Ferrit-Isolatoren und Zirkulatoren

Ferrit-Isolatoren und Zirkulatoren spielen eine wichtige Rolle in HF-Systemen. Sie sind passive Ferritkomponenten, mit denen sich der HF-Signalfluss in einem System wunschgemäß steuern bzw. beeinflussen lässt. Ihr nichtreversibles Verhalten beim Anlegen von HF-Leistung wird in einer Vielzahl von Applikationen genutzt.

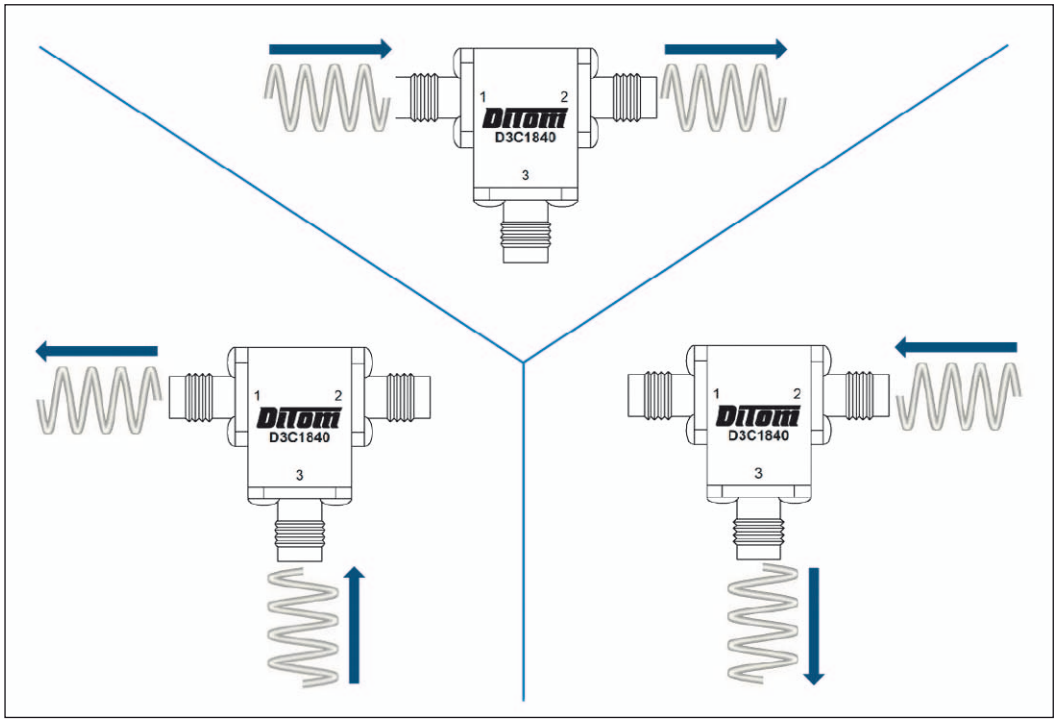

Bild 1: Oben - ein in Port 1 eingespeistes Signal verlässt den Zirkulator an Tor 2; unten rechts wird ein Signal in Port 2 eingespeist und links erfolgt die Einspeisung in Port 3.

Der HF-Zirkulator

Speist man in einen Zirkulator HF-Energie einer entsprechenden Frequenz am Anschluss 1 ein, so läuft sie im Uhrzeigersinn durch den Zirkulator und verlässt ihn am Anschluss 2. Dabei tritt nur eine geringfügige Dämpfung auf. In gleicher Weise fließt Energie, die am Anschluss 2 in den Zirkulator gelangt zum Anschluss 3, und schließlich fließt an Port 3 eingespeiste Energie zu Port 1, wo sie den Zirkulator verlässt.

HF-Isolator

Eine HF-Richtungsleitung, auch HF-Isolator genannt, kann man sich als Diode für HF-Energie vorstellen. Die Richtungsleitung ist einfach ein Zirkulator, bei dem einer seiner Anschlüsse mit einer angepassten 50-Ohm-Belastung abgeschlossen ist. Der Isolator hat nur zwei Anschlüsse und daher auch nur einen Pfad, durch den Energie ohne größere Dämpfung fließen kann. Energie kann nur am Anschluss 1 eingegeben werden und fließt dann zum Anschluss 2. Jede Energie, die am Anschluss 2 angelegt wird, gelangt zum angepassten Ausgang 3 und wird in der Last in Wärme umgewandelt.

