

$\lambda/4$ Anpaßtöpfe

Durch das Zusammenschalten von mehreren Antennen, kann der Gewinn einer Antennenanlage gesteigert werden. So läßt sich der Gesamtgewinn um 3dB (theoretisch) erhöhen, wenn 2 Antennen des gleichen Typs zusammengeschaltet werden. Die Antennen können aber nicht so ohne weiteres parallel angeschaltet werden, denn dadurch würde der resultierende Widerstand nicht mehr mit dem Wellenwiderstand des Antennenkabels übereinstimmen. Durch diese Fehlanpassung entstehen Reflexionen, die den Wirkungsgrad einer Anlage drastisch herabsetzen. Um ein Minimum an Verlusten zu erreichen muß der Widerstand der zusammengeschalteten Antennen mit dem Wellenwiderstand des Antennenkabels übereinstimmen. Dies kann durch den Einsatz von Transformationsleitungen erfolgen, die sich durch $\lambda/4$ Leitungselemente oder durch $\lambda/4$ Anpaßtöpfe realisieren lassen. Im folgenden Beitrag wird die Berechnung und der Aufbau von $\lambda/4$ Anpaßtöpfen beschrieben.

1.) Eigenschaften der $\lambda/4$ Leitung

Im Vergleich zu den Leistungsteilern aus Koaxialkabeln haben die $\lambda/4$ Anpaßtöpfe den Vorteil, daß die geforderten Leitungseigenschaften (durch die Wahl von entsprechenden Innen- und Außenleitern wie wir noch sehen werden) genau hergestellt werden können. Verwendet man Koaxialkabel zur Anpassung, so ist man auf deren Eigenschaften beschränkt und kann nur durch Parallelschaltung versuchen die notwendigen Werte zu erreichen. Auf welche Weise man die Anpassung auch herbeiführt, eines ist beiden gemeinsam, nämlich die elektrische Länge von $\lambda/4$.

Ohne allzu tief in die Mathematik einsteigen zu wollen, kommen wir doch nicht umhin uns mit einigen Formeln zu beschäftigen. Aus der Leitungstheorie geht folgende Formel für eine verlustlose Leitung mit einer Länge von $\lambda/4$ hervor:

$$Z_E = Z_W^2 / Z_A \quad (1)$$

wobei: Z_A der Abschlußwiderstand
 Z_E der geforderte Impedanz am Anfang der Leitung
 Z_W der Wellenwiderstand der $\lambda/4$ Leitung ist.

In Formel (1) ist die Aussage enthalten, daß der Abschlußwiderstand Z_A der $\lambda/4$ Leitung, wie bei einem Transformator, auf die Größe des Eingangswiderstands Z_E umgesetzt wird. Das heißt, die $\lambda/4$ -Leitung kann zur Anpassung verwendet werden. Zwei der Werte, die in Formel (1) eingesetzt werden sollen sind schon bekannt. Z_A ist der Widerstand aus der Parallelschaltung der gewünschten Anzahl von Antennen und Z_E ist die Impedanz des benutzten Antennenkabels. Also im Bereich des Amateurfunks im Regelfall 50Ω . Um die gewünschte Transformation zu erreichen, muß der $\lambda/4$ Anpaßtopf einen bestimmten Wellenwiderstand Z_W aufweisen. Formt man die Gleichung (1) um, so kann der gewünschte Wert direkt ermittelt werden.

$$Z_W = \sqrt{Z_E * Z_A} \quad (2)$$

Nachdem Z_W ermittelt wurde kann der Anpaßtopf dimensioniert werden.

2.) Aufbau von Koaxialkabeln

Der wichtigste Parameter einer HF-Leitung ist der Wellenwiderstand, er wird bestimmt durch den mechanischen Aufbau des Kabels.

