der Verlustleistung zu tun?
2. Am Eingang einer Transistorschaltung steigt die Spannung gegen das Massepotenzial von 2 V auf 2,5 V und am Ausgang von -4 V auf -4,5 V. Wie groß ist die Spannungsverstärkung?
3. Bitte schreiben Sie die Kleinsignalgleichung $u = ri$ mit Hilfe der Großsignalvariablen U und I und der Arbeitspunktspannung $U_{A.P.}$!
4. Welche Transistor-Grundsaltung hat die größte Leistungsverstärkung?
5. Bitte vervollständigen Sie: Die Kollektorschaltung eignet sich besonders gut für die Ansteuerung von Lautsprechern, weil....
6. Die Gesamtstromverstärkung einer Darlingtonschaltung aus zwei Transistoren mit jeweils $B=100$ beträgt a) 200, b) 9998, c) 10000, d) 10200?
7. Zu welchem Zwecke werden Schottky-Transistoren eingesetzt?
8. Wozu schaltet man einen PMOS- und einen NMOS-Transistor parallel?
9. Welche Eigenschaft des MOS-Transistors ist dafür verantwortlich, dass die CMOS-Inverterkennlinie so steil verläuft?
10. Aus wie vielen Transistoren besteht ein statisches digitales CMOS-Gatter mit vier Eingängen?

Transistorschaltungen – mit kleinen Strömen viel bewegen

...und hier die Antworten

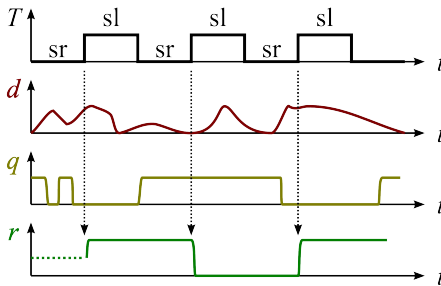
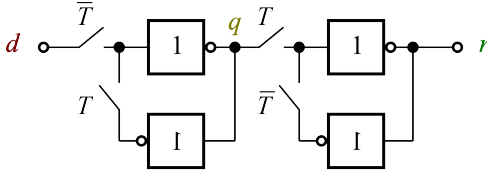


Abb. 7.24 Ein Master-Slave Flipflop (*oben*) und seine Wirkung auf den zeitlichen Verlauf von Signalen (*unten*): Ein stark gestörtes Eingangssignal (d) wird gesäubert und mit dem Taktsignal T synchronisiert. Das Taktsignal T und sein Komplement \bar{T} bestimmen, ob speichern links (sl) oder speichern rechts (sr) aktiv ist

1. nichts.
2. Die Spannungsverstärkung ist $\Delta U_A / \Delta U_E = -1$.
3. $dU = (\partial U / \partial I)|_{U_{A.P.}} dI$.
4. Die Emitterschaltung hat die größte Leistungsverstärkung.
5. ... sie sich ausgangsseitig wie eine Stromquelle verhält und die Amplitude der Lautsprechermembran proportional zur Stromamplitude ist.
6. Die gesamte Verstärkung ist 10200.
7. Schottky-Transistoren können nicht in Sättigung gehen und schalten daher schnell ab.
8. Man schaltet einen PMOS- und einen NMOS-Transistor parallel um einen elektronischen Schalter zu realisieren.
9. Im Abschnürbetrieb verhält sich der MOS-Transistor fast wie eine Stromquelle. Daher gehen kleine Stromänderungen mit großen Spannungsänderungen einher.
10. Es besteht aus acht Transistoren.

Operationsverstärker – Sensorsignale nutzbar machen

In diesem Kapitel werden die Eigenschaften, der Aufbau und exemplarische Anwendungen von Operationsverstärkern gezeigt. Aus den Forderungen an einen Operationsverstärker (kurz: OP) wird die Aufteilung in Differenz-, Verschiebungs- und Endstufe abgeleitet. Es werden die Unterschiede zwischen bipolaren Verstärkern und CMOS Verstärkern aufgezeigt.