Elektrische Spezifikationen

Bei der Auswahl eines Isolators und/oder eines Zirkulators, ist es wichtig, einige gemeinsame elektrische Spezifikationen zu verstehen, aus denen man erkennen kann, ob die Komponenten für die jeweilige Anwendung geeignet sind. Die drei Grundspezifikationen für Isolatoren und Zirkulatoren sind:

- Einfügungsverlust
- Rückflussdämpfung
- und Entkopplung

Allgemein sind diese Spezifikationen immer ein Kompromiss mit der Bandbreite: Je größer die benötigte Bandbreite wird, umso mehr verschlechtern sich die Datensätze.

Einfügungsdämpfung

Die Einfügungsdämpfung beschreibt, wie viel Energie bei der Übertragung eines Signals von einem Port eines Zirkulators/Isolators zu einem anderen verloren geht. Dadurch weiß der Entwickler wie viel Signalenergie die Nutzung eines Zirkulator im System „kostet“.

Da Isolatoren und Zirkulatoren passive Komponenten sind, verbrauchen sie beim Durchlauf durch den Zirkulator ihre eigene Energie. Wie in jedem realen System erfolgt daher eine Signaldämpfung. Sie wird als Einfügungsverlust bezeichnet und in Dezibel (dB) gemessen. Die Einfügungsverluste sind jedoch meist relativ klein, so dass ihr Einsatz durch die Vorteile im System völlig gerechtfertigt ist.

Typische Einfügungsverlustspezifikationen liegen in der Größenordnung von 0,4 dB für Komponenten mit Oktavbandbreiten, jedoch können die Spezifikationen allgemein zwischen 0,15 dB (schmalbandige Ausführungen) und 1,7 dB für bestimmte Breitbandeinheiten liegen.

Unter Verwendung der Application Note „Ferrite Isolators and Circulators“ diTom Microwave Inc. www.diTom.com

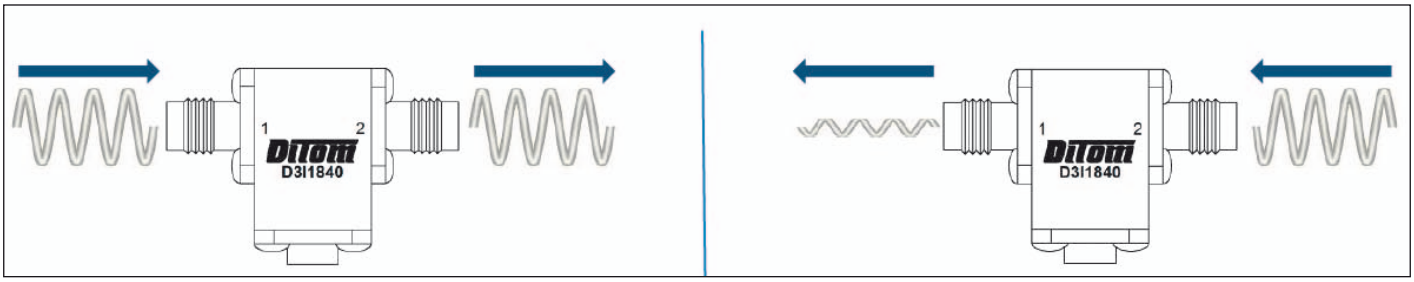

Bild 2: Der Isolator lässt Signale in Durchlassrichtung (1 > 2) ohne nennenswerte Dämpfung passieren, während eine Einspeisung in Port 2 eine erhebliche Unterdrückung des Signals in Richtung Port 1 hervorruft.

