

# HF- und Mikrowellen-Abschlusswiderstände

HF- und Mikrowellen-Abschlusswiderstände verrichten bei Hochfrequenzsystemen sehr wichtige Aufgaben der Leistungsabsorption oder der Reflexions- bzw. Leitungsanpassung. Die folgenden Ausführungen geben einen Überblick über gängige HF- und Mikrowellenabschlüsse und beleuchten relevante Parameter, die bei der jeweiligen Anwendung beachtet werden sollten.

Von Alen Fejzuli, Gabriel Orozco und Falko Ladiges



**A**bschlusswiderstände, auch Terminations, Ersatzwiderstände oder (Dummy-) Loads genannt, absorbieren unerwünschte oder besser ungenutzte Energie in Elektronikschaltungen und wandeln diese in Wärme um. Bei hochfrequenten oder Mikrowellen-Übertragungen dienen sie zum Abschluss der HF-Antennenausgänge, die typischerweise eine Impedanz von  $50\ \Omega$  oder bei Rundfunkübertragungen auch  $75\ \Omega$  haben. Abschlusswiderstände werden auch als Blindlast oder Ersatzabschluss (engl. Dummy Load) in Hochleistungsanwendungen eingesetzt.

## Applikationen für HF- und Mikrowellen-Abschlusswiderstände

Es gibt vielfältige Einsatzmöglichkeiten von Abschlüssen in HF- und Mikrowellenanwendungen. Einige typische werden im Folgenden dargestellt.

### Testaufbauten und Messgeräteanwendungen

Hochlast-Abschlusswiderstände werden als Ersatzantennen verwendet, um Sendeanlagen zu testen (Bild 1). Die Impedanz der Abschlüsse kann auch abweichend, also nicht angepasst, gewählt werden, um ein kontrolliertes

messgeräten nötig oder um vorweg verschiedene Szenarien zu überprüfen, die nach Installation im Betrieb auftreten können. Bei Sendeanlagen ist der Test mit einer Antenne durch die frequenzabhängige Impedanz nicht möglich; zudem würde durch die Antenne das Signal wirklich abgestrahlt und andere Frequenznutzer damit gestört werden.

### Leistungsteiler und Kombinerer

Abschlüsse werden an den Isolationsausgang von Hybrid- und Richtkopplern angeschlossen, um die Rückleitung der Signale in den Eingang zu unterdrücken. Würde dies nicht geschehen, so hätte dies eine Minderung der Effizienz oder gar Beschädigung der Quelle zur Folge. Eine Veranschaulichung wird in Bild 2 dargestellt. In Wilkinson-Leistungstei-

lern werden Abschlüsse für das Verschließen von ungenutzten Ausgängen verwendet. Optimales Design dieser Schaltungen setzt einen exakten Impedanzabgleich aller Ausgänge voraus.

### HF- und Mikrowellen-Isolatoren

Isolatoren verwenden Ferrite und Dauermagnete, um den Fluss der HF-Energie durch die Schaltung zu leiten. In Isolatoren ist immer ein Ausgang mit einem Abschlusswiderstand abgeschlossen. Dieser Abschluss absorbiert die reflektierte Energie vom Ausgang des Systems, wie in Bild 3 dargestellt. Gängige Isolatoren mit Hochlast-Abschlusswiderständen indes sind in Bild 4 zu sehen.

### Design von HF- und Mikrowellen-Abschlusswiderständen

Die Kenntnis von mehreren Parametern der Hochfrequenz- und Mikrowellentechnik ist wichtig, um den richtigen Abschluss für eine bestimmte Anwendung zu definieren. Einige der Parameter werden im Folgenden aufgeführt:

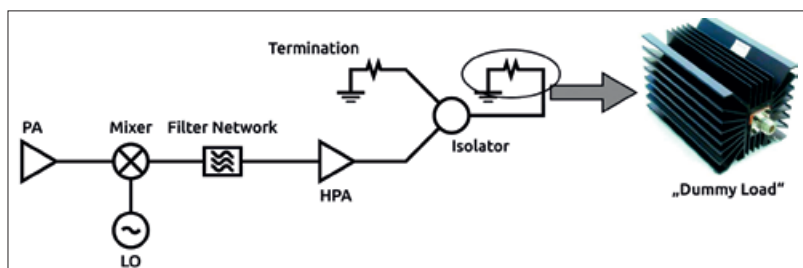


Bild 1. Sendermodul im Test mit Abschlüssen als Antennenersatz.

