



Von Ing. HANS KÖPFEN

Bauelemente der Zukunft

Kristalldioden und Transistoren

Es ist eine unumstößliche Tatsache, daß wir von den Ergebnissen der Atomforschung und der Halbleiterphysik den größten Nutzen zu erwarten haben. Energiequellen in unbegrenztem Ausmaß werden sich eröffnen und damit die Bedingungen unseres Lebens wesentlich verändern.

Die uns allen bekannte Vakuumröhre ist als Verstärkerröhre und als Gleichrichter des Grundbauelementes eines jeden Rundfunkgerätes; aber nicht nur hier, in der gesamten Fernsprech- und Maßtechnik ist sie heute nicht mehr fortzubringen. In Laufe einer mehr als dreißigjährigen Entwicklungszeit hat die Elektronenröhre einen technischen Höchststand erreicht, der kaum noch Neuland eröffnet. Tatsächlich aber hat die Röhre den Nachteil, daß sie einmal auf den elektrisch getriebenen Gleichstrom als Energiequelle nicht verzichten kann, und das weiter eben dieser Gleichstrom der Lebensdauer der Röhren verhältnismäßig enge Grenzen setzt. So werden täglich auf dem gesamten Erdball wenigstens 6 Millionen kWh allein für die Heizung des Glühfadens der Verstärkerrohre verbraucht. Seit langen sucht man deshalb nach einer Möglichkeit, auf die Heizung verzichten zu können, und in der Tat, einmurm wir uns der Anfänge des Rundfunks, der frühere Kristalldetektor zeigte bereits einen Weg: eine Zuhilfenahme besonderer Stromquellen ließ sich mit ihm ein recht brauchbarer Rundfunkempfang erzielen. Was hat der Detektor für eine Aufgabe? Ihm ist es zu, die von der Antenne empfangenen hoch-

frequenten Schwingungen gleichrichten, d. h. in niederfrequente Schwingungen zu verwandeln, die im Kapillarrohr in akustische Schwingungen umgewandelt werden.

In der Halbleiterphysik wurden nun erneut Versuche mit diesem Gleichrichterelement durchgeführt, und es entstand nach intensiver Forschungsarbeit aus dem Detektor die Kristalldiode. Sie ließ einmal das Arbeiten mit wesentlich höheren Frequenzen zu, und war sie einmal eingestellt, behielt sie gegen Erschütterungen immer die gleiche hohe Empfindlichkeit bei. Abb. 1 zeigt eine Kristalldiode im Schnitt. Weiter gelang es, durch die Einführung einer dritten Elektrode eine Steuerung der elektronischen Halbleiterorgane zu erreichen, und damit war der Transistor geschaffen, ein Verstärkerelement ohne Glühfaden. Bevor wir jedoch einige interessante Anwendungsbeispiele der Kristalldiode und des Transistors behandeln, wollen wir uns mit dem Halbleiterprinzip befassen.

Was versteht man unter einem Halbleiter?

Jedes metallische Element ist ein Leiter. Dem gegenüber stehen die chemisch reinen nichtmetallischen Elemente, die man als Isolatoren bezeichnet. Bei ihnen findet man nur wenig freie Elektronen, diese sind vielmehr an die Atome gebunden, während umgekehrt bei den Leitern sehr viel freie Elektronen zu erkennen sind, die sich unter dem Einfluß einer elektrischen Spannung bewegen.

Fügt man nun den Isolatoren Spuren von Salzelementen zu, so verändern sie sich grundlegend in ihrem elektrischen Verhalten, d. h. sie werden zu Halbleitern. Unter diesen gibt es solche, die den elektrischen Strom durch negative Ionen transportieren, das besondere Kennzeichen für Halbleiter ist,

daß ihr atomarer Aufbau aus vielen Stellen besteht, und daß sie eine Anzahl interessanter Vorgänge aufweisen. Beispielsweise verhält sich der Stromtransport nicht in allen Richtungen gleich, auch ändern sich die Leitfähigkeit durch Lichteinfall, d. h. daß der Halbleiter eine Gleichrichtwirkung bzw. einen Fotoeffekt zustande kommen läßt. Der Aufbau einer Kristalldiode ist bekanntlich dadurch gekennzeichnet, daß der Kontakt durch den Aufwachen einer feinen, meist Wolframschicht auf einen Halbleiterkristall vollzogen wird. Beim Stromübergang entsteht zwischen dem Halbleiter und dem Leiter eine Sperrschicht, wodurch die Gleichrichtwirkung gegeben ist. Die Einwirkung der Kristalldiode führt gegenüber dem Detektor zu gleichwertigen, der Fachmann spricht von homogenen Germanium- und Siliziumkristallen, die sich durch eine außerordentlich große Zuverlässigkeit auszeichnen.

