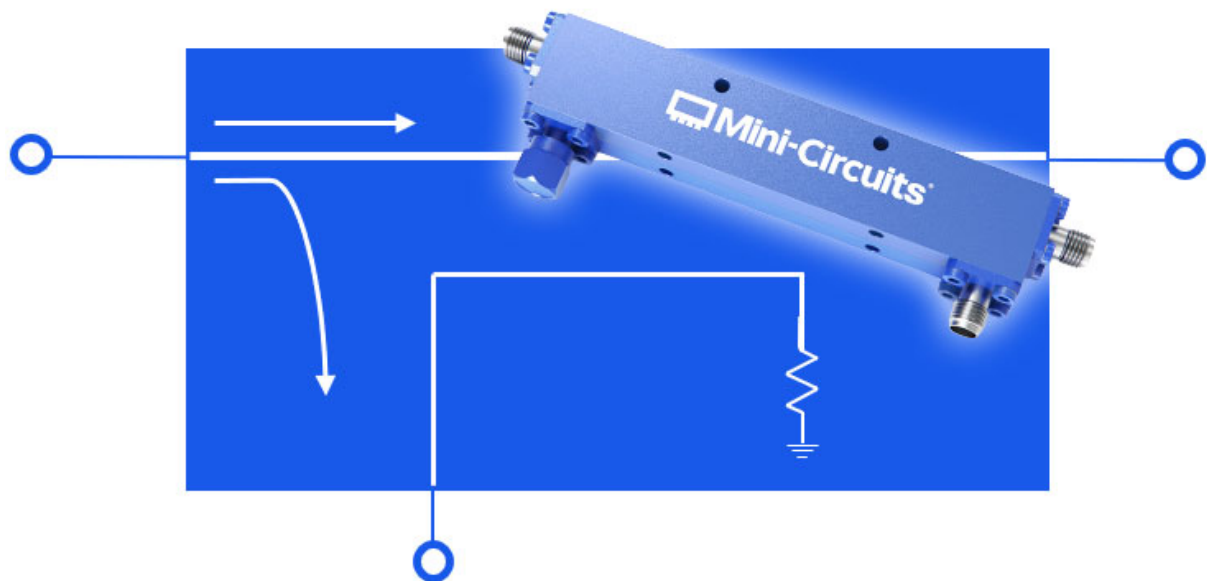


方向性結合器: その動作と応用



Urvashi Sengal

Mini-Circuits

Kit Cox

Mini-Circuits Japan

方向性結合器（またはRFカップラ）は信号処理デバイス的一种で、あらかじめ定められた結合度でRF信号をサンプリングし、信号ポートとサンプルポート間の高いアイソレーションを実現します。このため解析、測定、処理など多くのアプリケーションで利用されています。受動デバイスであるため、逆方向の使用も可能です。結合ポートに信号を入力すると、結合度と方向性に応じてその信号がメインラインに注入されます。方向性結合器にはいくつかの構成があり、以下にそれぞれについて説明します。

定義

方向性結合器は、理想的には無損失でマッチングが取れていて正逆双方向で動作します。3ポートおよび4ポート方向性結合器の基本的特性は、分離（アイソレーション）、結合（カップリング）および方向性であり、その値は方向性結合器の性能を表します。理想的な方向性結合器は、目的とするアプリケーションに必要な結合度と、無限の方向性とアイソレーションを備えています。

図1の機能図は方向性結合器の動作を示し、その後に関連する性能パラメータについて説明しています。上の図は4ポートの方向性結合器で、結合（順方向）ポートと分離（逆方向、または反射）ポートの両方が含まれています。下の図は3ポート構造で、分離ポートが除かれています。これは単一の順方向結合出力のみを必要とするアプリケーションで使用されます。3ポートカップラは逆方向にも接続可能で、この場合結合ポートは分離ポートになります。

