

Applikationen mit dem Smithdiagramm:

Hintergründe zur Impedanztransformation mit dem Double-Slug-Tuner



Bild 1: Beispiel für Double Slug Tuner (Quelle: Microlab, SF-Serie).

Die Impedanztransformation durch einen Double-Slug-Tuner ermöglicht das stufenlose Einstellen von fast jedem gewünschten VSWR bzw. Reflexionsfaktor.

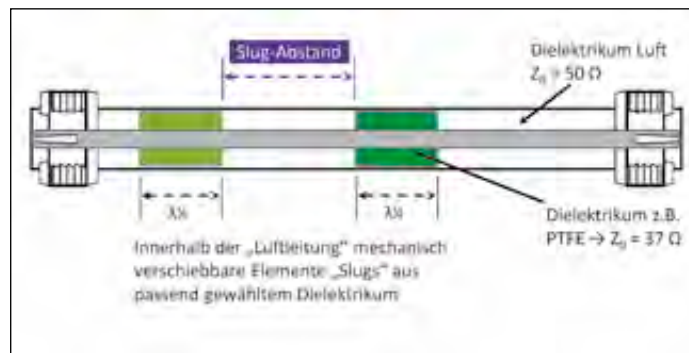


Bild 2: Mechanischer Grundaufbau (Längsschnitt)

Damit ist einerseits das optimale Anpassen von z.B. Antennen realisierbar, andererseits lassen sich bewusst Fehlanpassungen mit gezielt gewählten Parametern erzeugen. Das verwendete Funktionsprinzip ist sicherlich nicht trivial, mit dem Smithdiagramm werden die Hintergründe sehr schnell transparent.

Anpassnetzwerke werden in der Regel durch Kondensatoren und Spulen realisiert, für Antennen im Kurzwellenbereich kommen dafür z.B. Antennentuner zum Einsatz, die in einem weit gesteckten Bereich das VSWR von fast jedem Antennengebilde anpassen lassen. Das geschieht automatisch über Relais durch zu- oder abschaltbare Grundglieder, die in diskreter Technik aufgebaut sind.

Für Frequenzen ab einigen 100 MHz aufwärts ist dieses Prinzip nicht mehr anwendbar, die Eigenresonanzen von diskreten Bauteilen setzen hier die Grenzen. Dort greift man auf den Effekt der Leitungstransformation zurück. Prinzipiell funktio-

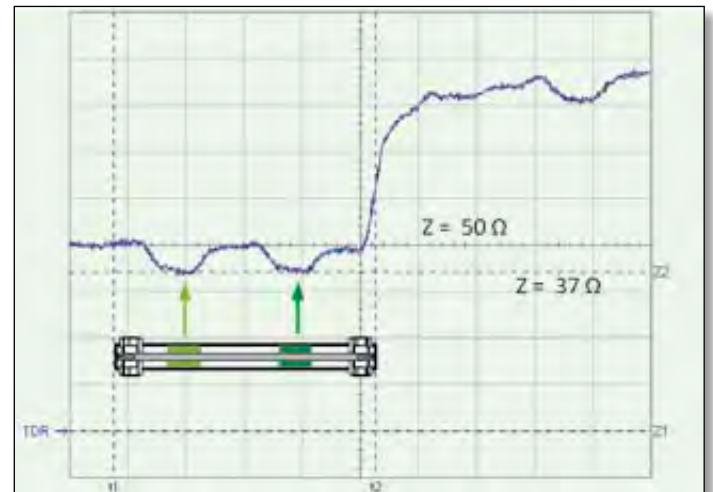


Bild 3: Double-Slug-Tuner im Laufzeitdiagramm

niert das Bauteil „Leitung“ (Leitungstransformation) auch im Kurzwellenbereich, allerdings sind die Abmessungen nicht praktikabel, erst mit Frequenzen im 3-stelligen MHz-Bereich sind die Abmessungen vernünftig zu handhaben.

Der in Bild 1 gezeigte Double-Slug-Tuner hat eine Länge von 460 mm und deckt dabei, laut

Datenblatt, einen Frequenzbereich von 300 MHz bis 1.7 GHz ab.

Der mechanische Aufbau und das Prinzip

Kaum zu glauben, dass eine so einfach anmutende Konstruktion die stufenlose Einstellung des VSWR bis hin zu 10:1 ermöglicht. Die maximal übertragbare Leistung liegt bei 500 Watt, die Durchgangsdämpfung beträgt 0.2 dB. Für einen Kurzwellen-Antennentuner, aufgebaut aus diskreten Bauelementen, gestaltet sich der Aufwand ungleich höher.

Was verbirgt sich nun in diesem knapp 0,5 m langen Metallrohr mit N-Anschlüssen? Das Prinzip zeigt Bild 2 im Längs-

schnitt. Der Grundkörper wird als stabiler, koaxialer Leiter (50 Ohm) mit Dielektrikum Luft aufgebaut. Innerhalb dieser 50-Ohm-Luftleitung sind meist zwei verschiebbare Elemente, die Slugs (übersetzt – „Kerne“) angeordnet.