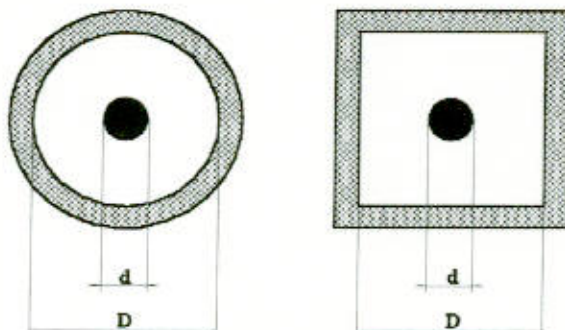


Abbildung 2: Aufbau von Koaxialleitungen

Wenn zwischen Innen- und Außenleiter außer Luft kein weiteres Dielektrikum vorhanden ist, dann läßt sich aus der Leitungstheorie folgende abgestimmte Zahlengleichung entwickeln, die für eine Koaxialleitung mit rundem Außenleiter den Wellenwiderstand näherungsweise angibt:

$$Z_w = 138 * \log_{10}(D/d) \quad (3)$$

Wobei Z_w der Wellenwiderstand

D der Innendurchmesser des Außenleiters und

d der Durchmesser des Innenleiters ist.

Die Gleichung zeigt, daß der Wellenwiderstand in diesem Fall nur durch die Durchmesser von Außenleiter und Innenleiter bestimmt wird.

Wie in Abbildung 2 dargestellt kann aber auch ein quadratischer Außenleiter verwendet werden. Hiermit läßt sich in Praxis leichter hantieren, da die nötigen Antennenbuchsen besser zu befestigen sind. Auch für diesen Aufbau läßt sich wieder der resultierende Wellenwiderstand berechnen. Allerdings muß die Formel (3) um einen „Korrekturfaktor“ erweitert werden. Die Gleichung lautet dann wie folgt:

$$Z_w = 138 * \log_{10}(1,08 * D / d) \quad (4)$$

Wie man sieht, wird auch hier der Wellenwiderstand nur durch das Verhältnis Außenleiterdurchmesser zu Innenleiterdurchmesser bestimmt. In der Literatur werden unterschiedliche „Korrekturfaktoren“ angegeben. Der Faktor 1,08 stammt aus den UHF-Unterlagen. Ich habe damit gute Ergebnisse erzielt und mit anderen Werten (z.B. 1,178 aus dem RSGB VHF/UHF-Manual) nicht experimentiert.

Da der benötigte Wellenwiderstand ja schon ermittelt wurde (Formel (2)) müssen nun noch Innen- und Außenleiter dimensioniert werden. Für den Außenleiter wird man sicherlich auf ein Profil aus dem Baumarkt zurückgreifen, so daß auch dieser Wert schon vorgegeben ist. Jetzt kann man die Gleichung (4) so umformen das der Innenleiter berechnet werden kann:

$$d = \frac{(1,08 * D)}{10^{(Z_w/138)}} \quad (5)$$

3.) Berechnungsbeispiel

Anhand eines Beispiels will ich einmal exemplarisch das Schema für eine Dimensionierung eines $\lambda/4$ Anpaßtopfes darstellen. Dazu nehmen wir einmal an, daß zwei Yagi-Antennen für 144 Mhz mit einem Fußpunktswiderstand von 50Ω zusammenschaltet werden sollen . Das verwendete Antennenkabel soll ebenfalls eine Impedanz von 50Ω haben.

1.) Durch die Parallelschaltung der beiden Yagi-Antennen ergibt sich ein Gesamtwiderstand von 25 Ohm, der auf den Wellenwiderstand des Antennekabels transformiert werden muß.

2.) Der für die Transformation erforderliche Wellenwiderstand des $\lambda/4$ Anpaßtopfes errechnet sich nach Gleichung (2) auf einen Wert von $Z_w = 35,4$ Ohm.

3.) Für die Dimensionierung des Innenleiters muß zunächst ein geeignetes Profil für den Außenleiter gewählt werden. Wir wählen hier ein Alu-Vierkantrohr mit einem Innendurchmesser von 17 mm. Nach Gleichung (5) ergibt sich dann ein Innenleiter mit einem Durchmesser von 10,18 mm.

4) Nun muß nur noch die Länge des Anpaßstopfes nach der bekannten Formel

$$\lambda = c / f \quad (6)$$

berechnet werden.