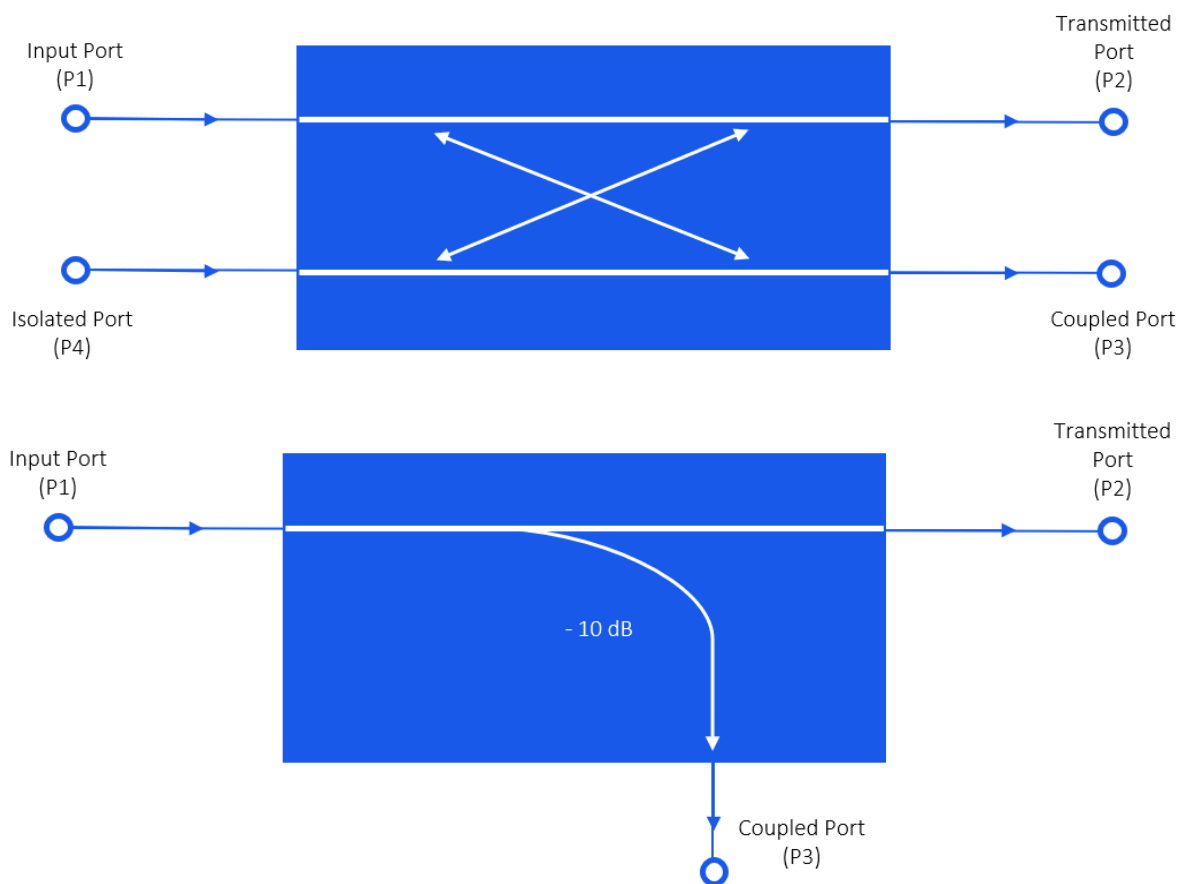


図1：方向性結合器の基本的構成

性能特性

1. **結合度** : 結合ポートP3に出力される入力電力 (P1) の割合を示します。
2. **方向性** : 結合 (P3) ポートと分離 (P4) ポートで測定される順方向に伝搬する電力 (入射波) と逆方向に伝搬する電力 (反射波) を分離する方向性結合器の性能の尺度です。
3. **アイソレーション (分離)** : 入力電力 (P1) と分離ポートに供給される電力 (P4) の比を示します。
4. **挿入損失** : 入力電力 (P1) とスルーポートに供給される電力 (P2) の比を示します。これには、結合ポートおよび分離ポートへ分配される電力、ならびに結合器内部の散逸損失が含まれます。