Die mechanische Ausführung erfordert äußerste Präzision, die Slugs müssen in der Luftlei-

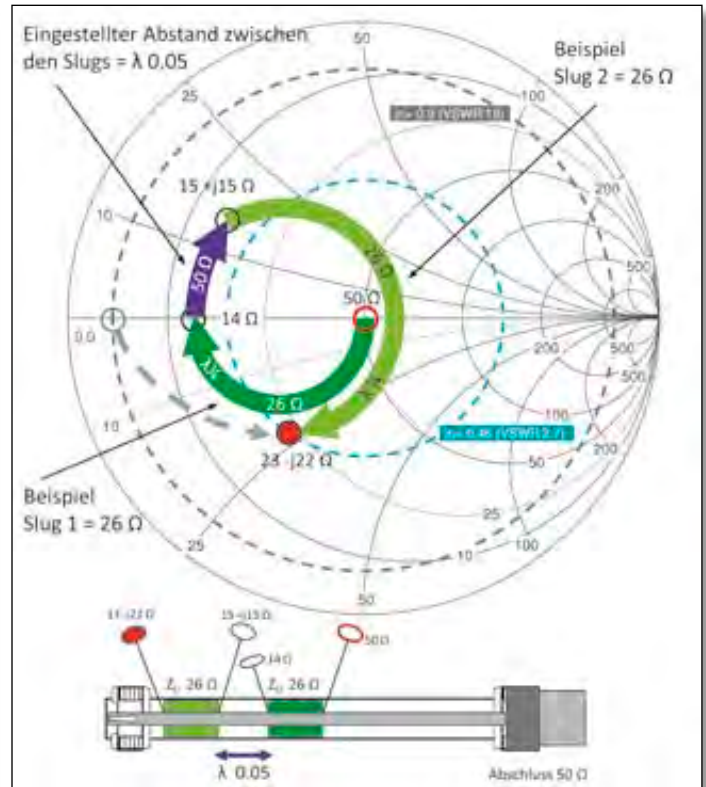
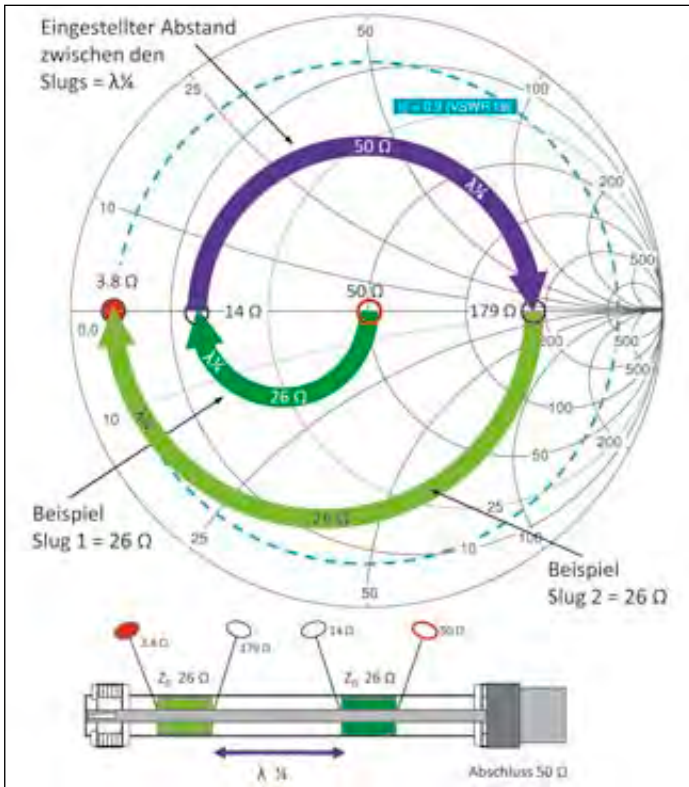


Bild 4: Auswirkungen der Leitungstransformationen

Bild 5: Auswirkungen bei Verringerung des Slug-Abstandes

tung leicht zu bewegen sein. Das Verschieben und Fixieren muss außerdem frei von Spiel sein, nur so ist eine präzise und reproduzierbare Einstellung möglich. Besonders kritisch ist, wie wir noch sehen werden, der Bereich der nahe dem VSWR 1 liegt.

Die mechanische Abmessung des koaxialen Systems, also der Luftleitung, wird auf die Systemimpedanz, meist 50 Ohm, ausgelegt. Damit definieren sich die Durchmesser des Innenleiters und des umhüllenden Rohres. Entscheidend für den Wellenwiderstand eines koaxialen Systems ist das Verhältnis der beteiligten Durchmesser zueinander. Die Slugs beeinflussen, aufgrund ihrer von Luft abweichenden Dielektrizitätskonstante, den Wellenwiderstand, und zwar genau begrenzt auf ihre Position innerhalb des Luftleiters und über ihre mechanische Länge. Der Wellenwiderstand verharrt auf der gesamten Länge des „Fremdkörpers“ bei einem abweichenden Wert zur ursprünglichen Impedanz der Luftleitung. Das lässt sich mit einer TDR-Messung sichtbar machen, ein dem Autor vor-

liegendes Exemplar wurde so vermessen, die Ergebnisse zeigen Bild 3.

Betrachtet man den Kurvenverlauf von links nach rechts, so erkennt man einen Einbruch der Impedanz von ursprünglich 50 Ohm auf 37 Ohm. Über eine gewisse Breite bleibt die Impedanz auf 37 Ohm stehen, um dann wieder auf 50 Ohm anzusteigen. Hier ist der erste Slug mechanisch zu Ende und das Dielektrikum Luft wieder wirksam. Nach etwas Abstand erscheint der zweite Slug in gleicher Weise. Anschließend folgt erneut ein kurzes Stück mit der Systemimpedanz 50 Ohm, schließlich wechselt die Kurve zu dem für ein offenes Leitungsende charakteristisch steilen Anstieg (hochohmiger Impedanzwert).

