

Welle den Eingang der Leitung erreicht, wird dem Generator ein veränderter Eingangswiderstand der Leitung präsentiert, und zwar eine Änderung des Wellenwiderstandes Z_c in einen neuen Wert, der bestimmt wird durch den E/I-Vektor am Eingang der Leitung. Dieser neue Eingangswiderstand der Leitung hat genau denselben Grad von Fehlanpassung in bezug auf den Wellenwiderstand Z_c , wie sie der Verbraucher am Ende der Leitung gegenüber dem Wellenwiderstand hat, durch den die Reflexion verursacht wird. Folglich ist jetzt die Leitung in genau demselben Grad an den Generator fehlangepaßt und diese Situation wird den Generator automatisch weniger Leistung an die Leitung abgeben lassen.

Diese Minderung der Leistung, die an die Leitung abgegeben wird, hat genau denselben Betrag wie die reflektierte Leistung. Mit anderen Worten, der Verlust durch Reflexion am Verbraucher kann als an den Generator zu rückgegeben betrachtet werden. Deshalb ist der Verlust durch Reflexion ein „nondissipative type of loss“ (ein nicht energieverbrauchender Verlust). Dieser Verlust bedeutet nur, daß dem Verbraucher weniger Leistung zur Verfügung gestellt wird, weil der Generator als Folge der Fehlanpassung der Scheinwiderstände nur weniger Leistung abzugeben vermag. Diese Fehlanpassung beim Generator (Sender) ist verursacht durch die Fehlanpassung des Verbrauchers (Antenne) am Ende der Speiseleitung. (Daß dieser Reflexionsverlust nur die Nicht-zur-Verfügung-Stellung der Leistung an den Verbraucher darstellt, wird deutlich, wenn im folgenden gezeigt wird, daß der Verbraucher all die Leistung tatsächlich aufnimmt, die der Generator an die Leitung abgibt).

Denn sobald die reflektierte Leistung am Generator wieder erscheint und dadurch die Fehlanpassung des Generators an die Leitung erzeugt, wird die reflektierte Leistung vollständig zurückreflektiert in Richtung zum Verbraucher. Dadurch wird zu der vom Generator abgegebenen Leistung genau derselbe Betrag hinzugefügt, der vom Generator wegen der Fehlanpassung nicht zur Verfügung gestellt werden kann. Da die vorwärtsfließende Leistung also gleich der vom Generator abgegebenen Leistung plus der reflektierten Leistung ist, bleibt die Gesamtleistung, die den fehlangepaßten Verbraucher erreicht, dieselbe wie zu dem Zeitpunkt, als der Generator noch nicht eine reduzierte Leistung abgab. Der sog. „Verlust durch Reflexion“ ist also genauso groß wie die Verminderung an Generatorleistung wegen Fehlanpassung.

Wenn jetzt eine Einrichtung zur Kompensation der Blindwiderstände (conjugate match) irgendwo auf der Leitung eingefügt wird, ggf. auch an deren Anfang, wird die reflektierte Welle daran gehindert, über diese Einrichtung hinaus in Richtung des Generators weiter zu fließen, wie dies in Teil IV auseinandergesetzt wurde. Als Folge davon wird der Leitungswiderstand zwischen dieser Einrichtung und dem Generator nicht mehr durch die reflektierte Welle beeinflusst und behält deshalb seinen Wellenwiderstand Z_c . Als Folge davon sieht der Generator auch keine Fehlanpassung mehr und gibt deshalb die „höchstmögliche Leistung durch Anpassung“ an die Speiseleitung ab. Die Einrichtung zur Kompensation der Blindwiderstände erzeugt also eine Art negative Reflexion, die üblicherweise als „Reflexions-Gewinn“ bezeichnet wird und genauso groß ist, wie der sog. „Verlust durch Reflexion“. Gewinn und Verlust heben sich auf, und es geht nichts verloren.

Abstimmereiches moderner kommerzieller Sender. Dort führt er aus: „Die eingebildete Grenze eines Stehwellenverhältnisses bei 2:1 ist dadurch entstanden, daß der Anpassungsbereich der meisten kommerziellen Amateursender von der Konstruktion her auf 2:1 beschränkt wurde, und zwar aus Gründen der Billigkeit in der Herstellung, nicht aber vom Standpunkt der Vielseitigkeit der Verwendung her. Aber schon mit ganz einfachen Anpassungsgeräten (matchbox) kann der ursprünglich vorhandene Anpassungsbereich des Senders weit über die Grenze hinaus erweitert werden, die wegen der Konstruktion durch ein SWR von 2:1 gegeben ist. Nur aus Kosten- und Raumgründen werden solche Anpassungsgeräte nicht in den Sender selbst hineingebaut, obwohl wir dadurch die Möglichkeit zur Anpassung in einem viel größeren Bereich erhalten würden, wie dies früher bei der induktiven Ankopplung mit beweglicher Antennenspule der Fall war.“ Sobald also der Abstimmereich des Senders nicht mehr ausreicht, braucht nur eine match box dazwischen geschaltet werden, um eine Anpassung der Senderendstufe auch bei einem Stehwellenverhältnis weit über 2:1 hinaus zu erreichen.