Anhand der Vereinfachung des idealen Operationsverstärkers werden Techniken zur Schaltungsberechnung eingeführt. Diese werden benutzt um aktive Filter höherer Ordnung zu konstruieren. Dabei werden verschiedene Topologien von der reinen Lasttrennung bis zur Sallen-Key Struktur diskutiert.

Es wird gezeigt, mit welchen Maßnahmen sichergestellt wird, dass Schaltungen mit realen Operationsverstärkern ähnlich funktionieren wie die mit idealen. Dabei werden die Slew Rate, Verzögerungszeiten, Offset-Spannung und endliche Verstärkung berücksichtigt. Als Anwendungsbeispiel dient eine einfache Lambda-Sonden Anbindung an die KFZ Elektronik.

Hier die Fragen:

1. Welche Parameter sollen bei einem Operationsverstärker möglichst klein sein?
2. Wie ist die Transitfrequenz definiert?
3. Welche Aufgabe hat die Eingangsstufe, welche die Endstufe eines Operationsverstärkers?
4. Welcher Kleinsignal-Parameter der Bipolar-Transistoren eines Operationsverstärkers begrenzt die Gleichtaktunterdrückung?
5. Welchen Vorteil haben Operationsverstärker aus MOS-Transistoren?
6. Was wird erreicht, wenn der Ausgang eines Operationsverstärkers in irgendeiner Form mit dessen Minuseingang verbunden wird?
7. In welcher der folgenden Einheiten wird die *slew rate* angegeben: MHz, μAs , μVs^{-1} ?
8. Warum soll man den Eingang eines Operationsverstärkers aus Bipolar-Transistoren nicht direkt an das Massenpotenzial schließen?
9. Wie sollten die Eingangstransistoren eines MOS Operationsverstärker betrieben werden: Anlaufbetrieb, Abschnürbetrieb oder Sperrung?
10. Ein besonders einfacher aktiver Tiefpass besteht aus einem Operationsverstärker, einem Widerstand und einem Kondensator. Wie ist dieser zu verändern, damit er stabil funktioniert?

Operationsverstärker – Sensorsignale nutzbar machen

...und hier die Antworten

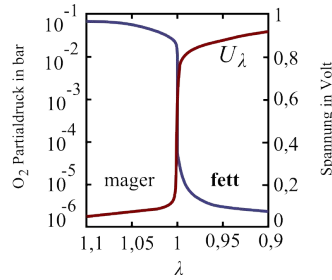


Abb. 8.14 Eine Lambda-Sonde links und ihre Kennlinie rechts. Durch die Löcher dringen Abgase ein und werden mit der Außenluft verglichen (Foto: Bosch)

1. Die Ausgangsimpedanz, die Eingangsströme, die Gleichtaktverstärkung und die Offestspannung sollen möglichst klein sein.
2. Die Transitfrequenz ist diejenige Frequenz, bei der die Spannungsverstärkung auf den Wert 1 abgefallen ist.
3. Die Eingangsstufe ist eine reine Spannungsverstärkerstufe, die Endstufe meist eine reine Stromverstärkerstufe.
4. Für $1/r_{CE} \rightarrow 0$ wird die Gleichtaktunterdrückung perfekt.
5. Die MOS-Transistoren ziehen keinen Eingangsstrom. So fließt nur der kleine Sperrstrom der vorgeschalteten Schutzdioden.
6. Durch die negative Rückkopplung wird erreicht, dass an den beiden Eingängen des Operationsverstärkers fast das gleiche Potenzial anliegt.
7. Die *slew rate* wird in $\mu \text{ V s}^{-1}$ angegeben.
8. Die Eingangsdifferenzstufe funktioniert nur einwandfrei, wenn die Ströme beider Eingänge ähnlich groß sind. Bei direktem Massenanschluss kann zu viel Strom fließen.
9. Die Eingangstransistoren müssen im Abschnürbetrieb sein.
10. Ein zusätzlicher Widerstand muss parallel zum Kondensator und ein zusätzlicher Widerstand vor dem Plus-Eingang plaziert werden.