Verschiebt man nun die Slugs, wandern die „Impedanzeinbrüche“ auf der Laufzeitachse synchron mit. Die Gesamtabmessungen des Tuners und die Wahl des Dielektrikums der Slugs orientieren sich an dem gewünschten Frequenzbereich.

Die Funktion wird transparent durch das Smithdiagramm

Bei allen nachfolgenden Betrachtungen werden die Verluste innerhalb des Tuners als vernachlässigbar angenommen. Es erscheint schwer vorstellbar, wie es mit dieser doch relativ einfachen Vorrichtung möglich sein soll, ein in doch weiten Grenzen stufenlos einstellbares VSWR zu bewirken. Bedienen wir uns für die Erklärung des Smithdiagramms, Bild 4. Dazu konstruieren wir den Fall, der Tuner wird an einem Ende mit einem 50-Ohm-Präzisionswiderstand abgeschlossen. Diese 50 Ohm entsprechen einem VSWR von 1 bzw. Reflexionsfaktor 0 und sollen nun durch den Tuner auf andere (schlechtere) Werte gebracht werden. Das erscheint zunächst paradox, denn eigentlich ist das übliche Ziel, eine verbesserte Anpassung zu erzielen. Zur Untersuchung der Funktion des Tuners ist dieser Umweg zunächst sinnvoller, denn was in die eine Richtung funktioniert, gilt auch für deren Umkehr. Schließt man an den Tunerein-

gang die gleichwertige Fehlanpassung an, erreichen wir am gegenüberliegenden Ende nämlich präzise 50 Ohm. Weiterhin besteht eventuell der Bedarf, zu Messzwecken einen definierten Mismatch zu erzwingen, um das Verhalten z.B. eines Verstärkers bei Fehlanpassung zu studieren. Auch hier wäre es sinnvoll, die vorhandenen 50 Ohm zu „verschlechtern“, wie wir später noch sehen werden. Aus Gründen der besseren zeichnerischen Darstellung wurde für die in den folgenden Bildern 4 und 5 verwendeten Beispiele eine bewusst niedrige Impedanz von 26 Ohm für die Slugs gewählt.

Der Slug-Tuner basiert auf dem Effekt der Leitungstransformation. Daher ist die elektrische Länge der Slugs bestimmend für den Frequenzbereich, den der Tuner abdecken wird. Wir unterstellen für unsere Betrachtung, dass der Slug aufgrund seiner Abmessungen bei einer bestimmten Frequenz exakt eine $\lambda/4$ -Transformation bewirkt. Im Smithdiagramm ist die Transformation des 50-Ohm-Abschlusses (roter, offener Marker) als dunkelgrüner Verlauf dargestellt.

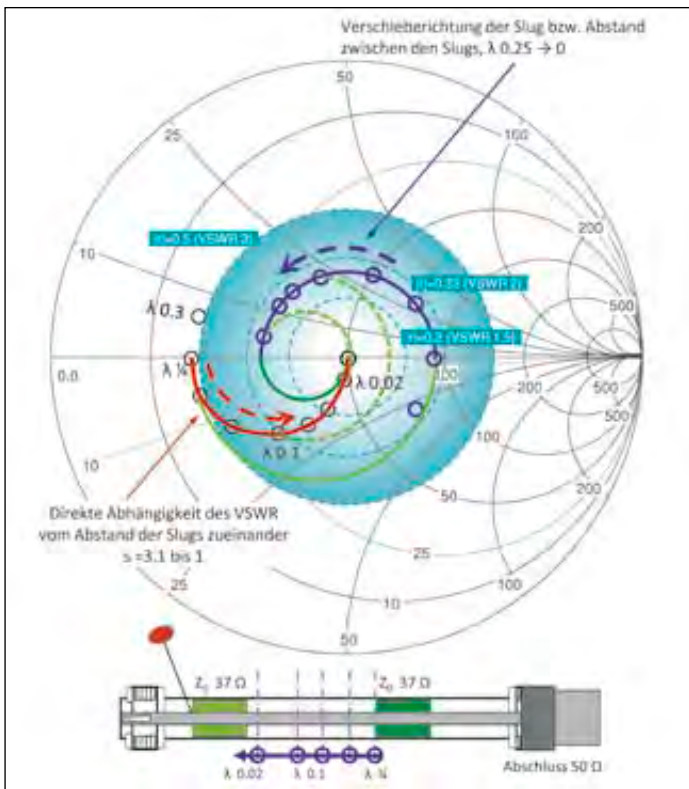


Bild 6: Verlauf bei schrittweise veränderten Slug-Abständen

Wir erhalten durch die 26-Ohm-Leitung, die ja durch den Slug (dunkelgrün) gebildet wird, einen transformierten Wert von rund 14 Ohm. Für rein ohmsche Verhältnisse gilt die Grundformel:

$$Z_{\text{Leitung}} = \sqrt{Z_{\text{Abschluss}} * Z_{\lambda/4 \text{ Transf}}}$$

Umgestellt auf den Widerstandswert nach erfolgter $\lambda/4$ -Transformation:

$$Z_{\lambda/4 \text{ Transf}} = \frac{Z_{\text{Leitung}}^2(\text{Slug})}{Z_{\text{Abschluss}}}$$

Nach dem ersten Slug im Leitungsverlauf (dunkelgrün) liegt somit ein für diesen Fall reeller Widerstand von rund 14 Ohm vor, der nun von der zwischen den Slugs wirkenden 50 Ohm Luftleitung „übernommen“ wird. Auch diese 50 Ohm-Leitung soll zunächst eine elektrische Länge von $\lambda/4$ aufweisen, sie verkörpert letztendlich den Abstand bis zum nächsten Slug, im Smithdiagramm violett eingezeichnet. Der Slug-Abstand wurde

also bewusst auf $\lambda/4$ eingestellt! Die für das 50-Ohm System vorliegende Fehlanpassung (14 Ohm) wird auf dem Kreis des konstanten Reflexionsfaktors in den reellen Wert von rund 179 Ohm transformiert, im Diagramm veranschaulicht der violette Halbkreis die Richtung und den Verlauf.

