

Einleitung

Als Mikrowellen bezeichnet man üblicherweise elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz im Bereich von 300 MHz bis 300 GHz beziehungsweise mit Wellenlängen $\lambda = c/f$ von 1 m bis 1 mm¹.

Die Wellenlängen liegen damit etwa in der gleichen Größenordnung wie die Abmessungen der verwendeten Schaltungselemente. Wenn die Ausdehnungen von Schaltelementen bei hohen Frequenzen vergleichbar werden mit der benutzten Wellenlänge, besitzen elektrische Spannung und Strom beziehungsweise elektrische und magnetische Feldstärke zu einem festen Zeitpunkt verschiedene Werte an unterschiedlichen Stellen des Elements (z. B. einer Leitung); es besteht eine Phasenverschiebung dieser Größen zwischen benachbarten Punkten. Die Signale hängen außer von der Zeit auch vom Ort ab; sie besitzen Wellencharakter, der nicht mehr wie meist im niederfrequenten Bereich vernachlässigt werden kann. Auf der anderen Seite sind die Wellenlängen noch nicht so klein, dass nur die Methoden der geometrischen Optik angewendet werden können.

Der Wellencharakter von Signalen, deren Wellenlänge mit der Größe von Schaltelementen vergleichbar wird, führt zu neuartigen Prinzipien im Vergleich zur Gleich- oder Wechselstromtechnik bei der Realisierung von Bauelementen. So lassen sich beispielsweise Leitungsabschnitte zum Aufbau von Kapazitäten, Induktivitäten und Schwingkreisen verwenden oder Laufzeiteffekte in Elektronenröhren oder Halbleiterelementen zur Schwingungserzeugung oder -verstärkung ausnutzen. Es ist gegenüber der Niederfrequenztechnik eine andere Betrachtungsweise erforderlich, die mit der Wellenvorstellung arbeitet und statt der integralen Größen Spannung und Strom oft die elektrischen und magnetischen Hochfrequenzfelder betrachten muss.

Die Mikrowellentechnik hat einen großen Anwendungsbereich und hat sich mit der Entwicklung von Mikrowellenhalbleiterelementen neue Anwendungsgebiete geschaffen. Die Benutzung immer höherer Frequenzen ist durch die starke Belegung der unteren Frequenzbänder und den steigenden Bedarf an neuen Frequenzkanälen bedingt; außerdem bringt die Verwendung höherer Frequenzen einige Vorteile mit sich: Bei der Nachrichtenübertragung mit höheren Trägerfrequenzen ergeben sich kleinere relative Frequenzbandbreiten. Bei hohen Frequenzen lassen sich Richtantennen mit großem Gewinn und starker Bündelwirkung mit relativ kleinen Antennenabmessungen aufbauen. Man erreicht mit höheren Frequenzen ein besseres Auflösungsvermögen von Radargeräten und bei Anlagen, die den DOPPLEReffekt ausnutzen, eine größere DOPPLERfrequenzverschiebung; gegenüber optischen und Infrarotsensoren können Mikrowellen Wolken, Schnee, Nebel, Rauch und Staub durchdringen.

¹ Im amerikanischen Schrifttum wird oft zwischen dem Mikrowellenbereich mit Frequenzen von 300 MHz ... 30 GHz und dem Millimeterwellenbereich mit $f = 30 \dots 300$ GHz unterschieden.

Als Anwendungsgebiete der Mikrowellen seien genannt die Richt-, Scatter- und Satellitenfunktechnik, die Radartechnik und die Ortung und Navigation, die Telemetrie, die Möglichkeit schneller Datenübertragung und -verarbeitung, die Raumsicherungsanlagen und Sicherheitsradar im Verkehr, in der Fernwirktechnik (bei Fahrzeugen), die dielektrische Erwärmung zum Erhitzen von Speisen, Trocknen von Papier, Holz und Textilien, Schweißen von Kunststoffen oder bei Diathermie- und Hyperthermiegeräten in der Medizin, die Erforschung von Materialeigenschaften, bei Werkstoffuntersuchungen, in der Gasspektrometrie und bei der Überwachung in der Produktion; weitere Anwendungen sind die Radiometrie zur Entdeckung von Bodenzielen auf Grund ihrer Temperaturstrahlung, die Thermographie, die Radioastronomie, Meteorologie, Plasmauntersuchung, Plasmaerhitzung zur Kernfusion und als Energiequelle in Teilchenbeschleunigern.