Aus dem Vorwort des Prüfungstrainers:

» Courage ist gut, aber Ausdauer ist besser (Theodor Fontane)

Dies soll nicht Ihr erstes Buch der Elektrotechnik sein, sondern ein nützlicher Helfer zum Bestehen der nächsten Prüfung.

...die Frage kenne ich doch... Stellen Sie sich vor: Eine Prüfung beginnt mit einer Frage oder einer Aufgabe, die Sie schon kennen und deren Antwort Sie verstanden haben. Wir haben Skripte und Prüfungsunterlagen der ersten sechs Semester von 34 Hochschulen in Deutschland, Österreich und der Schweiz analysiert. Sie finden in diesem Buch Fragen, Aufgaben und Antworten, die denen in tatsächlichen Prüfungen zwar nicht genau gleichen, aber ähnlich sind. Dieses Buch soll die Teilnahme an Vorlesungen und Übungen Ihrer Hochschule ergänzen. Ein aktives Studium vor Ort kann aber durch nichts ersetzt werden. Hier finden Sie zu jedem Kapitel ein Quiz mit zehn Fragen und Antworten. Probieren Sie's doch einfach!

Um die Prüfungsvorbereitung interessant zu gestalten, werden in dieser zweiten Auflage mehrere Praxisbeispiele behandelt: Sie werden lernen, warum man sich beim Flug durch ein Gewitter in die Flugzeugmitte begeben sollte, wie man in der Werkstatt die Güte eines Bauteiles bestimmt, oder mit welchen Mitteln es eine Zündanlage im Auto schafft, aus 12 Volt 30.000 Volt zu erzeugen.

Verstehen heißt: Lernen für die Langstrecke Auf Dauer behalten wir nur, was wir auch verstanden haben, was also auf einen kleinen Kern von Annahmen zurückgeführt werden kann. Wenn Sie den Mut haben, vom sturen Auswendiglernen Abschied zu nehmen und sich auf eine analytische Herangehensweise einlassen, werden Sie belohnt werden. Ihr Wissen wird Ihnen dauerhaft erhalten bleiben, und Sie werden die Souveränität erlangen, die man braucht, um bei unerwarteten Aufgabenstellungen Lösungswege zu finden. Letztlich werden Sie Arbeit sparen. Und wenn Sie die im Anhang aufgeführten Tipps beherzigen, dann lernen Sie so effektiv, dass auch noch etwas Freizeit übrig bleibt.

Ihre Zukunft kennt weniger Schranken als die Ihrer Vorgänger Die Elektrotechnik steht mitten in einer Zeitenwende. Mit der Massenproduktion von EEPROMs und dem Aufkommen der Nanotechnologie dringt die Elektrotechnik in Bereiche vor, die bis zur Jahrhundertwende der Forschung vorbehalten waren: Der Tunneleffekt wird ebenso Gegenstand von Entwurfsüberlegungen wie einzelne Atome. Damit geht die Zeit der klassischen, auf sich alleine konzentrierten Elektrotechnik unwiederbringlich vorbei.

Es ist in Ihrem Interesse als Teil einer neuen Generation von Ingenieuren auf die Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern anderer Fakultäten vorbereitet zu sein. In diesem Buch wird daher eine Sprache verwandt, die mit der Begriffswelt von Physikern, Chemikern und Maschinenbauern kompatibel ist. Veraltete, aber dennoch bis heute benutzte Fachbegriffe werden genannt, erklärt, aber nicht mehr verwendet. Sie werden erstaunt sein, wie viel einfacher zu verstehen die theoretische Basis der Elektrotechnik dadurch wird.



<http://www.springer.com/978-3-662-47953-7>

Prüfungstrainer Elektrotechnik

Erst verstehen, dann bestehen

Poppe, M.

2015, XV, 314 S. 303 Abb., 250 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-662-47953-7