(alle Bilder: WDI AG)

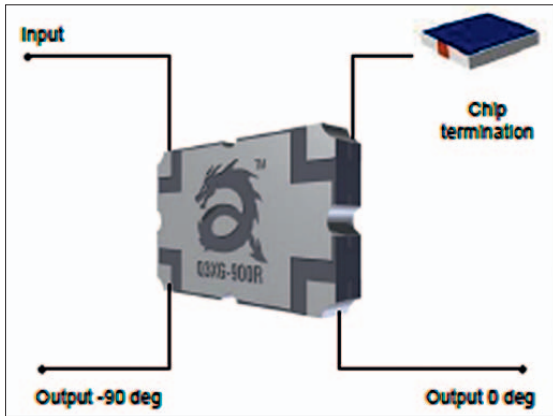


Bild 2. SMD-Hybridkoppler mit Chip-Abschlusswiderstand am Isolations-Port.

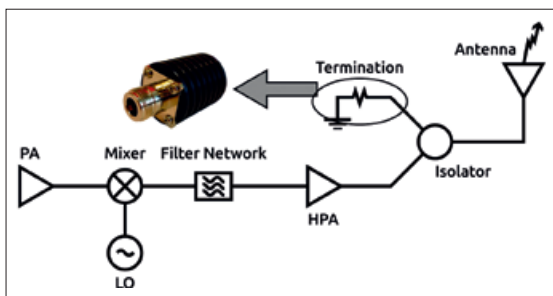


Bild 3. Ein HF-Isolator mit Hochlast-Abschlusswiderstand am Isolations-Port.

- **Stehwellenverhältnis (SWR) oder Voltage Standing Wave Ratio (VSWR):** Ein idealer Abschlusswiderstand absorbiert die hereinkommenden Signale über den ganzen Frequenzbereich komplett. Dieses Verhalten wäre ein perfekter Leistungsabgleich mit dem VSWR-Verhältnis von 1,0 : 1. In realen Schaltungen wird dieses ideale Verhalten aber aufgrund von inhärenten physikalischen Eigenschaften der Abschlüsse, die ihr Verhalten frequenzabhängig ändern, nicht realisierbar sein. Diese Einschränkung kann aber durch interne Impedanzanpassung verringert werden.
- **Kapazität:** Die Betriebsfrequenz nimmt Einfluss auf die Leistungs-

merkmale von Abschlusswiderständen, insbesondere auf die Energie-Absorptions- und Signal-reflexions-Eigenschaften. Parasitäre Kapazität und Induktivität limitieren aber die Höhe der Betriebsfrequenz. Einige Hersteller wie Res-Net Microwave bieten Abschlüsse mit sehr niedriger parasitärer Kapazität und exzellentem Impedanzabgleich von DC bis 40 GHz an.

→ **Verlustleistung:** In den meisten HF- und Mikrowellen-Abschlusswiderständen wird die entstehende Hitze vom Widerstandselement absorbiert. Entwickler müssen also stets dafür sorgen, dass die Hitze optimal vom Bauteil abgeführt wird. Dabei werden mehrere dielektrische Grundmaterialien bevorzugt zur Hitzeableitung verwendet: im Einzelnen Aluminium, Aluminiumnitrid und Berylliumoxid. Überlegene thermische Eigenschaften kann insbesondere CVD-Diamant bei sehr hohen Frequenzen vorweisen. Bild 5 vergleicht die erstgenannten Materialien mit CVD-

Diamant hinsichtlich der Leistungsdichte.