Im ersten Abschnitt dieses Buches wird zunächst die Ausbreitung elektromagnetischer Energie im freien Raum in der Form ebener Wellen erläutert. Es wird dann gezeigt, welche Wellenformen an Leiterstrukturen, die der Führung von Wellen dienen, möglich sind unter Beachtung der Randbedingungen, die das elektrische und magnetische Feld an Leitern erfüllen müssen. Hierbei werden Leitungen betrachtet, die Wellen führen, bei denen das elektrische und das magnetische Feld (bei idealer Leitfähigkeit der Leiter) rein transversal zur Ausbreitungsrichtung verlaufen (L -Wellen bei Zweileiteranordnungen wie z. B. der Paralleldraht- und der Koaxialleitung) und Leitungen, bei denen entweder das magnetische oder das elektrische Feld auch longitudinale Komponenten besitzt (H - oder E -Wellen bei Hohlleitungen). Es werden dann verschiedene Formen von Streifenleitungen behandelt und schließlich dielektrische Leitungen, bei denen sich die Energie in der Form von Oberflächenwellen ausbreitet.

Im zweiten Abschnitt werden das Arbeiten mit dem Leitungsdiagramm nach Smith und Anpassungsschaltungen behandelt. Nach einer Betrachtung der Streuparameter (S -Parameter), die der Beschreibung von Mikrowellenschaltungen mit Hilfe von Leistungswellen dienen (3. Abschnitt), werden im 4. und 5. Abschnitt Mikrowellenbauteile in Hohlleiter- und Streifenleitertechnik vorgestellt wie Resonatoren, Anpassungselemente, Filter, Dämpfungsglieder, Leitungsübergänge und -verzweigungen und Richtkoppler. Mit Hilfe der Streifenleitertechnik und in Verbindung mit Halbleiterelementen lassen sich Mikrowellenschaltungen auf engem Raum realisieren. Es werden in diesem Zusammenhang auch verschiedene Leitungsformen angegeben, die zum Aufbau solcher integrierter Schaltungen im Bereich der mm-Wellen geeignet sind.

Bauteile, die mit Mikrowellenferriten arbeiten und die vor allem der Realisierung von nichtreziprokem Übertragungsverhalten dienen (Einwegleitungen, Zirkulatoren), werden im 6. Abschnitt beschrieben.

Der 7. Abschnitt „Mikrowellenantennen“ befasst sich mit Flächenstrahlern (Reflektor-, Linsen-, Schlitzantennen), Längsstrahlern (Wendelantennen, dielektrische Stabstrahler), logarithmisch-periodischen Antennen und elektronisch schwenkbaren Antennen (Phased array-Antennen). Im 8. Abschnitt werden Mikrowellenröhren erläutert, wie Klystrons, Wanderfeldröhren, Magnetrons, Kreuzfeldverstärker und das Gyrotron. Bei diesen Röhren wird meist die Laufzeit von Elektronen zur Erzeugung oder Verstärkung hoch-

frequenter elektromagnetischer Wellen ausgenutzt (Laufzeitröhren). Der 9. Abschnitt behandelt Mikrowellendioden, die als Detektor und Mischer (Schottky-, Backwarddioden), als Schalter PIN-Dioden) oder Kapazitätsdioden (Varaktoren) arbeiten oder die als aktive Zweipole zur Schwingungserzeugung und -verstärkung eingesetzt werden (Tunnel-dioden, Laufzeitdioden, Gunnelemente). Detektor-, Modulator- und Mischerschaltungen werden in einem eigenen Abschnitt (10) erläutert. Mikrowellentransistoren (bipolare und Feldeffekttransistoren) werden im 11. Abschnitt beschrieben. Halbleiterelemente ersetzen in zunehmendem Maße Mikrowellenröhren kleiner und mittlerer Leistung. Im Abschnitt 12 wird der Entwurf von Transistor-Verstärkern an Hand von Beispielen ausführlich diskutiert. Der Abschnitt 13 befasst sich mit parametrischen Verstärkern, die mit gesteuerten Reaktanzen (Varaktoren) arbeiten und der rauscharmen Verstärkung von Mikrowellensignalen dienen.

Abschnitt 14 behandelt die Mikrowellenmesstechnik und in Abschnitt 15 werden Anwendungen der Mikrowellentechnik beschrieben mit dem Schwerpunkt Radartechnik. Aufgaben zu den Themen des Buches finden sich im folgenden Abschnitt.

Dieses Buch wendet sich an Studenten der Elektrotechnik und Physik, an beruflich mit der Mikrowellentechnik befasste Leser zur Einarbeitung oder als Nachschlagemöglichkeit und an Interessenten, die sich im Selbststudium in das Gebiet der Mikrowellentechnik einarbeiten wollen. Die jeweils benötigten physikalischen Grundlagen werden bereitgestellt.