Teubner Studienskripten (TSS)

Mit der preiswerten Reihe **Teubner Studienskripten** werden dem Studenten ausgereifte Vorlesungsskripten zur Unterstützung des Studiums zur Verfügung gestellt. Die sorgfältigen Darstellungen, in Vorlesungen erprobt und bewährt, dienen der Einführung in das jeweilige Fachgebiet. Sie fassen das für das Fachstudium notwendige Präsenzwissen zusammen und ermöglichen es dem Studenten, die in den Vorlesungen erworbenen Kenntnisse zu festigen, zu vertiefen und weiterführende Literatur heranzuziehen. Für das fortschreitende Studium können **Teubner Studienskripten** als Repetitorien eingesetzt werden. Die auch zum Selbststudium geeigneten Veröffentlichungen dieser Reihe sollen darüber hinaus den in der Praxis Stehenden über neue Strömungen der einzelnen Fachrichtungen orientieren.

Zu diesem Buch

Dieses Skriptum enthält eine ausführliche, praxisbezogene Darstellung der technischen Transistor-Grundlagen.

Beim Leser werden nur die Kenntnisse der elementaren Grundlagen über Gleich- und Wechselstrom sowie mathematische Grundkenntnisse vorausgesetzt. Es eignet sich besonders zum Selbststudium und zur Vorbereitung auf das Studium von weiterführenden Fachbüchern, die Grundkenntnisse über Transistoren voraussetzen.

Unter weitgehendem Verzicht auf die Halbleiterphysik werden alle Formeln abgeleitet und viele praxisübliche Näherungen angegeben. Durch zahlreiche Beispiele, denen stets Daten, Diagramme und Kennlinien der Industrie zugrunde liegen, wird der Leser mit der spezifischen Datenbuchdarstellung und den Anwendungen des behandelten Stoffes vertraut gemacht.

Dieses Buch wendet sich an die Studierenden der Elektrotechnik, Regelungstechnik und Physik an Fachhochschulen und Technischen Universitäten sowie an alle Interessenten, die eine breite, praxisnahe Darstellung der Grundlagen bevorzugen.

Transistorverstärker

1 Technische Grundlagen

Von Dr.-Ing. H.-D. Kirschbaum

Professor an der Fachhochschule
Rheinland-Pfalz Abteilung Koblenz

4., überarbeitete und erweiterte Auflage
Mit 114 Bildern, 36 Beispielen
und 12 Tabellen

B. G. Teubner Stuttgart 1989

Dr.-Ing. Hans-Dieter Kirschbaum

1936 geboren in Kehl a.Rh. Studium der Elektrotechnik (Studienrichtung Nachrichtentechnik) an der Technischen Hochschule Karlsruhe. 1963 Dipl.-Ing. 1963 bis 1970 Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Hochfrequenztechnik und Hochfrequenzphysik der Technischen Hochschule Karlsruhe. SS 66 und WS 66/67 Lehrbeauftragter für Grundlagen der Elektrotechnik an der Staatlichen Ingenieurschule in Karlsruhe. 1970 Promotion. 1970 Dozent für Hochfrequenztechnik an der Staatlichen Ingenieurschule Koblenz mit nachfolgender Berufung zum Professor an der Fachhochschule (1972). Seit 1983 Rektor der Fachhochschule in Koblenz.

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Kirschbaum, Hans-Dieter:

Transistorverstärker / von H.-D. Kirschbaum. - Stuttgart : Teubner

1. Technische Grundlagen. - 4., überarb. u. erw. Aufl. - 1989 (Teubner-Studienskripten ; 62 : Elektrotechnik)

ISBN-13: 978-3-519-30062-5 e-ISBN-13: 978-3-322-88919-5

DOI: 10.1007/978-3-322-88919-5

NE: GT

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

© B. G. Teubner Stuttgart 1989

Umschlaggestaltung: W. Koch, Sindelfingen

Vorwort zur 4.Auflage

Durch die Erstellung des Manuskriptes im Computersatz wurde die Lesbarkeit des Skriptums wesentlich verbessert. Die neue satztechnische Ausführung erlaubte gleichzeitig eine Überarbeitung und Erweiterung des bisherigen Inhalts.