Kristalldioden und Fächergleichrichter

Mit der Kristalldiode, man bezeichnet sie auch mit Spitzendiode, lassen sich Hochfrequenzströme von 400 bis 10000 MHz (Millionenherz) gleichrichten, und wegen ihrer Kleinheit läßt sich die Kristalldiode auf kleinstem Raum unterbringen bzw. sich unmittelbar in die Verbindung einfügen (Abb. 2). Diese Kristalldioden finden nun in der Hochfrequenztechnik zahlreiche Anwendungsgebiete, z. B. als Detektor (Gleichrichter oder Demodulator) in einfachen Empfänger-Schaltungen. Gegenüber den alten Detektoren zeichnen sie sich durch eine beachtliche Leistung aus und ermöglichen unter besonderen Bedingungen, wie Senderöhre, gut angepaßte Kreise, sogar einen bescheidenen Lautsprecherempfang.

Abb. 2a und 2b zeigen zwei typische Empfänger-Schaltungen mit Kristalldioden.

Abb. 3 zeigt die Schaltung eines Transistors als Verstärker. Die Schaltung ist eine einfache Verstärker-Schaltung, die durch die Einführung eines Halbleiters (Transistor) in die Schaltung des Detektors und Verstärkers erreicht wird. Nach Einführung der Halbleiters wird diese Schaltung nur noch für Senderöhre geeignet. Beachten Sie die unterschiedliche Polung für die Hochfrequenzströme in Germanium und Silizium. Beachten Sie die Elektroden für die

dioden. Ferner werden die Kristalldioden in der Fernsprechtechnik als Empfängerbauelemente in Ton- und Zwischenfrequenzverstärkern, in Rundfunkgeräten als Demodulator und Begrenzungsgleichrichter u. a. m. verwendet.

In der Maßtechnik findet man noch zusammengefaßte Kristalldioden.

Die mit Spitzendioden erreichten Leistungen sind naturgegeben verhältnismäßig klein, die zulässigen Ströme sind auf einige 10 mA begrenzt. Deshalb werden sie hauptsächlich in der Hochfrequenztechnik verwendet.

Eine Ausweitung brachte der Germanium-Fächergleichrichter. Bei ihm ist der Spitzendioden durch einen mit Halbleiterwerkstoff legierten Flächenkontakt ersetzt. Dadurch löst sich die Leistung erheblich steigern.

Abb. 4a zeigt uns die Gegenüberstellung einer der bekannten Silizium-Gleichrichterdioden für 145 V Spannung, 0,5 A. Der Raumbedarf dieses Gleichrichters beträgt 300 cm³. In Abb. 4b sehen wir einen Germanium-Fächergleichrichter gleicher Leistung, dessen Raumbedarf praktisch nur 1 cm³ ausmacht. Bedenkt man dann noch, daß er wegen seiner luftdichten Abisolierung gegen äußere Einflüsse praktisch unempfindlich ist, so kann man sich vorstellen, welcher Weg in der Entwicklung von Gleichrichtern beschritten wird.

Transistoren

Er besteht im Grunde genommen aus zwei Kristalldioden, d. h. aus einem germaniumen Halbleiter, auf dem zwei Seitenelektroden (meist Wolfram) im Abstand von 0,01 mm aufgesetzt sind. Der Halbleiter wird als Basis bezeichnet, die Steuerungselektrode als Emittor und die Ausgangselektrode als Kollektor (entsprechend den Elektroden der Glühfadenröhre: Kathode, Gitter, Anode). Der Transistor ist ein Verstärkerelement, das ohne Glühfaden arbeitet. Über den Emittor (Strom) wird die zu verstärkende Spannung angelegt, der Kollektor (Anode) nimmt den verstärkten Strom auf und führt ihn dem Außenwiderstand R_a zu, an dem die verstärkte Spannung abgenommen wird. Das Prinzip ist auf Abb. 5 ersichtlichermaßen in Germanium und Silizium Bauelemente.