Wobei λ die Wellenlänge in [m]

c die Lichtgeschwindigkeit mit einem Wert von $3 \cdot 10^8$ m/s und

f die Frequenz in [Hz] ist.

Da der Anpaßstopf eine Länge von $\lambda/4$ hat, ergibt sich für das 2 Meter Band eine Länge von 52,1cm.

4.) Mechanischer Aufbau

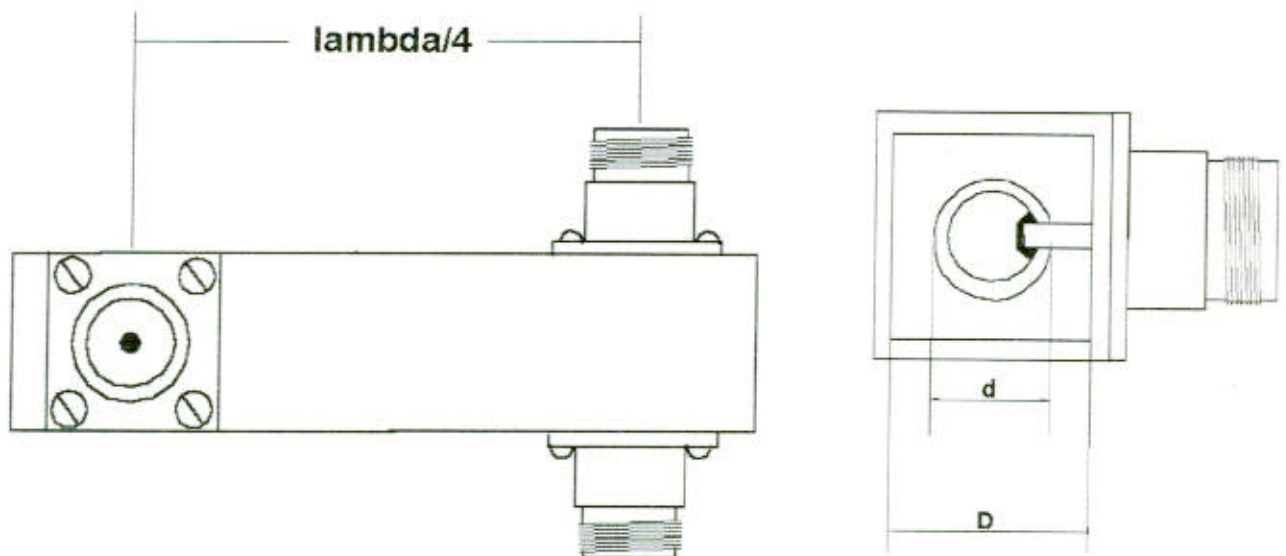


Abbildung 3 : Aufbau der $\lambda/4$ Anpaßstöpsel

Der Leistungsteiler wird entsprechend Abb. 3 aufgebaut. Bezüglich des Vierkantprofils bestehen nicht viele Auswahlmöglichkeiten. Zum einen sollte das Rohr nicht zu klein sein, damit noch die Buchsen befestigt werden können und zum anderen bringt ein zu großes Vierkantprofil keine weiteren Vorteile mit sich. Ich habe mit zwei Profilgrößen experimentiert. Zum einen mit einem Außenleiter von 17mm lichter Weite aus dem o.g. Berechnungsbeispiel und zum anderen mit einem Innendurchmesser von 21mm. Das zuletzt genannte Alurohr hat den Vorteil, daß N-Buchsen mit normalem Flansch verwendet werden können. Auf dem kleineren Rohr lassen sich BNC-Buchsen problemlos befestigen. Aber es gibt auch N-Buchsen mit einem BNC-Flansch, die sich hier befestigen lassen.