Meine Zielsetzung für dieses dreibändige Werk ist unverändert geblieben:

In mathematisch einfacher, aber exakter Form sollen die unverzichtbaren Grundkenntnisse über Transistoren vermittelt werden, die zur Anwendung dieser Halbleiterbauelemente notwendig sind.

Ohne Überbetonung der Halbleiterphysik werden alle wesentlichen Gesichtspunkte behandelt, die für die Berechnung und das Verständnis von Transistorverstärkern erforderlich sind.

Trotz der weit verbreiteten integrierten Schaltungen (IC) und dem damit einhergehenden Verzicht auf eine diskrete Schaltungsauslegung bleibt m.E. das in diesem Buch vermittelte Basiswissen zum Einzelhalbleiter Transistor grundlegend wichtig und unentbehrlich. Der sehr komplexe innere Aufbau von IC's eignet sich nicht zur Vermittlung der Verstärkergrundlagen. Der verständnismäßige Zugang zu diesen hochkomplizierten Schaltungen wird nur über die Vertrautheit mit der diskreten Schaltungstechnik ermöglicht.

Der Stoff ist breit angelegt und erlaubt so ein schrittweises Einarbeiten in das Themengebiet auch ohne große Vorkenntnisse. Die gründliche Darstellung eignet sich besonders gut zur autodidaktischen Erarbeitung des Stoffes. Dies ist angesichts des stark wachsenden und kurzen Innovationszyklen unterworfenen Stoffgebietes der Elektrotechnik ein entscheidender Vorteil: die Spezialvorlesungen im Hauptstudium müssen auf diesen Grundlagen aufbauen können, während das Vorlesungsangebot im Grundstudium eine so ausführliche Stoffdarstellung wegen der Fülle der zu vermittelnden Grundlagen nicht bieten kann.

Um den sicheren Umgang mit Vorzeichen von Strömen und Spannungen zu erreichen, befaßt sich das 1.Kapitel bereits anhand einfacher Verstärkerschaltungen mit Zählrichtungen. Dabei werden grundlegende Begriffe eingeführt sowie der Transistor als Stromknoten und Span-

nungsmaschine behandelt. Das 2.Kapitel legt dar, daß der Transistor in seinen Grundsaltungen als Übertragungsvierpol zwischen einem Sender und einem Empfänger aufzufassen ist und diese Schaltungsteile durch die äußere Beschaltung gegeben sind. Dieses Kapitel bereitet die im 2.Band ausführlich behandelte Dimensionierung von Verstärkerschaltungen anhand der Vierpolparameter vor. Anhand ausgewählter Datenblatt-Auszüge werden die wichtigsten Transistor-Kennlinien im 3.Kapitel diskutiert. Nach dem Bezeichnungsschema für Transistoren werden im 5.Kapitel in mathematisch einfacher Form die Ausgangs- und Eingangswiderstände der 3 Grundsaltungen, die Gleich- und Wechselstromverstärkungen, die Steilheit und die Spannungsrückwirkung und viele praxisübliche Näherungen für diese Kenngrößen hergeleitet sowie deren Bestimmung aus den Kennlinien erklärt. Je ein Kapitel ist der Arbeitsgeraden und der dynamischen Kennlinie gewidmet. Letztere legt die Grundlagen für den im 2.Band behandelten Transistor als steuerbares Verstärkerbauelement und bereitet gleichzeitig die ebenfalls im 2.Band angesiedelten Gegenkopplungsschaltungen anschaulich vor. Die Dimensionierung von Kühlflächen wird im 8.Kapitel praxisnah erklärt. Hier wurden oberflächenmontierte Transistoren (SMD) neu aufgenommen. Ein weiteres Kapitel befaßt sich mit den Restströmen und deren Temperaturabhängigkeit. Es liefert das Verständnis für das folgende Kapitel, in dem für die Einstellung und Stabilisierung des Arbeitspunktes das unentbehrliche Praxiswissen vermittelt wird. Hinzugefügt ist hier jetzt die Stabilisierung mit einer Diode. Die für den Praktiker wichtige Kenntnis der Grenzdaten und der erlaubte Arbeitsbereich für den Transistor folgen im 11.Kapitel. Das letzte Kapitel bringt die wichtigsten Grundlagen der Feldeffekttransistoren, die bisher aus redaktionellen Gründen nur im 3.Band untergebracht werden konnten.