Der zweite Slug (hellgrün) bildet erneut eine 26 Ohm-Leitung, wieder mit einer elektrischen Länge von $\lambda/4$. Dieser Leitung wird eine Fehlanpassung von 179 Ohm angeboten, welche sie mit $\lambda/4$ -Transformation auf einen Wert von 3.8 Ohm bringt. Zur Berechnung wird die bereits vorgestellte Formel verwendet. Zu dem so erreichten Widerstand von 3.8 Ohm kann ein VSWR von 19 bzw. ein Reflexionsfaktor von $|r| = 0.9$ (blauer Kreis) ausgewiesen werden.

Nun kann man sich berechtigt die Frage stellen: Wozu der Aufwand einer 3-fachen Leitungstransformation? Die Transformation des 50 Ohm Abschlusses auf einen Wert von 3.8 Ohm, unter dem zugehörigen Reflexionsfaktor

von 0.9, wäre, sofern man das wollte, einfacher durch ein einzelnes Stück Leitung, mit rund 14 Ohm Wellenwiderstand, zu erreichen gewesen.

Um Klarheit zum verwendeten Prinzip zu erhalten gehen wir einen Schritt weiter und betrachten Bild 5. Geändert wird jetzt nur der Abstand der Slugs zueinander, d.h. die elektrische Länge der 50-Ohm-Strecke wird auf $\lambda 0.05$ reduziert, im Diagramm violett gekennzeichnet. Die elektrische Länge der Slugs selbst ist fix, sie ist ja durch ihre mechanische Auslegung bestimmt.

Der transformierte Wert wird durch die veränderte Einstellung in den kapazitiven Bereich verschoben, er nimmt dabei den grau gestrichelten Weg. Wir befinden uns nun im komplexen Bereich des Diagramms und nicht mehr auf der realen Widerstandsachse, die vorgestellte Formel kann nicht mehr in dieser einfachen Form verwendet werden. Der Wert der transformierten Impedanz lässt sich jedoch im Smithdiagramm able-

sen und beträgt $23 - j22 \Omega$. Das VSWR beträgt 2.7, was einem Betrag des Reflexionsfaktors von $|r| = 0.46$ entspricht (blauer Kreis). Nun wird deutlich, durch Verringerung des Slug-Abstands wird der hellgrüne Pfeil kontinuierlich in den kapazitiven Bereich zu niedrigeren VSWR-Werten gezogen. Es entsteht ein wenig der Eindruck, als hinge der hellgrüne Pfeil wie an einem Gelenk, das durch drei Hebel gebildet wird. Die einzelnen Hebel stehen dabei für die Leitungstransformationen.

Welchen Weg das Pfeilende dabei Schritt für Schritt beschreibt zeigt ein weiteres Bild. Hierzu wurde das tatsächliche Verhalten eines vorhandenen Tuners, dessen Slugs einen Wellenwiderstand von 37 Ohm aufweisen, simuliert. Die unterschiedlichen Slug-Abstände wurden in Bild 6 eingetragen.

Wir starten bei einem Slug-Abstand von $\lambda/4$. Der Präzisionsabschluss von 50 Ohm wird in dieser Gesamtkonstellation auf die reelle Achse zu rund 91 Ohm transformiert. Von der