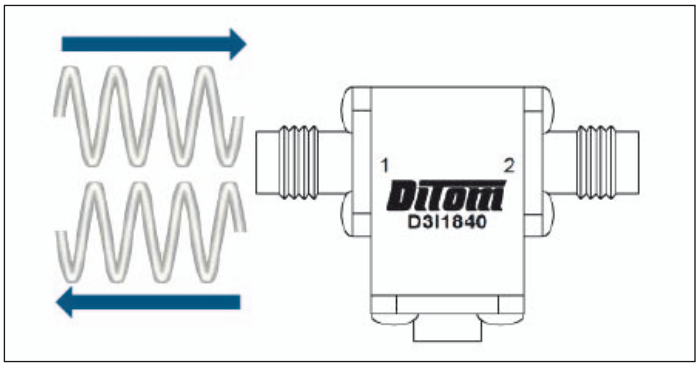

Bild 3: Hohes SWR durch Leerlauf am Ausgang. Rücklaufdämpfung 0

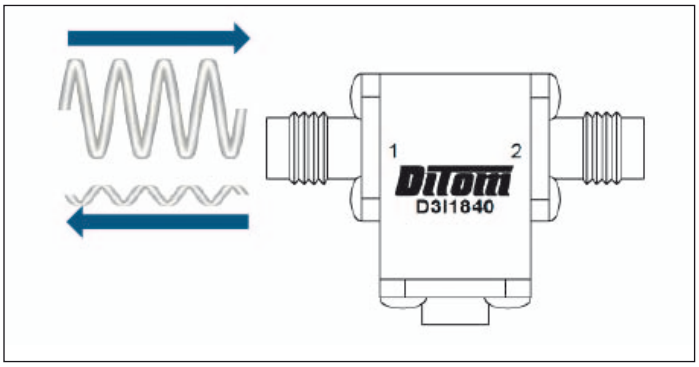

Bild 4: Niedriges SWR bei optimaler Anpassung am Ausgang. Rücklaufdämpfung ist sehr groß

Beispiel:
Leistungsverlust durch die Einfügungsdämpfung

Der 6,0 - 18,0-GHz-Zirkulator DMI6018 von DiTom hat einen typischen Einfügungsverlust von 0,90 dB (-0,90 dB, da Dämpfung immer negativ angegeben wird). Wie viel Leistung geht dadurch verloren?

Allgemeine dB-Leistungs-Umwandlung:

dB = 10 x log10(P_{out}/P_{in})

-0,9 dB = 10 x log10 (P_{out}/P_{in})

$P_{out}/P_{in} = 10^{-0,09} = 0,81$

$P_{out} = (0,81)P_{in} = (0,81)$ x (1 Watt) = 0,81 W

Verlustleistung: 0,190 W

Aus dieser Berechnung ersieht man, dass der Leistungsverbrauch des Isolators nur 190 mW beträgt.

VSWR

Das VSWR gibt das Verhältnis von Maximal- zu Minimalspannung einer stehenden Welle auf einer Leitung an, die durch unkorrekte Anpassung erzeugt wurde. Das VSWR ist um so kleiner, je höher die Rücklaufdämpfung ist, weil dann der größte Teil der Leistung im Anpasswiderstand absorbiert wird. Ein perfektes VSWR lässt sich in der Praxis nur sehr schwer realisieren, typische Werte liegen bei 1,5:1 bzw. 2,5:1. Zirkulatoren/Isolatoren erreichen bei bestimmten schmalbandigen Ausführungen Bestwerte von 1,1:1 und 1,5:1 für Breitbandversionen.

Beispiel: Ermittlung des Zirkulator-Verlustes durch Rücklauf

Der Zirkulator/Isolator DMI6018 hat ein typisches VSWR von 1,45:1, eingespeist wird ein 1-W-Signal.

Umwandlung des VSWR in den Reflektionskoeffizienten R:

R = (VSWR-1)/(VSWR+1)

R = (1,45-1)/(1,45+1) = 0,184

R = 0,184

Umwandlung des allgemeinen Reflektionskoeffizienten in Rückflussdämpfung:

Rückflussdämpfung = -20 x $\log_{10}$ (R)

Daraus folgt durch Einsetzen von R:

Rücklaufdämpfung = 14,7 dB

dB-in-Leistungsumwandlung:

$P_{reflected}/P_{in} = 10^{\text{Return Loss}/10}$

$P_{reflected} = 10^{(-14,7/10)}$ (P_{in}) = 0,034 (P_{in})

Reflektierte Leistung: $P_{reflected}$ = 34 mW

Entkopplung

Die sicherlich wichtigste Spezifikation für einen Isolator ist die Höhe der von ihm erreichten Isolation oder Entkopplung (in dB) zwischen dem Signaleingang Port 1 und dem Ausgang Port 2. Um eine Entkopplung zu bewirken, muss an Port 3 ein Abschluss mit einer internen Last vorhanden sein. Die Isolation ist vor allem von der Qualität des Abschlusses und der Rückflussdämpfung von Anschluss 3 der Richtungsleitung abhängig.