Wenn nun jemand den Einwand bringt, durch diese matchbox würden ja wieder zusätzliche Verluste entstehen, so ist dies zwar richtig, aber man sollte sich wiederum über die Größe dieser Verluste Klarheit verschaffen. Wenn man in dieser matchbox Spulen von hoher Güte verwendet, dann kann man diese Verluste leicht unter einem Wert von 1 dB halten. Das bedeutet wiederum, daß diese Verluste bei der Gegenstation überhaupt nicht wahrgenommen werden können! Als Ergebnis kann daher festgehalten werden, daß auch zu den vorstehend behandelten drei Punkten die Einwendungen Parkers nicht stichhaltig sind.

3. Was schließlich die Frage Parkers angeht, es werde sicherlich hoch interessant sein, zu erfahren, was Maxwell unter der „Anpassung nur in einer Richtung“ verstehe, so kann ich mich kurz fassen. Dazu hat Maxwell einen ausführlichen Aufsatz in der QST, Dezember 1974, Seite 11 ff., veröffentlicht, der ebenfalls in Übersetzung in der cq-DL demnächst erscheinen wird. Es hat mich eigentlich nur gewundert, daß diese ironische Fragestellung Parkers noch im August-Heft 1975 der amerikanischen CQ abgedruckt wurde, obwohl die Antwort darauf seit Dezember 1974 nachgelesen werden konnte.

Teil V dieser Serie schloß mit der Feststellung, daß beim Betrieb eines Senders, wenn Ankopplung durch konjugiert komplexe Scheinwiderstände verwendet wird, um das Optimum an Leistung durch eine Leitung an den Verbraucher zu bringen, die Anpassung lediglich in einer Richtung gegeben ist, nämlich vorwärts. Der Generator (Sender) ist an die Leitung angepaßt. Aber wenn man rückwärts in die Generatorankopplungsschaltung während aller Zeitpunkte zurückblickt, in der der Generator aktiv Leistung durch die konjugiert komplexe Ankopplung an die Speiseleitung abgibt, ist die Speiseleitung völlig fehlangepaßt.

Diese Eigenschaft der konjugiert komplexen Anpassung kann dadurch gezeigt werden, daß man Widerstandsmessungen in jeder der beiden Richtungen von jedem beliebigen Punkt der Speiseleitung aus macht. Diese Messungen werden einen Widerstand $R + jX$ anzeigen, wenn man in die eine Richtung blickt, und einen gleichgroßen Widerstand aber mit umgekehrten Vorzeichen, $R - jX$ in der

entgegengesetzten Richtung. (Der sich errechnende Netto-Blindwiderstand von Null, den man aus diesen beiden komplexen Widerständen erhält, beweist, daß das System in Resonanz ist!) Aber diese Messungen können nicht ausgeführt werden, während der Generator aktiv ist. Der Sender muß vielmehr abgeschaltet und ersetzt werden durch einen passiven Widerstand, der in seiner Größe dem optimalen Belastungswiderstand entspricht. In diesem Falle wird der Widerstand, der jetzt die Speiseleitung am Senderende abschließt, sich als eine Belastung mit einem Wirkwiderstand zeigen, wenn man den Widerstand in Richtung zum Sender hin mißt.

Die Tatsache, daß Leistung in dem Widerstand verbraucht wird, der als Ersatz des Generatorwiderstandes während der Messung gebraucht wird, ist für die irrtümliche Schlußfolgerung verantwortlich, daß die Senderleistung, die in Richtung zum Generator zurückreflektiert wird, in ähnlicher Weise im Generatorwiderstand (oder „im Innenwiderstand des Generators“) in Wärme umgesetzt würde. Jedoch solange der Generator Leistung erzeugt, stellt sein Innenwiderstand niemals einen Wirkwiderstand (Belastungswiderstand) für diejenige Leistung dar, die von dem falsch angepaßten Verbraucher reflektiert wird, mit dem die Leitung abgeschlossen ist. Das ist so wegen des Zusammenwirkens zwischen der im Sender erzeugten Welle, der vom Verbraucher reflektierten Welle und der sich aufhebenden Welle, wie dies im einzelnen im Teil IV beschrieben wurde. Die Leitung ist also völlig fehlangepaßt, wenn man in Richtung zum Sender blickt.