Abb. 5 zeigt die Schaltung eines Transistors als Verstärker. Die Schaltung ist eine einfache Verstärker-Schaltung, die durch die Einführung eines Halbleiters (Transistor) in die Schaltung des Detektors und Verstärkers erreicht wird. Nach Einführung der Halbleiters wird diese Schaltung nur noch für Senderöhre geeignet. Beachten Sie die unterschiedliche Polung für die Hochfrequenzströme in Germanium und Silizium. Beachten Sie die Elektroden für die

sichtlich. Die Vorteile eines Transistor gegenüber einigen Elektrodenröhren sind u. a., daß er keine Rohrheizung benötigt, daß er sofort einsatzfähig ist. Das weitere sind die Betriebsspannungen sehr klein, die Lebensdauer der Transistoren dürfte mehrere 10000 Betriebsstunden betragen und um einen Größenvergleich zu geben, der Transistor entspricht etwa der Größe einer Birne.

Abb. 6 zeigt einen Spitzendioden- und einen Flächen-Transistor des VEB Werk für Bauelemente der Nachrichtentechnik „Carl v. Ossietzky“.

Der Spitzentransistor auf dem Hochfrequenz- und der Flächen-Transistor für höhere Leistungen auf dem Niederfrequenzgebiet ist auf dem besten Wege, die Schaltungstechnik der Nachrichtentechnik sowie der Elektronik völlig umzuwandeln. Wir können heute schon mit Sicherheit sagen, daß in absehbarer Zeit sowohl Germanium-Gleichrichter als Transistoren einen erheblichen Teil der heute verwendeten Elektronenröhren ablösen werden.

Eine einfache Audioröhre eines Transistorempfängers zeigt uns Abb. 7.

Wie weit der Transistor bereits in der Rundfunktechnik Eingang gefunden hat, läßt Abb. 8 erkennen, die der besseren Anschauung halber wegen eines Volltransistor-Empfängers in einem Plexiglasgehäuse, bestückt mit 8 Transistoren, zeigt. Der Betriebsstrom dieses Empfängers wird vier LD-V-Zellen ernannt. Der Batteriestrom ermöglicht einen Betrieb von 500 Stunden. Die Ausgangsleistung dieses Empfängers beträgt 200 mWatt und der Stromverbrauch bei mittlerer Lautstärke 30 mA. Unter Berücksichtigung, daß die normalen Heim-Rundfunkgeräte eine Ausgangsleistung von etwa 4 Watt besitzen, die aber praktisch für Zimmerlautstärke nur ausreichen, könnte man in der Ausgangsleistung des Transistor-Empfängers von 200 mW eine Einschränkung sehen. Hierzu kann jedoch gesagt werden, daß bereits transistor-leistungsverstärker vorliegen, die mit einem 12-V-Akku betrieben, mit Ausgangsleistungen von 5 Watt und mehr arbeiten, d. h. man könnte damit bereits eine Spezial-Schallröhre betreiben. Ein solcher Verstärker hat eine Stromaufnahme von 0,5 Amp. Nur wäre es noch

zu entwickeln. Perspektiven bei der Anschaffung eines Rundfunkempfängers auf den Abschluß dieser in der ganzen Welt mit großer Hingabe betriebenen Entwicklung zu warten.

Jede Neuschöpfung benötigt seine Zeit, es würde jedoch die Entwicklung auf diesem Gebiet beschleunigen, wenn sich recht viele Anhänger dieser neuen Bauelemente betätigen.

In der DDR wird intensiv an der Lösung der Probleme, die die Technik bietet, gearbeitet. Die ersten Geräte werden nicht mehr lange auf sich warten lassen. Wenn es weiter gelingt, die Frequenzgrenze weiter nach oben zu treiben, dann ist der Weg zu Miniaturformen und Empfindern in Raketentechnik offen.