- **Temperaturbereich:** Das Widerstandselement in einem Abschlusswiderstand limitiert die mögliche Arbeitstemperatur des Bauteils. Dieses Widerstandselement kann – in Dickfilm- oder Dünnschichttechnologie realisiert – einen Temperaturbereich von -55 bis +150 °C gewährleisten. Während der Verarbeitung und Montage wird die Temperatur ferner durch die verwendete Kontaktierung limitiert und liegt normalerweise unter 300 °C.

→ **Ohmwertbereich:** 50 Ω ist Standard bei den meisten HF- und Mikrowellenanwendungen, und dies bei einer Toleranz von 1 bis 5 %. Andere Widerstandswerte von 0 Ω bis mehreren MΩ sind ebenso möglich.

→ **Größenabmessungen:** HF-Abschlusswiderstände gibt es in Größen unter 1 mm; sie können aber auch 0,5 m lang sein. Hierbei muss stets ein Kompromiss zwischen Kenngrößen wie Leistung, Größe und der maximal möglichen Frequenz gefunden werden und sind dabei u.a. vom verwendeten Material und Bauteildesign abhängig.

→ **Gewicht:** Die Leistungseigenschaften der Abschlüsse sind u.a. von ihrer Größe abhängig. Bei Luft- oder Raumfahrtanwendungen ist zudem auch das Gewicht von essenzieller Bedeutung; bei Telekommunikationsanwendungen ist dies eher zweitrangig.

→ **Ausführung:** Die Anwendung gibt normalerweise vor, welche Ausführung – etwa Chip-, Flansch-, Stab- oder Koaxial-Ausführung – den Vorzug erhält. Chip-Abschlüsse werden hauptsächlich in PC- oder allgemei-

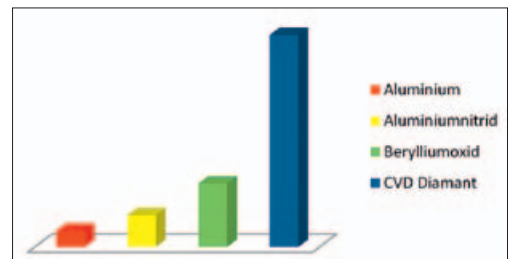


Bild 5. Leistungsdichtevergleich der für High-Power- und HF-Abschlüsse verwendeten Keramiken zur Wärmeableitung.

nen Board-Anwendungen mit moderaten Leistungswerten eingesetzt, während Flanschabschlüsse bei der Ableitung hoher HF-Leistungswerte zum Zuge kommen. Die wohl gängigsten und am weitesten verbreite-

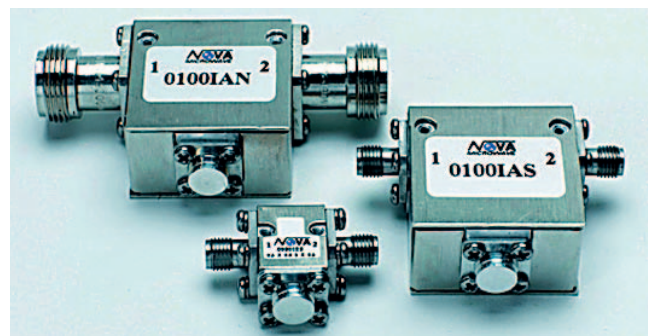


Bild 4. Beispiele für Isolatoren mit einem Abschlusswiderstand von Res-Net Nova Microwave.