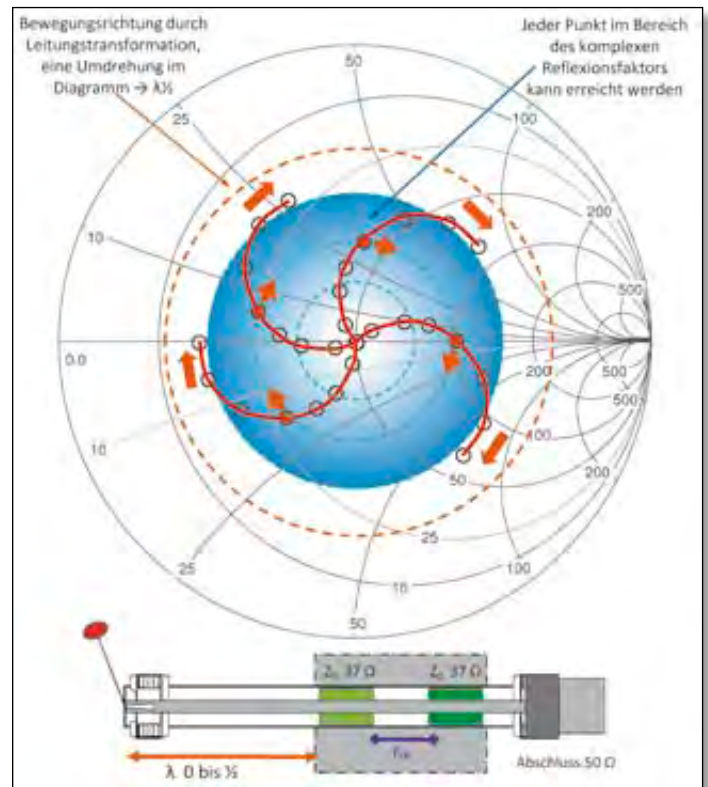


Bild 7: Verschiebung des Reflexionsfaktors über die gesamte komplexe Ebene

Quelle aus betrachtet, entsteht dieser Punkt aus der $\lambda/4$ Transformation der Abstandstrecke (violett, 50 Ohm Luftleitung), deren Ausgangspunkt durch den ersten Slug (dunkelgrün) auf 27.4 Ohm gesetzt worden war.

Nun wird der Slug-Abstand schrittweise verringert. Jeder violette Punkt repräsentiert eine bestimmte Abstandseinstellung. Die dabei am hellgrünen Slug-Ende entstandenen komplexen Impedanzen und damit zusammenhängenden Reflexionsfaktoren bzw. VSWR's wurden aufgenommen und anschließend durch eine rote Linie verbunden. Jetzt wird klar, wie die Zusammenhänge zwischen sich verkürzendem Slug-Abstand und dem erreichten VSWR ablaufen. Die Richtungen sind jeweils mit roten und violetten Pfeilen gekennzeichnet.

Der dabei durchquerte Bereich für VSWR oder Reflexionsfaktor ist als blaue Kreisfläche gekennzeichnet, die Farbintensität illustriert die Höhe der Reflexionswerte. Deutlich ist die Grenze bei einem VSWR von 3.1 zu erkennen, sie wird bei einem Abstand von $\lambda/4$ erreicht, bei einer „Slug-Impedanz“ von 37 Ohm ist nicht mehr drin. Wird der Abstand weiter erhöht, führt das wieder zu einer Verringerung des VSWR, im Bild 6 wurde eine weitere Markierung für den Slug-Abstand $\lambda 0.3$ eingezeichnet, der den Richtungswechsel zurück zu kleineren Reflexionswerten erkennen lässt. Anhand der angegebenen λ -Werte ist außerdem zu erkennen, dass mit zunehmender Annäherung zum Mittelpunkt im Diagramm, und damit zur optimalen Anpassung, die λ -Abstände immer kürzer werden (z.B. $\lambda 0.02$). Die Einstellung gestaltet sich in diesem Bereich sehr filigran, was eine sehr präzise gefertigte Feinmechanik erfordert.

Fassen wir die bisherigen Erkenntnisse zusammen: Die mechanische Breite der Slugs bestimmt entscheidend den verwendbaren Frequenzbereich des Tuners. Das Material (Dielektrikum), aus welchem die Slugs

gefertigt sind, ist für deren Wellenwiderstand und damit dem maximal möglichen VSWR verantwortlich. Der eingestellte Abstand der Slugs zueinander bestimmt das momentan vorherrschende VSWR bzw. den Betrag des Reflexionsfaktors (blauer Kreis). Aus Sicht der Netzwerkanalyse handelt es sich dabei um skalare Größen.

Wir sind also in der Lage, ein in Grenzen kontinuierlich einstellbares VSWR bzw. einen Betrag des Reflexionsfaktors herzustellen. Lautet die Aufgabe ein bestimmtes VSWR zu produzieren, dann ist man mit der Einstellung des dafür notwendigen Slug-Abstands bereits am Ziel angekommen.

Einstellung komplexer Werte

Eingangs wurde erwähnt, dass mit dem Slug-Tuner jeder Punkt in der komplexen Impedanz- bzw. Reflexionsfaktorebene erreichbar sei, bzgl. Netzwerkanalyse handelt es sich dabei um vektorielle Größen. Lautet also die Aufgabe eine definierte komplexe Impedanz bzw. einen Reflexionsfaktor einzustellen oder bewusst in den kapazitiven bzw. induktiven Bereich zu wechseln, gewinnt eine weitere Einstellung am Slug-Tuner Bedeutung.

Seither haben wir nur den Abstand zwischen den Slugs betrachtet, die Lage auf der Gesamtlänge des Tuners bzw. der Luftleitung wurde dabei außer Acht gelassen.

Die nach dem zweiten Slug herrschende komplexe Impedanz trifft auf die 50 Ohm Luftleitung und erfährt hier eine weitere Leitungstransformation. Wie wir wissen, erfolgt eine Transformation auf dem Kreis des konstanten Reflexionsfaktors. Dies gilt natürlich auch für das Stück der Luftleitung vom letzten Slug bis zur Anschlussbuchse des Tuners, die im Beispiel als Bezugsebene (rote Stecknadel) definiert wurde. Um alle komplexen Impedanzwerte zu erreichen ist eine volle Umdrehung im Smithdiagramm erforder-