Der Innenleiter aus unserem Berechnungsbeispiel hatte einen Durchmesser von 10,18 mm. Dieser Wert läßt sich nur mit einer Drehbank exakt herstellen. Es hat sich aber gezeigt, daß es vollkommen ausreichend ist, wenn ein Messingrohr von 10mm Durchmesser, das man in jedem Baumarkt bekommen kann, einbaut wird. Aufgrund der Abweichung vom errechneten Wert entsteht eine geringfügige Fehlanpassung, die sich in einer errechneten Rückflußdämpfung von 30 dB äußert. Tatsächlich wurde eine Rückflußdämpfung von 28 dB gemessen. Ein Wert, der für Amateurzwecke mehr als ausreichend ist.

Wenn vier Antennen zusammengeschaltet werden sollen, so ergibt sich bei einem 17mm Alu-Profil ein Durchmesser des Innenleiters von 12,1 mm. Auch hier kann entweder ein Messingrohr oder ein Kupferrohr aus der Installationstechnik mit 12 mm Durchmesser verwendet werden. Ein Leistungsteiler für 70cm wies eine gemessene Rückflußdämpfung von über 30 dB auf.

Würde man ein anderes Aluprofil verwenden, zum Beispiel eines mit einem Durchmesser von 21mm, so würden sich Innenleiter ergeben, die nur noch mit der Drehbank zu realisieren sind. Ein

aufgebauter 2-fach Leistungsteiler mit diesen Abmessungen für das 23cm Band hatte z.B. eine Rückflußdämpfung von 23 dB. Der 8-fach Teiler aus Abb. 1 ist allerdings deutlich schlechter als erwartet, hier ergab sich, wahrscheinlich wegen des zu ungenauen Aufbaus eine Rückflußdämpfung von nur 18 dB.

In Tabelle 1 sind noch einmal einige Leistungsteiler mit Ihren Abmessungen zusammengestellt.

Art	D [mm]	d [mm]	$\lambda/4$ [cm]	Z _w [Ω]
2 m (2-fach)	17	10,18	52,08	35,4
70 cm (4-fach)	17	12,1	17,36	25
23 cm (2-fach)	21	12,57	5,79	35,4

Der Außenleiter sollte um einiges länger sein $\lambda/4$ (Länge unkritisch) damit die Koaxbuchsen noch angebracht und das Rohr mit Kunststoff-Verschußkappen abgedichtet werden kann. Man kann die Enden auch mit einem kleinen Metallplättchen verschließen. Kapazitive Einflüsse entstehen dadurch nicht. Um die Antennenbuchsen auf dem Aluminiumrohr zu befestigen, schneidet man pro Flansch 4 Gewinde hinein und montiert die Buchsen anschließend mit Zylinderkopfschrauben M3x6. Der Innenleiter des $\lambda/4$ Anpaßtopfes wird mit den Stiften der Buchsen verbunden. Zuvor wird eine kleine Einkerbung am Innenleiter geschaffen, wo er mit dem Stift der Buchse verlötet wird (siehe Abb. 3 und 4). Der Innenleiter wird dann nur durch die Verbindung mit den Buchsen im Vierkanrohr gehalten.

5.) EXCEL-Tabelle

Beim Autor ist eine EXCEL-Tabelle erhältlich, die die oben beschriebenen Berechnungen automatisch durchführt. Nach der Eingabe von einigen Werten bekommt man eine DIN A4 Seite mit einer technischen Zeichnung und allen erforderlichen Maßen ausgedruckt. Ferner läßt sich das theoretisch zu erwartende SWR berechnen, wenn ein anderer als der ausgerechnete Innenleiter verwendet werden soll.

Die EXCEL-Tabelle ist gegen Einsendung einer Diskette und eines ausreichend frankierten Rückumschlags beim Autor erhältlich.

6. Quellenangabe

An dieser Stelle möchte ich mich bei Werner DK3EH, der die erforderlichen Messungen bei den Anpaßtöpfen vorgenommen hat und bei Heiner DF9WK, der mir einige auf einer Drehbank gefertigte Innenleiter zur Verfügung gestellt hat, bedanken.

- [1] Grundlagen der Elektrotechnik, von E. Philippow aus der Akademischen Verlagsgesellschaft Geest & Pportig Leipzig
- [2] UHF-Unterlagen von Karl Weiner
- [3] VHF/UHF Manual von G.R. Jessop, RSGB