Perspektiven

Wir wollen noch unser Augenmerk auf einige andere Möglichkeiten werfen, die uns die Halbleitertechnik eröffnen wird. Danken wir an den Halbleiter-generator, bei dem eine Vielzahl kleiner Halbleiterelemente Wärme unmittelbar in Elektrizität umwandeln. So ist bekannt, daß eine solche Halbleiterbatterie, eingesetzt auf dem Zylinder einer Penstrolampe, die elektrische Energie dazu faltet, ein kleines Rundfunkgerät zu betreiben. In der UdSSR hat man solche Thermo-Elemente eingesetzt in Neutronenbomben eingesetzt, in denen noch keine Explosive vorhanden sind. Geologen bedienen sich ihrer auf wissenschaftlichen Expeditionen. Eine andere Möglichkeit führt uns zum Halbleiter-Mikrotherm, mit dem beim Stromdurchgang Wärme erzeugt wird.

Daß es auch gelingen wird, das Sonnenlicht durch Halbleiter unmittelbar in elektrische Energie zu verwandeln, dürfte außer Zweifel liegen. Bereits heute kennt man Halbleiter, die bei werdender Atomenergie unmittelbar in Elektrizität umwandeln können. Wir sehen also auf diesem Gebiet ungeheure Möglichkeiten. Das einzig Nennenswerte ist, daß sich recht viele Nachwuchskräfte für dieses große Gebiet der Physik und Technik interessieren, um diese neuen Wege der Technik der Menschheit in nächster Vollendung nutzbar zu machen.

Abb. 9 zeigt die Schaltung eines Transistors als Verstärker. Die Schaltung ist eine einfache Verstärker-Schaltung, die durch die Einführung eines Halbleiters (Transistor) in die Schaltung des Detektors und Verstärkers erreicht wird. Nach Einführung der Halbleiters wird diese Schaltung nur noch für Senderöhre geeignet. Beachten Sie die unterschiedliche Polung für die Hochfrequenzströme in Germanium und Silizium. Beachten Sie die Elektroden für die

Abb. 10 zeigt die Schaltung eines Transistors als Verstärker. Die Schaltung ist eine einfache Verstärker-Schaltung, die durch die Einführung eines Halbleiters (Transistor) in die Schaltung des Detektors und Verstärkers erreicht wird. Nach Einführung der Halbleiters wird diese Schaltung nur noch für Senderöhre geeignet. Beachten Sie die unterschiedliche Polung für die Hochfrequenzströme in Germanium und Silizium. Beachten Sie die Elektroden für die

Abb. 11 zeigt die Schaltung eines Transistors als Verstärker. Die Schaltung ist eine einfache Verstärker-Schaltung, die durch die Einführung eines Halbleiters (Transistor) in die Schaltung des Detektors und Verstärkers erreicht wird. Nach Einführung der Halbleiters wird diese Schaltung nur noch für Senderöhre geeignet. Beachten Sie die unterschiedliche Polung für die Hochfrequenzströme in Germanium und Silizium. Beachten Sie die Elektroden für die

Abb. 12 zeigt die Schaltung eines Transistors als Verstärker. Die Schaltung ist eine einfache Verstärker-Schaltung, die durch die Einführung eines Halbleiters (Transistor) in die Schaltung des Detektors und Verstärkers erreicht wird. Nach Einführung der Halbleiters wird diese Schaltung nur noch für Senderöhre geeignet. Beachten Sie die unterschiedliche Polung für die Hochfrequenzströme in Germanium und Silizium. Beachten Sie die Elektroden für die

Abb. 1) Schnitt durch eine Germanium-Kristalldiode: a) Empfänger, b) Einzel-, c) Selbstverstärker, d) Senderöhre, e) Ausstrahlrohr

Nichtmetallische „Carl von Ossietzky“: a) Germanium-Diode (Drahtausführung) in Kontakt, b) Verwendung als LDH-Gitter, c) Germanium-Gleichrichter, d) Verwendung wie in Abb. 2 in Zukunft die Bauelemente in Germanium und Silizium des Rundfunks und Fernsehens erreichen.

Abb. 2) Verschiedene Ausführungen von Kristalldioden des VEB Werk für Bauelemente