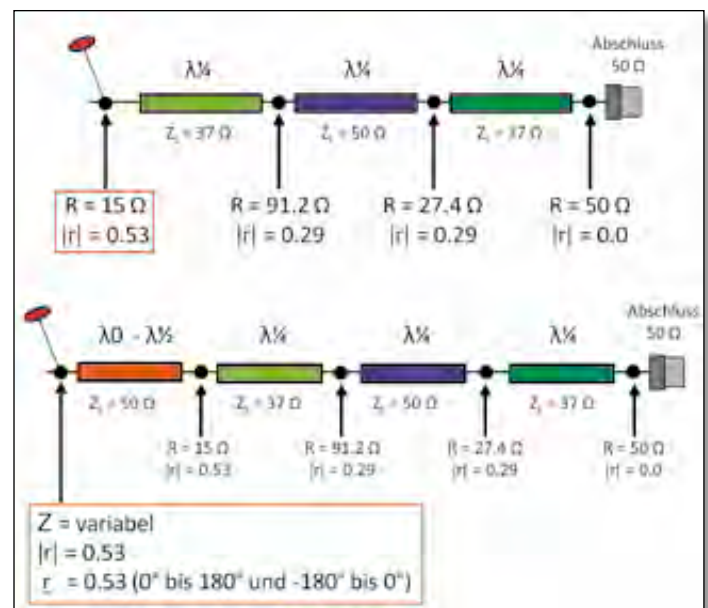


Bild 8: Ersatzschaltbilder der Leistungstransformationen

lich, was einer Wellenlänge von $\lambda/2$ entspricht. In Bild 7 wurde diese Impedanztransformation für alle zuvor eingestellten VSWR-Punkte zu bestimmten Lagepunkten auf dem Tuner eingezeichnet (orange). Die grau hinterlegte Umrandung der Slugs deutet an, dass der Abstand der Slugs zueinander quasi im Verbund gehalten ist, und dieser im orange gekennzeichneten Bereich bewegt wird. Die Folge ist, die rot dargestellte VSWR-Kurve kann im Uhrzeigersinn über die gesamte Fläche (blau) des komplexen Reflexionsfaktors bzw. der komplexen Impedanz gedreht werden.

Für den praktischen Einsatz ist zu beachten, dass die auf den Tuneranschluss gesetzte Bezugsebene durch weitere Anschlusskabel verschoben wird, die Leitungstransformation erfährt damit eine „Verlängerung“ und damit verschieben sich wiederum die Verhältnisse der komplexen Impedanz. Soll eine bestimmte komplexe Größe eingestellt werden, dann ist diese mit dem angeschlossenen Anschlusskabel z.B. durch Messung mit einem VNWA oder Vektorvoltmeter, zu bestimmen. Es gelten dabei die Regeln für die Bestimmung der Bezugsebenen wie man sie für vektorielle Messungen kennt. Bild 8 zeigt zusammenfassend die Verhält-

nisse nochmals in schematischer Form als Ersatzschaltbild.

Der obere Teil des Bildes zeigt die „skalare“ Sichtweise, die drei Stufen der Leistungstransformation und deren Einzelwerte sind durch Pfeile gekennzeichnet, die Bezugsebene (rote Stecknadel) befindet sich direkt am Ende des zweiten Slugs (hellgrün). Hier herrscht ein reeller Widerstand von rund 15 Ohm, was einem Reflexionsfaktor von $|r| = 0.53$ (VSWR 3.2) entspricht. Der erste Slug (dunkelgrün) transformiert den Präzisionsabschluss auf $R = 24.4$ Ohm, dann folgt die Transformation der Luftleitung (Slug-Abstand), die nach $\lambda/4$ ein $R = 91.2$ ausgibt. Deutlich zu erkennen, der Betrag des Reflexionsfaktors bleibt hier konstant auf $|r| = 0.29$, denn wir bewegen uns im Fall der 50 Ohm Luftleitung auf dem Kreis des Reflexionsfaktors. Wird der $\lambda/4$ -Slug-Abstand verringert, existiert an dieser Stelle kein reeller Widerstand mehr, wir erhalten eine komplexe Impedanz. Berechnungen müssen dann mit komplexen Zahlen ausgeführt werden, das Smithdiagramm ermöglicht dem Praktiker das einfache Ablesen der Werte aus dem Diagramm und illustriert zusätzlich den Impedanzverlauf.

Der untere Teil von Bild 6 wurde im Anschluss des letzten Slugs

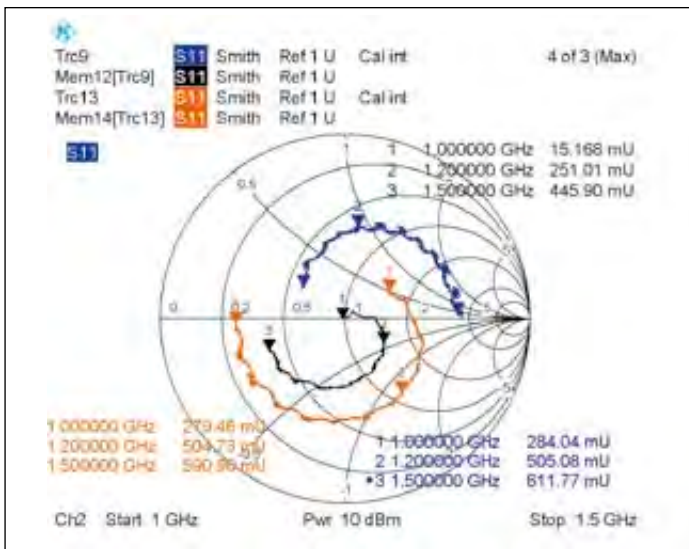


Bild 10: Das Prinzip von Load-Pull und Source-Pull

(hellgrün) um die transformierende Leitung (orange) erweitert. Hier setzt nun die „vektorielle“ Sichtweise an. Der vom Slug (hellgrün) transformierte Wert ($R = 15 \text{ Ohm}$) wird an die Leitung (orange) übergeben und erfährt eine weitere Transformation, die sich auf dem Kreis des konstanten Reflexionsfaktors bewegt. Während die Impedanz variabel ist, bleibt der Betrag des Reflexionsfaktors ($|r| = 0.53$) konstant, siehe Einträge im roten Kasten. Betrachten wir den komplexen Reflexionsfaktor (r), hier in polarer Schreibweise, ist zu erkennen, dass dieser aus Sicht der Bezugsebene (rote Stecknadel) variiert. Eine Wellenlänge von 0 bis $\lambda/2$ ermöglicht das Durchfahren des gesamten Winkelbereichs von 0° bis 180° und -180° bis 0° .

