

Lassen Sie uns nun den Versuch machen, in kurzer Form die Grenzen abzuleiten, die für ein realistisches SWR im Verhältnis zur Dämpfung sich für die in der Praxis verwendeten Speiseleitungen ergibt. Hier gibt es ein paar Faustregeln, die sich als Richtlinien im Laufe der Zeit bewährt haben.

1. Wenn man einen Dipol in der Nähe seiner Eigenresonanz betreibt, können 50- oder 75-Ohm-Speiseleitungen gleich gut Verwendung finden. Je nach Höhe der Antenne über dem Erdboden, wird sich am Speisungspunkt der Antenne ein Widerstand zwischen 50 und 80 Ohm ergeben. Als Folge davon wird die Fehlanpassung bei jeder der beiden Leitungen so geringfügig sein, daß man sich um ihn nicht zu kümmern braucht. Anders werden nur diejenigen denken, die nach wie vor unter der "Niedrigst-SWR-Seuche" leiden. Um jedoch mit einem SWR-Meßgerät richtige Werte zu bekommen, muß der Scheinwiderstand des Gerätes mit dem Wellenwiderstand der Leitung übereinstimmen, für die es Verwendung findet.

2. Ein Gerät zur Kompensation der Blindkomponente, das irgendwo auf der Leitung zwischen der fehlangepaßten Antenne und dem Sender eingeschaltet wird, kompensiert die Fehlanpassung der Antenne mit der Wirkung, daß nunmehr überall auf der Leitung die Blindkomponente verschwunden ist. Mit anderen Worten, wenn eine fehlangepaßte Belastung $Z_L = R + jX$ irgendwo auf der Leitung durch Wegstimmen der Blindkomponente angepaßt worden ist, wird die dadurch erzeugte Reflexion den Scheinwiderstand, der am Ende der Leitung auftritt, von Z_c umgewandelt in $Z = R - jX$.

3. Nun wollen wir uns den Vorteil der vergrößerten Bandbreite zu Nutze machen, den wir allein aus der Erkenntnis ziehen können, daß weder eine magische Wirkung noch ein Wunder dadurch zustande gebracht wird, wenn man das SWR auf 1:1 herunterbringt. Wenn ein im Mittelpunkt gespeister Dipol mit einem Koax-Kabel gespeist wird, wird diese Antenne gewöhnlich nur für ein Amateurband verwendet. Aber wir haben jetzt die Möglichkeit, nicht nur in einem kleinen Teil, sondern im gesamten Amateurband zu arbeiten. Dabei mag das SWR auf beachtlich hohe Werte steigen, sofern diese Werte nur innerhalb eines bestimmten Rahmens bleiben, den wir jetzt abstecken wollen.

Um das SWR innerhalb des gesamten Amateurbandes nicht zu hoch werden zu lassen, ist es zweckmäßig, die Resonanzfrequenz der Antenne etwa in die Mitte des Amateurbandes zu legen und die Länge des Dipols entsprechend zu bemessen. Im 75- bis 80-m-Band, in dem die prozentuale Abweichung von der Resonanzfrequenz an den Bandenden am größten ist, wird die Fehlanpassung etwas niedriger mit 75-Ohm-Kabel gegenüber 50-Ohm-Kabel. Von den kleineren Kabeln ist RG-59/U dem Kabel RG-58/U vorzuziehen, weil die Kombination von etwas geringerem Stehwellenverhältnis und der etwas niedrigeren Dämpfung beim Kabel RG-59/U es gestattet, entweder eine größere Frequenzabweichung von der Eigenresonanz der Antenne zu benutzen oder aber eine längere Speiseleitung bei gleichen Verlusten zu verwenden.

Von den Kabeln mit größerem Durchmesser ergeben das Kabel RG-8/U oder RG-11/U annähernd gleiche Resultate, weil die Dämpfung des Kabels RG-11/U etwas höher ist als beim Kabel RG-8/U, wodurch die Verbesserung gerade ausgeglichen wird, die durch das etwas niedrigere SWR erzielt wird.

Aber wenn das Erdungssystem ungenügend ist, besteht ein unbekannter Widerstand für die Verluste im Erdreich, der sich zu dem bekannten Antennenscheinwiderstand addiert. Dadurch wird das SWR verändert auf einen niedrigeren Wert, der aber nicht berechenbar ist. Jedoch neigen wir ohne diese Erkenntnis dazu, über das niedrigere SWR glücklich zu sein, ohne zu untersuchen, ob wir diejenigen SWR-Werte messen, die bei den gegebenen Dimensionen des Systems vorhanden sein müßten! Dies ist eine äußerst wichtige Feststellung, die wir ganz klar verstehen müssen, wenn wir Fehldeutungen der Werte des SWR vermeiden wollen in dem Bemühen, die von der Antenne abgestrahlte Leistung auf ihr Optimum zu bringen.