Mit einem Qualitätsabschluss (Rückflussdämpfung von etwa 1,05:1 oder besser), kann eine Entkopplung von 24 - 26 dB bei

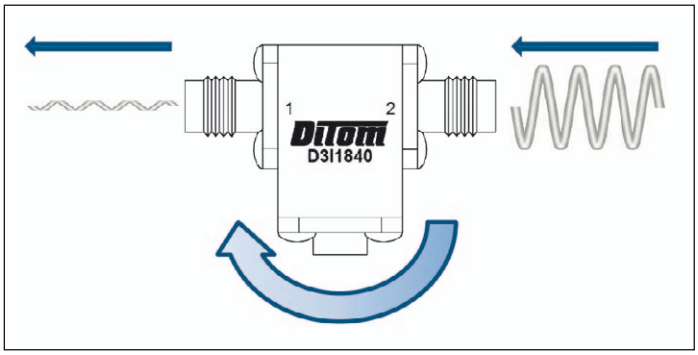

Bild 5: Ein Signal, das den Isolator von Port 2 zu Port 1 durchläuft wird um die Höhe der Entkopplungsspezifikation gedämpft, bevor es an Port 1 austritt.

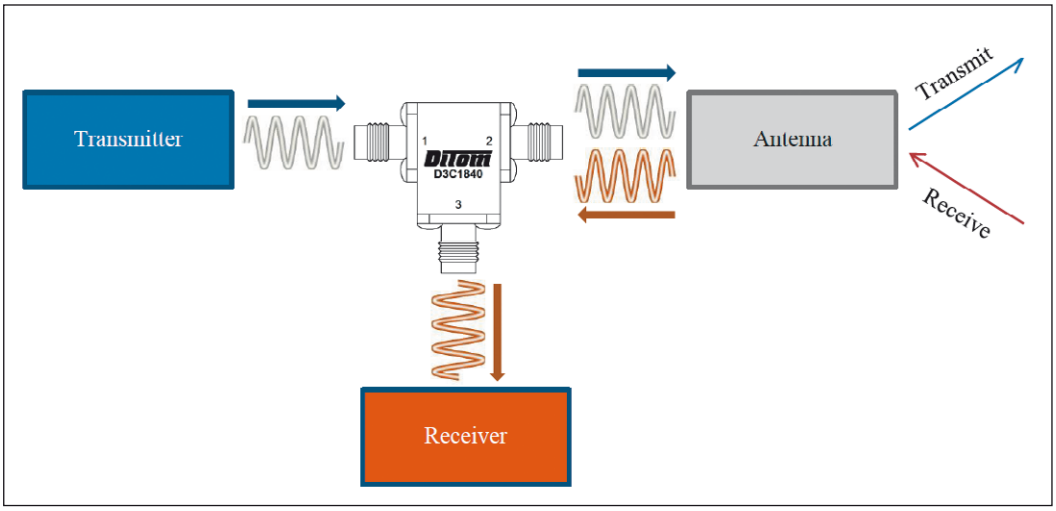

Bild 6: Beschaltung eines Zirkulators für die Anwendung als Duplexer

schmalbandigen Isolatoren und 15 - 20 dB typ. bei Breitbandeinheiten erreicht werden. Die Isolation wird immer wenigstens so hoch wie die Rückflussdämpfung sein, manchmal auch höher. Die besten Werte lassen sich erzielen, wenn der Abschluss an Port 3 mit standardmäßig 50 Ohm Impedanz geringfügig in der Größe verändert werden kann. Dann lässt sich bei etwas abweichender Abschluss-Impedanz trotzdem ein Entkopplungs-Maximum einstellen.

Leistungsbelastbarkeit und Gruppenlaufzeitverzögerung

Zwei weitere gemeinsame Spezifikationen, auf die man nicht so oft trifft, sind die Leistungsbelastbarkeit und die Gruppenlaufzeitverzögerung.

Leistungsbelastbarkeit

Die Leistungsbelastbarkeit ist ein Maß dafür, wie viel Leistung einen Isolator/Zirkulator sinnvollerweise durchlaufen kann, ohne dass sich seine Daten soweit verschlechtern, dass er durch hohe Signalverzerrungen und Dämpfung unbrauchbar wird. Jeder Energieanteil, der nicht an einem Port den Isolator verlässt, wird in Wärme umgewandelt. Das bringt verschiedene Nachteile:

- Wärme entmagnetisiert die Permanentmagnete, die den Ferritkern beeinflussen
- Sie bewirkt eine thermische Ausdehnung und Verzerrung der internen Geometrie, was die Funktion verschlechtert
- Wärme kann letztlich die Komponenten komplett zerstören, wenn das Dielektrikum schmilzt und die Magneten völlig entmagnetisiert sind

Auf ausreichende Wärmeableitung ist bei einem Zirkulator/Isolator daher immer zu achten, wenn die Belastung in einer Applikation den Mittelwert oder die Spitzenimpulsleistung der maximalen Belastbarkeit erreicht.