Auf der anderen Seite wird bei Labortätigkeit der Sender gewöhnlich in beiden Richtungen angepaßt. Der Sender wird von der Speiseleitung isoliert durch ein Dämpfungsglied oder einen Spannungsteiler, durch dessen Einfügung ein Verlust von rund 20 dB erzeugt wird und das denselben Widerstand wie der Senderausgang und der Wellenwiderstand Z_c der Leitung hat. In diesem Falle sieht der Generator (die Endröhre) eine Anpassung in Richtung auf das Dämpfungsglied, und umgekehrt sieht die Leitung ebenfalls eine Anpassung, wenn man von der Leitung aus in Richtung des Dämpfungsgliedes blickt. Das ist so, weil das Dämpfungsglied beide Sorten der Leistung absorbiert und in Wärme umsetzt, wie eine mit Verlusten behaftete Leistung, und zwar sowohl die vorwärtsfließende, wie auch die reflektierte Leistung, so daß im Endergebnis nur ca. 1/100 der erzeugten Leistung den Verbraucher (die Antenne) erreicht. Weil alle bei einer Fehlanpassung reflektierte Energie auch auf 1/100 ihres ursprünglichen Wertes während der Rückkehr zum Generator abgeschwächt wird, besteht das Ergebnis darin, daß der Anteil der reflektierten Leistung, der an die Leistungsquelle (den Generator) zurückgelangt, ungefähr 40 dB abgeschwächt ist oder nur noch 1/10000 derjenigen Leistung ausmacht, die ursprünglich vom Generator geliefert wurde. Diese Abschwächung tritt ein, wenn der Belastungswiderstand eine totale Reflexion hervorruft, weil die Schaltung entweder kurz geschlossen oder geöffnet ist. Und die reflektierte Leistung ist natürlich noch wesentlich geringer, wenn die Leitung in der Praxis durch Wirkwiderstände abgeschlossen ist, die die Energie teilweise verbrauchen. Der Anteil der reflektierten Leistung, der also den Generator wieder erreicht, ist völlig zu vernachlässigen unter dem Gesichtspunkt, daß er sich zu der Quellenenergie addiert und dadurch den Anpassungswiderstand der Leitung verändern könnte. Deshalb erscheint für alle praktischen Anwendungen das

Dämpfungsglied für den Generator entweder wie eine unendlich lange Leitung oder wie eine Leitung, die eine ideale Anpassung ($R = Z_c$) besitzt.

Deshalb erhält man beides, eine konstante Belastung des Generators und eine konstante Eingangsspannung auch bei sich änderndem Ausgangswiderstand der Leitung, so daß allen Erfordernissen für Versuchsaufbauten Genüge getan ist.

Daher ist es verständlich, daß diese beiden Formen der Anpassung durcheinander gebracht werden. Diese Verwechslung kann uns zu der falschen Ansicht verleiten, daß reflektierte Energie auch im Falle eines Senders verbraucht wird und verloren geht, wenn dieser Teil der Leistung zum Sender (der Leistungsquelle) zurückkommt.

Reflected Versus „Lost“ Power

(Reflektierte und tatsächlich verlorene Leistung)

Diese fehlerhafte Betrachtung der reflektierten Leistung ist weit verbreitet, durch Unterhaltungen im Äther immer wieder genährt und durch unzählige gedruckte Artikel unterstützt worden. Zwei solcher Artikel gehören besonders in diese Kategorie, weil sie ins einzelne gehende Feststellungen treffen, die die irrtümliche Auffassung bestärken, während die Ausführungen in vielen anderen Artikeln lediglich stillschweigend den Irrtum mitmachen. Diese beiden Artikel sind der Aufsatz von K 8 ZVF in der Zeitschrift „CQ“ Juni 1970, Seite 36 und von W 2 AEF in ebenfalls „CQ“ März 1963, Seite 31.

Lassen Sie uns nun eine weitere Analyse des Vorganges der Reflexion bei Anpassung eines Generators machen, bei der zwei wichtige Umstände ans Licht kommen werden, die eine lange Zeit übersehen worden sind. Wenn wir das tun, werden wir nicht nur erkennen, warum die Feststellung in den erwähnten beiden Artikeln über verlorene Leistung falsch ist, sondern auch, warum diese beiden Faktoren so leicht in der Amateurpraxis bei der Verwendung von Koaxial-Speiseleitungen übersehen wurden. Das hat sehr viele Amateure auf den falschen Weg geführt, unbedingt ein niedriges Stehwellenverhältnis anzustreben, aber aus einem falschen Grunde.

Stellen Sie sich eine verlustfreie Speiseleitung vor, die mit einem Verbraucher abgeschlossen ist, der absolut richtig angepaßt ist. Stellen Sie sich weiter eine ideale Anpassung zwischen dem Generator oder Sender und dem Wellenwiderstand der Leitung (Z_c) vor. Unter diesen Voraussetzungen gibt es keine reflektierte Leistung auf der Speiseleitung und deshalb auch keinen Verlust durch Reflexion. Der Generator gibt in diesem Falle diejenige Leistung ab, die definiert wird als „höchstmögliche Leistung durch Anpassung“, und der Verbraucher absorbiert die gesamte abgegebene Leistung. Wenn der Leitungsabschluß jetzt verändert wird und dadurch eine Fehlanpassung zwischen dem Wellenwiderstand Z_c der Leitung und dem Verbraucher am Ende der Leitung entsteht, wird weniger Leistung vom Verbraucher aufgenommen werden.

Der Betrag, um den die absorbierte Leistung sich verringert (verursacht durch die Änderung des Abschlußwiderstandes), ist das Maß für den Verlust durch Reflexion. Da die reflektierte Energie in Richtung auf den Generator zurückfließt, verursacht sie eine Änderung des Widerstandes der Leitung von Z_c in $Z = E/I$ überall längs der ganzen Leitung, wie dies in Teil III festgestellt wurde und in der