Es wird uns helfen, diese Feststellung zu verstehen, wenn wir ein klares physikalisches Bild davon haben, wie die Verluste im Erdwiderstand bei einer Ground-Plane-Antenne entstehen. Es scheint nämlich so zu sein, daß wir bei dieser Frage einem weiteren Mißverständnis unterliegen, und zwar bezüglich des Verhaltens des Stromes und des elektrischen Feldes bei einer Ground-Plane-Antenne. Die meisten von uns kennen die Erdungstechniken für Blitzableiter, wie z.B. Metallstangen oder Metallrohre, die tief in den Erdboden hineingetrieben werden und dadurch einen hervorragend niedrigen Erdungswiderstand für den Blitzstrom aufweisen. Jedoch ist es den meisten unbekannt, daß diese Technik völlig ungeeignet ist, um eine gute Leitfähigkeit für die gänzlich andere Form des Stromflusses zu bewirken, der bei einer Ground-Plane-Antenne für den Hochfrequenzstrom zur Verfügung stehen muß. Dieser Fall soll deshalb in allen Einzelheiten behandelt werden, um unser Verständnis zu vertiefen.

Verticalstrahler über dem Erdboden

Lassen Sie uns einen Augenblick abschweifen, um einen Blick auf das Verhalten des elektrischen Feldes und der Stromverteilung bei einer Ground-Plane-Antenne zu werfen, um dadurch zu erkennen, welche Art von Erdungssystem solche Antenne benötigt, um ein günstiges Stromverhalten zu erzielen. Bei der Ground-Plane-Antenne ist der eine Pol des Generators an das untere Ende des vertikalen Strahlers angeschlossen und der andere Pol an einen Erdungspunkt unmittelbar unter dem Strahler. Während der Halbwelle, in der der Strom im Strahler aufwärts fließt, kehrt der gesamte Strom mit Hilfe der Kapazität zwischen Strahler und Erdboden in Form von vielen verzweigten Verschiebungsströmen im Erdboden zurück. Diese Verschiebungsströme folgen den Feldlinien, wie in Abb. 1 dargestellt.

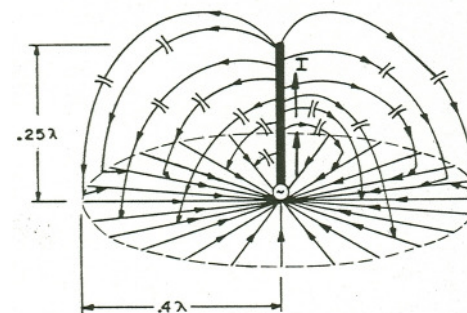


Abb. 1. - Halbkugel der Verschiebungsströme, die als Folge der Kapazität einer Lambda/4-Vertikal-Antenne vom Strahler zur Erde bzw. zu den Gegengewichten fließen. Bei Frequenzen oberhalb von 3 MHz fließen die Hochfrequenzströme fast ausschließlich in einer Schicht von wenigen Zoll Dicke des Erdbodens wie im Text näher beschrieben. In den Boden geschlagene Eisenstangen haben bei diesen Frequenzen so gut wie keinen Wert. Für die Befestigung am Ende der einzelnen Gegengewichte genügen lange Nägel. Bei einer genügenden Anzahl von Gegengewichten bringen ringförmige Drähte als Verbindung zwischen den einzelnen Gegengewichten keine Verbesserung des Wirkungsgrades der Antenne, weil der Weg des Stromes von Natur aus strahlenförmig zum Fußpunkt der Antenne gerichtet ist.

Das elektrische Feld, das die Antenne umgibt und die Verschiebungsströme erzeugt, füllt den gesamten Raum um die Antenne herum in r Gestalt einer abgeplatteten oder etwas verzerrten Halbkugel, es Halbkugel trifft auf den Erdboden in einem dort gedachten Kreis mit einem Radius von etwas über 0,4 Lambda für Strahler einer Länge von Lambda/4 (Dieser Radius wird kleiner, wenn die physikalische Höhe des Strahlers abnimmt). Die Verschiebungsströme treten in den Erdboden innerhalb des gedachten Kreises überall ein und fließen dann auf der kürzesten Verbindung zurück zum Erdungspunkt, an dem der Generator angeschlossen ist. Obgleich einige wenige dieser Stromlinien etwas tiefer in den Erdboden eindringen mögen, fließt bei Frequenzen oberhalb von 3 MHz wegen des Skin-Effektes praktisch der gesamte Strom innerhalb weniger Zoll Tiefe des Erdbodens.