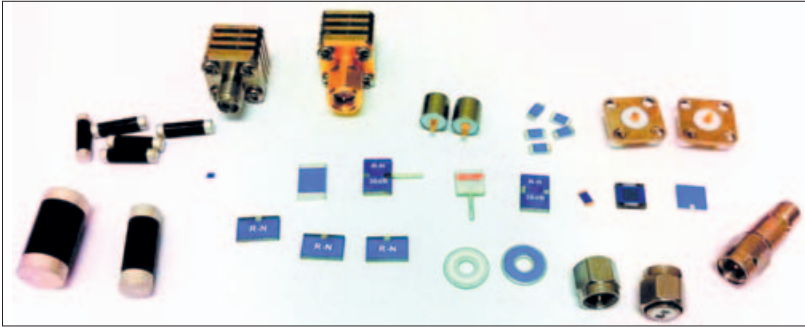


Bild 6. Beispiele für verschiedene HF- und Mikrowellen-Abschlusswiderstände.

ten Abschlüsse sind die Koaxial-Versionen, die je nach benötigter Frequenz mit verschiedenen Anschlüssen versehen werden. Die Stabversionen werden fast ausschließlich innerhalb der Koax-Abschlüsse verwendet und erreichen über die gesamte Frequenzbandbreite gute Wirkungsgradwerte, sofern sie in einem geeigneten Kühlkörper untergebracht sind. Mehrere Typen von HF-Abschlüssen werden in Bild 6 gezeigt.

### Hinweise für die Montage der Bauteile

Die verschiedenen Anschlussarten erfordern bei der Montage vor Ort unter-



Bild 7. Beispiel für einen Abschlusswiderstand mit Flanschanschluss.

schiedliche Vorgehensweisen, bei denen zudem auch unterschiedliche Kriterien wie folgt beachtet werden müssen.

### Flanschanschlüsse

Es gibt grundsätzlich mehrere Methoden, um geflanschte HF-Bauteile (Bild 7) auf einen Kühlkörper oder eine Metallplatte zu montieren. Immer kritisch ist es dabei, wenn die Flanschunterfläche zu festen und zu engen Kontakt mit der Oberseite des Kühlkörpers hat, da sich die Materialien unter Hitze unterschiedlich stark ausdehnen. Zudem sollte darauf geachtet werden, dass keine Beschädigungen wie Kratzer oder Delen auf den zu kontaktierenden Flächen sind. Eine dünne Schicht thermischer Leitpaste wird immer empfohlen, da sie den Kontakt und den Hitzeabfluss zwischen den Flächen merklich verbessert. Der Kontaktstreifen der Abschlüsse sollte weder Druck noch Kraft nach oben erfahren, um potenziellen Beschädigungen, etwa dem Abplatzen der Keramikschutzplatte, vorzubeugen. Die Kontaktstreifen der Abschlüsse können mit allen gängigen Lötverfahren verarbeitet werden.

### Chipabschlüsse

Für eine optimale Funktionsfähigkeit benötigen Chipabschlüsse eine adäquate Kühlung, um eine Überhitzung und frühzeitigen Ausfall des Bauteils zu verhindern. Auf Platinen werden etwa Durchkontaktierungen und Bohrungen für die thermischen Ableitungen verwendet. Um den thermischen Widerstand zwischen dem Bauteil und der Platine zu verringern, werden diese Kupfer-plattierten Durchkontaktierungen unter und neben dem Chipabschluss platziert. Die Hitzeableitung kann auch noch durch Thermal Jumper verstärkt werden, die direkt neben den Chipabschlüssen auf derselben Kontaktfläche montiert werden. go



#### Alen Fejzuli

ist als President bei der Electrotechnik Microwave Group tätig. [alen.fejzuli@electrotechnik.com](mailto:alen.fejzuli@electrotechnik.com)



#### Gabriel Orozco

ist als Entwicklungsleiter bei der Res-Net Microwave für die Produktentwicklung verantwortlich. [gabriel.orozco@electrotechnik.com](mailto:gabriel.orozco@electrotechnik.com)



#### Falko Ladiges

ist als Leiter des Produktmarketing PEMCO bei der WDI AG beschäftigt. [fladiges@wdi.ag](mailto:fladiges@wdi.ag)