Dem Verlag B.G.Teubner danke ich für die gute Zusammenarbeit. Besonderen Dank schulde ich meiner Frau für Ihren Einsatz bei der Textverarbeitung und meinem Sohn Andreas für den Fleiß und die Sorgfalt bei der Satzherstellung mit dem Computer.

Koblenz, im August 1989

H.D.-Kirschbaum

Inhalt

1. Zählrichtungen und Vorzeichen für Transistorströme und -Spannungen	9
2. Transistor-Grundsaltungen	25
3. Transistor-Kennlinien	37
4. Bezeichnungsschema für Transistoren	56
5. Grundlegende Gleich- und Wechselstromeigenschaften	58
5.1. Wechselstrom-Arbeitswiderstand	58
5.2. Wechselstrom-Eingangswiderstand	68
5.3. Gleichstromwiderstände	75
5.4. Gleichstromverstärkung	76
5.5. Wechselstromverstärkung	79
5.6. Steilheit in Emitter-Schaltung	86
5.7. Spannungsrückwirkung	89
5.8. Darstellung der Kenngrößen im Datenbuch	91
5.9. Näherungsformeln für die Praxis	94
6. Arbeitsgerade	107
6.1. Gleichstrom-Arbeitsgerade	107
6.2. Wechselstrom-Arbeitsgerade	113
7. Dynamische Kennlinie	121
8. Verlustleistung und Kristalltemperatur	126
8.1. Allgemeine Grundlagen	126
8.2. Dimensionierung von Kühlblechen	134
8.3. Stationäre Verlustleistung	136
8.4. Verlustleistungshyperbel	144
8.5. Berechnungsbeispiele	147
8.6. Oberflächenmontierte Transistoren	155
9. Restströme	158

10.	Einstellung und Stabilisierung des	
	Transistor-Arbeitspunktes	168
10.1.	Konstante Versorgungsspannung U_{BE} und U_{CE}	168
10.2.	Prinzip der "halben Speisespannung"	174
10.3.	Gleichstrom-Gegenkopplung und	
	niederohmiger Basis-Spannungsteiler	176
10.4.	Basisvorwiderstand	186
10.5.	Kollektor-Basis-Widerstand	188
10.6.	Basisspannungsteiler mit NTC-Widerstand	192
10.7.	Arbeitspunktstabilisierung mit einer Diode	196
11.	Arbeitsbereiche, Grenzdaten, Durchbruch	199
11.1.	Arbeitsbereiche des Transistors	199
11.2.	Grenzdaten, erster und zweiter Durchbruch	202
11.3.	Erlaubter Arbeitsbereich	209
11.4.	Zur Wahl des Arbeitspunktes	211
12.	Feldeffekttransistoren	212
12.1.	Sperrschicht-Feldeffekttransistoren	213
	12.1.1. Statische Eigenschaften/Kennlinien	215
	12.1.2. Steilheit	220
12.2.	MOS-Feldeffekttransistoren	222
12.3.	Einteilung der FET-Typen	225
12.4.	Temperaturverhalten	226
12.5.	Arbeitspunkteinstellung	227
	Literaturverzeichnis	234
	Liste der wichtigsten Formelzeichen	236
	Sachregister	240