Nun wollen wir einen Erdungspunkt betrachten, der einfach aus einer Wasserleitung oder aus ein oder zwei Stangen besteht, die in den Erdboden geschlagen wurden. Dann muß der gesamte im Erdboden zurückfließende Strom aus allen Richtungen durch den schlecht leitenden Erdboden zu dem Erdungspunkt zurückfließen. Der Widerstand eines solchen Erdungssystems wird häufig als „hinreichend niedrig“ eingestuft, wenn man mit Gleichstrom mißt. Dieses System mag deshalb als ausreichend für einen Blitzableiter angesehen werden, aber es bringt eine Menge von Verlustwiderstand mit sich, wenn man diese Erdung für eine Antenne untersucht, in der Hochfrequenz fließt. Der Hochfrequenz-Wirkwiderstand übersteigt häufig den Strahlungswiderstand der Antenne selbst! Wenn man zwei bis vier Gegengewichte hinzufügt, ergibt das System gute Leitfähigkeit in Richtung zum Erdungspunkt für diejenigen Ströme, die den Erdboden bei diesen Gegengewichten erreichen, aber dies ist nur ein verschwindend geringer Anteil des Gesamtstromes, der in den Erdboden eintritt innerhalb des gedachten Kreises um den Erdungspunkt. Deshalb fließen alle diese übrigen Stromanteile immer noch durch den verlustreichen Erdboden, und das Ergebnis besteht darin, daß wir immer noch einen hohen Verlustwiderstand haben.

Wenn wir dagegen einen Erdungspunkt betrachten, der aus einer ausreichenden Anzahl von gleichmäßig verteilten Gegengewichten (90 bis 100 Stück) besteht, die eine Länge von 0,4 Lambda aufweisen, um alle Ströme aufzunehmen, dann finden alle Verschiebungsströme einen gut leitenden Weg zurück zum Erdungspunkt. Dies kann man durch Betrachtung der Abbildung sich gut vorstellen. Diejenigen Stromanteile, die den Erdboden zwischen den engmaschig ausgelegten Gegengewichten erreichen, biegen sofort ab in Richtung des nächsten erreichbaren Gegengewichtes und bewegen sich deshalb nur eine ganz kurze Strecke durch den verlustbehafteten Erdboden, bis sie den gut leitenden

SWR erfolgreich angekoppelt, ohne damals irgendetwas vom SWR zu wissen. Aber mit dem Erscheinen von Stehwellenmeßgeräten und nach Verschwinden der induktiven Ankopplung entdeckten wir das SWR und lernten es, die Werte des SWR-Meßgerätes gründlich mißzuverstehen.

Zusammenfassend sei daher gesagt: Wenn der Verlust auf der Speiseleitung innerhalb der Grenzen liegt, die bei dem vorhandenen SWR für Sie noch annehmbar erscheint und deren Größe Sie durch Betrachtung der Abbildungen 3 und 4 gefunden haben, brauchen Sie sich überhaupt nicht mehr um das SWR zu kümmern, es sei denn, daß es nicht mehr gelingt, den Sender mit der Antenne richtig zu belasten und abzustimmen. Sie brauchen sich nämlich deshalb nicht um das SWR Sorge machen, weil Sie jetzt ein realistisches SWR benutzen, und zwar aus dem richtigen Grunde!

Obwohl die Resonanz aus Leserkreisen auf diese Serie sehr gut gewesen ist, sind immer wieder einige Stimmen dabei, die zum Verfasser sagen: „Was Du uns da erzählst, ist zwar höchst interessant, aber Du wirst mich niemals davon überzeugen, daß ich mit einem Stehwellenverhältnis 1:1 nicht doch besser herauskomme.“ Jedoch sollte ein Leser, der meinen Ausführungen immer noch skeptisch gegenüber steht, sich vergegenwärtigen, daß die ganzen hier wiedergegebenen Informationen nicht bloß Ideen oder Ansichten des Verfassers sind, sondern unmittelbar aus der wissenschaftlichen und beruflichen Fachliteratur entnommen sind. Das ergibt sich schon aus dem umfangreichen Literatur-Verzeichnis, und diese Literatur wurde speziell für die Bedürfnisse der Funkamateure umgeschrieben, wobei das größte Augenmerk darauf gerichtet wurde, den Sinngehalt nicht zu verändern. Auch sollte man bedenken, daß in deutlichem Widerspruch zu den vielen verschiedenen Ansichten, die man darüber in Amateurräumen hört, die Tatsache steht, daß solche unterschiedliche Meinungen nicht unter den berufsmäßigen Hochfrequenzingenieuren zu finden sind, weil unter den beruflichen Fachleuten dieses Gebietes (einschl. des Verfassers) die zugrundeliegenden Gesetzmäßigkeiten voll verstanden werden und auf richtige, wissenschaftlich nachgewiesene Tatsache gegründet sind, die niemals Gegenstand verschiedener Ansichten sein können, wie man das auf dem Gebiet der Politik oder Religion findet.

Offensichtlich haben sehr viele vergessen, daß diese ganzen Dinge in der QST für Amateure bereits zweimal vor dieser Serie behandelt worden sind, und zwar von zwei allseits anerkannten Experten auf diesem Gebiet. Es waren dies George Grammer, W 1 DF, Ingenieur und früherer technischer Redakteur der QST, und Dr. Yardley Beers, W 0 JF, ehemaliger Professor der Physik und Leiter der Abteilung Physik des „National Bureau of Standards“. Die Ausführungen dieser Verfasser sollten daher eines nochmaligen Studiums wert sein, auch wenn das den Weg zu einer Bibliothek mit sich bringen sollte; denn das Studium ihrer Aufsätze wird für den Leser sicher eine Bereicherung sein.