Betrachtung der Bandbreite

Wir haben gesehen, der Slug-Tuner beruht auf den Effekten der Leitungstransformation, und wir wissen, dass die Leitungstransformation von der Wellenlänge und damit direkt von der Frequenz abhängt. Die vorangegangenen Betrachtungen beschränkten sich auf Ergebnisse der Transformation bei einer festen Frequenz. Variiert man die Frequenz, so werden zwangsläufig auch die Impedanzen und Reflexionsfaktoren andere Werte

annehmen. In welchem Maß das erfolgen kann, zeigt die Messung an dem vorliegenden Tuner, Bild 9. Die Abmessungen des Tuners sind auf eine Frequenz von 1.2 GHz ausgelegt. Zunächst wurde für diese Frequenz ein Reflexionsfaktor von $|r| = 0.25$ durch den Slug-Abstand bei 1.2 GHz eingestellt. Der Sweepbereich des VNWA beträgt 1 GHz bis 1.5 GHz (Marker 1 und 3). Die schwarze Ortskurve zeigt den Verlauf der Impedanz über den

Sweepbereich. Anschließend wurde der Slug-Abstand verändert, der Reflexionsfaktor beträgt nun $|r| = 0.5$, die zugehörige Ortslinie (orange) verläuft in ähnlicher Form weiter nach außen versetzt. An den Readouts können die Reflexionsfaktoren und zugehörigen Frequenzen abgelesen werden. Ob die dargestellte Frequenzabhängigkeit akzeptabel ist, wird vom jeweiligen Anwendungsfall abhängen. Die blaue Ortslinie ist durch Verschieben des „Slug-Verbunds“, also gleicher Abstand der Slugs zueinander, an einer anderen Position auf der Luftleitung entstanden. Die nur geringfügige Veränderung der Reflexionsfaktoren zeigt, dass tatsächlich durch Verschieben der Position des Slug-Verbunds bei konstantem Betrag des Reflexionsfaktors so jede „komplexe Position“ im Smithdiagramm eingestellt werden kann.

Das Prinzip von Load-Pull und Source-Pull

Der Slug-Tuner ermöglicht, allgemein ausgedrückt, eine gezielte Veränderung des (komplexen) Reflexionsfaktors bzw.

VSWR an einem Port bzw. Tor. Hinter dem Port kann sich jegliche Art von Funktion verbergen, also eine Antenne, ein Verstärker, Generator oder wie in den vorangegangenen Beispielen, auch ein passives Element, der 50 Ohm Abschlusswiderstand.

Das Anpassen einer Antenne könnte also ohne Weiteres durch einen Slug-Tuner erfolgen.

Viel interessanter gestaltet sich jedoch die Anwendung in der Messtechnik, wenn es darum geht, definierte Fehlanpassungen an einem Port zu erzeugen. So kann das Verhalten z.B. eines Verstärkers oder auch eines einzelnen Transistors bei unterschiedlichen Anpassungs-Szenarien untersucht werden. Bild 10 zeigt schematisch einen vereinfachten Messaufbau zu dieser Aufgabe. Eingang und Ausgang des Verstärkers werden jeweils über Tuner mit den Ports des VNWA verbunden.

Im Falle des Eingangs spricht man von „Source-Pull“ und beim Ausgang von „Load-Pull“. Die Ports eines Analyzers sind korrekt mit 50 Ohm abgeschlossen. Der Tuner transformiert genau diesen Abschluss auf gewünschte (Fehl)abschlüsse, wie in den vorangegangenen Beispielen dargestellt. Das Messobjekt erhält am Eingang das Messsignal des Analyzers nun fehlangepasst und gibt es nach Verarbeitung an seinem Ausgang wiederum auf eine gewählte Impedanz bzw. Reflexion aus, die vom Analyzer erfasst wird. Der Analyzer zeigt das Verhalten des Messobjekts im Zustand von Fehlanpassung an.

Durch unterschiedliche Einstellungen der Tuner können verschiedene Betriebszustände hergestellt und dokumentiert werden.

Präzisions- und Automatiktuner

Was so einfach klingt, kann sehr arbeitsintensiv werden. Die Tuner müssen für jeden Messdurchgang erneut einjustiert und die Werte mit dem Analyzer



Bild 11: Automatiktuner Fa. Maury



Bild 12: Mechanischer Präzisions-Tuner, Slugs einzeln einstellbar Fa. Maury

kontrolliert werden. Für die durchgängige Untersuchung von Messobjekten werden komfortable Tuner mit entsprechender Rechnersteuerung angeboten, sogenannte Automatiktuner.

Bild 11 zeigt ein Exemplar der Firma Maury. Die Verschiebung der Elemente erfolgt hier durch Elektromotoren. Eingebaute Microkontroller und Messaufnehmer fahren die Slugs auf

die zur gewünschten komplexen Impedanz notwendige mechanische Position.