Gruppenlaufzeit

Die Gruppenlaufzeit kann als die Echtzeit definiert werden, die ein Signal benötigt, um den Zirkulator an Port 2 zu verlassen, nachdem es an Port 1 eingespeist wurde. Mathematisch ergibt sich die Gruppenverzögerung aus der Ableitung des Phasengangs. Dieser Wert, üblicherweise ausgedrückt in Pico- oder Nanosekunden, ist ein Indikator für die Linearität der Komponenten. Wünschenswert ist ein Wert, der für alle Frequenzen im interessierenden Band konstant ist. Eine konstante Gruppenlaufzeit deutet auf eine lineare Phase über den ganzen Bereich hin.

Applikationen

Übliche Anwendungen von Zirkulatoren sind einfache Duplexer oder hoch reflektierende Isolatoren für große Leistungen. Isolatoren werden typisch dazu benutzt, aktive Komponenten vor hoher Leistung, die zu Verzerrungen oder zur Zerstörung führen kann, zu schützen.

Antennenumschalter (Duplexer)

Ein Duplexer ist eine Vorrichtung, die zwei Kommunikationsrichtungen über einen einzelnen Kanal ermöglicht. Zum Beispiel ermöglicht ein Antennenumschalter über eine Antenne sowohl zu senden als auch zu empfangen, wodurch die Anzahl der Komponenten in einem System sowie Kosten reduziert werden. Die nicht-reziproke Verhaltensweise eines Zirkulators passt perfekt zu dieser Anwendung.

Durch Anschluss eines Senders an Port 1, einer Antenne an Port 2 und eines Empfängers an Port 3 kann man eine Antenne effektiv für zwei Aufgaben nutzen. Dies reduziert die Anzahl der Antennen und erforderlichen Kabel um die Hälfte, spart Platz und Geld.

Signalgenerator/ Senderschutz

Eine der Standardanwendungen eines HF-Isolators ist der Schutz empfindlicher Geräteanschlüsse. Ordnet man einen Isolator beispielsweise am Ausgang eines Senders an, kann er vor gefährlichen Reflektionen geschützt werden, die sonst ihren Weg zurück in den Sender nehmen und eventuell zu Signalverzerrungen oder zur Beschädigung des Gerätes führen.

■ *diTom Microwave Inc.*
www.diTom.com

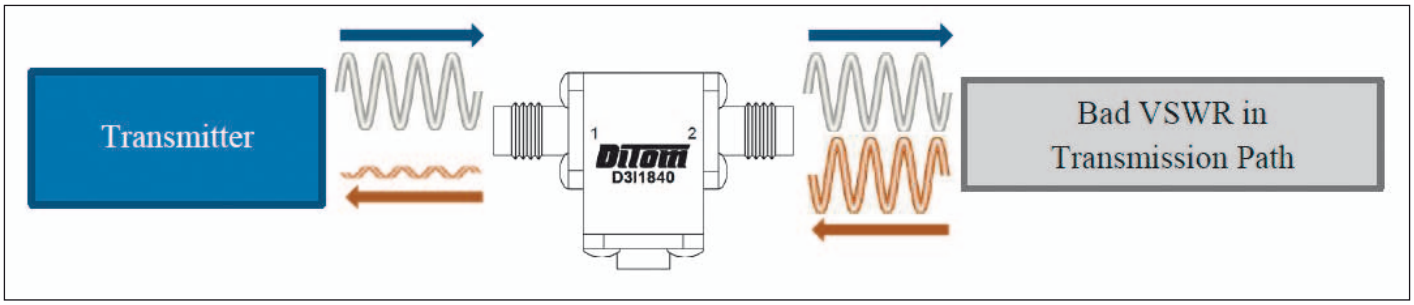

Bild 7: Isolator zur Entkopplung eines Senders gegen hohes VSWR in einem Übertragungspfad.