Beim seither vorgestellten Prinzip ist man von einem festen Wellenwiderstand der Slugs ausgegangen. Würde man den Wellenwiderstand der Slugs variabel gestalten, ergäbe sich eine zusätzliche Ausweitung der Einstellparameter. Der Wellenwiderstand im Bereich der Slugs

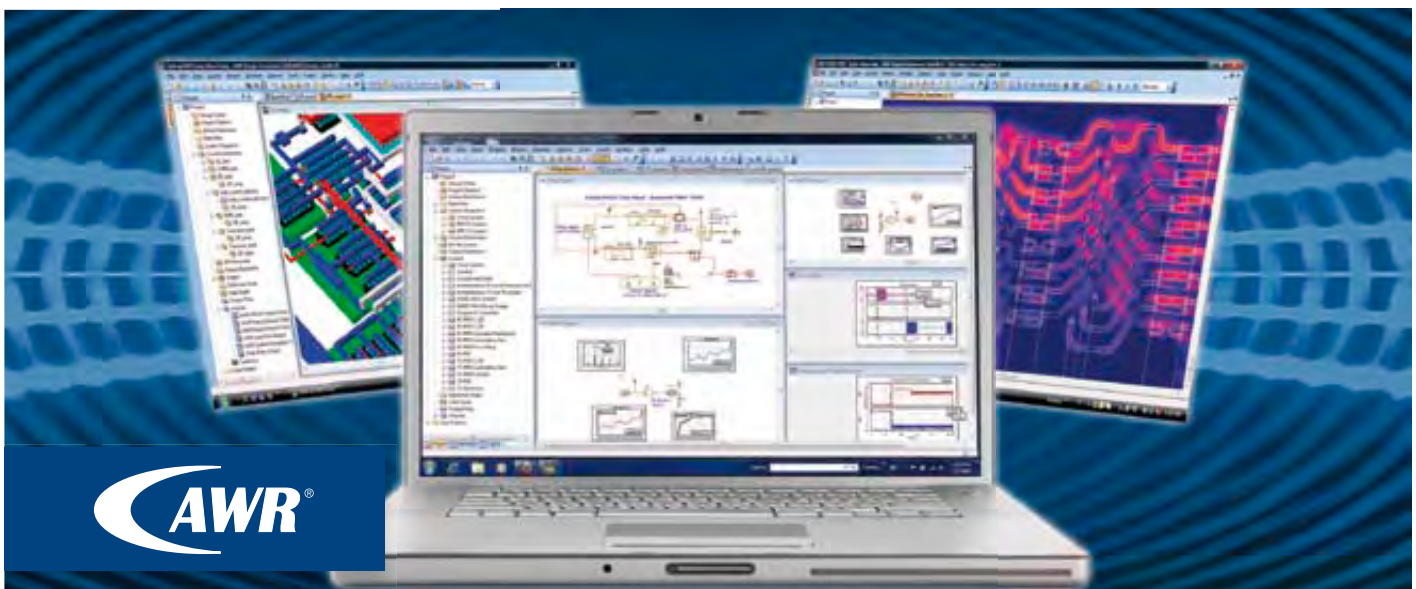
ist jedoch direkt abhängig von deren Material (Dielektrikum). Materialkonstanten sind nicht so ohne Weiteres „einstellbar“ zu gestalten. Es gibt moderne Tuner-Systeme, die durch eine variable Eintauchtiefe des Dielektrikums den Wellenwiderstand in der Luftleitung verändern.

Ins Smithdiagramm übertragen bedeutet das, dass der hellgrüne

und der dunkelgrüne Kreisbogen (z.B. in Bild 4) im Radius nun variabel werden. Es lässt sich leicht nachvollziehen, dass bei dieser Konstruktion die Vorgehensweisen für Einstellungen sehr komplex werden können. Dieser Aufbau ändert jedoch nichts am vorgestellten Grundprinzip eines Tuners, das Smithdiagramm kann auch diese weiterentwickelte Variante an Präzisionsgeräte anschaulich erklären.

Wie erwähnt, gestaltet sich die Einstellung im „inneren Bereich“ des Smithdiagramms, also nahe der Anpassung, sehr filigran, teilweise müssen hier Abstände von wenigen bis Bruchteilen von Millimetern mechanisch stabil eingestellt werden können. Daher ist eine hohe mechanische Präzision (Bild 12) erforderlich, die sich an der Fertigung von z.B. Schieblehren oder Mikrometerschrauben orientiert. ◀

Joachim Müller



AWR®, der Innovationsführer bei Hochfrequenz-EDA-Software, liefert Software, welche die Entwicklung von High-Tech-Produkten beschleunigt.

Mit AWR als Ihre Hochfrequenz-Design-Plattform können Sie neuartige, preiswerte Produkte schneller und zuverlässiger entwickeln.

Finden Sie heraus, was AWR für Sie tun kann:

- Microwave Office® für die Entwicklung von MMICs, Modulen und HF-Leiterplatten
- AXIEM™ für 3D-Planar-Elektromagnetik-Analyse
- Analog Office® für das Design von RFICs
- Visual System Simulator™ für die Konzeptionierung von Kommunikationsarchitekturen

Laden Sie eine KOSTENLOSE 30-Tage-Testversion herunter und überzeugen Sie sich selbst. www.awrcorp.com

AWR
Germany

info@awrcorp.com
+49 89 4111 23 702