これらの特性をdB単位で表すと以下ようになります :

$$\text{結合度} = C = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_3} \right)$$

$$\text{方向性} = D = 10 \log \left(\frac{P_3}{P_4} \right)$$

$$\text{アイソレーション} = I = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_4} \right)$$

$$\text{挿入損失} = L = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

結合器の種類

方向性結合器

このタイプの結合器には図2に示すように接続可能なポートが三つあり、4番目のポートは最大限の方向性が得られるように内部で終端されています。逆方向に接続することも可能ですが、このタイプの結合器では正逆で特性は異なります。結合ポートの一つは内部で終端されているため、使用できる結合信号は一つだけです。

順方向（図2に示す通り）に接続すると、結合ポートは結合度に従って減衰された入射波（順方向信号）をサンプリングします。これにより、出力信号の一部をフィードバック回路に供給したり、出力電力をモニタしたりすることができます。

方向性結合器の一般的な用途の一つに、反射信号（または間接的にVSWR）のサンプリングがあります。これを実現するには、結合器を逆方向に接続し、入力ポートを信号源ではなく負荷側に向けます（下記の図8を参照）。信号源からの順方向信号は結合ポートに結合されずにメインラインを通過し（結合エネルギーは内部終端で消費されます）、負荷からの反射波は結合器の入力ポートに入り、結合器の順方向に伝搬します。結合ポートはこの反射波を結合度に従って減衰されたサンプルとして出力します。この接続は、逆方向電力の測定やVSWRモニタリングに使用できます。

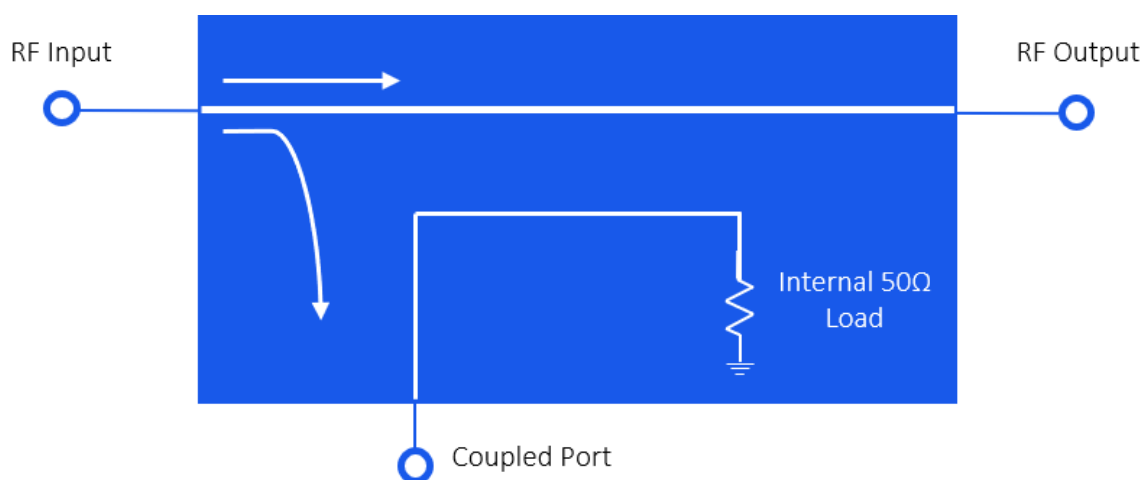


図2 : 50Ω 方向性結合器

長所

- 結合器の性能は一方向にのみ最適化されます
- 高い方向性とアイソレーション
- 結合器の方向性はアイソレートポートのインピーダンス整合に大きく影響されるため、この終端を内部で行うことにより、安定した高性能が保証されます。

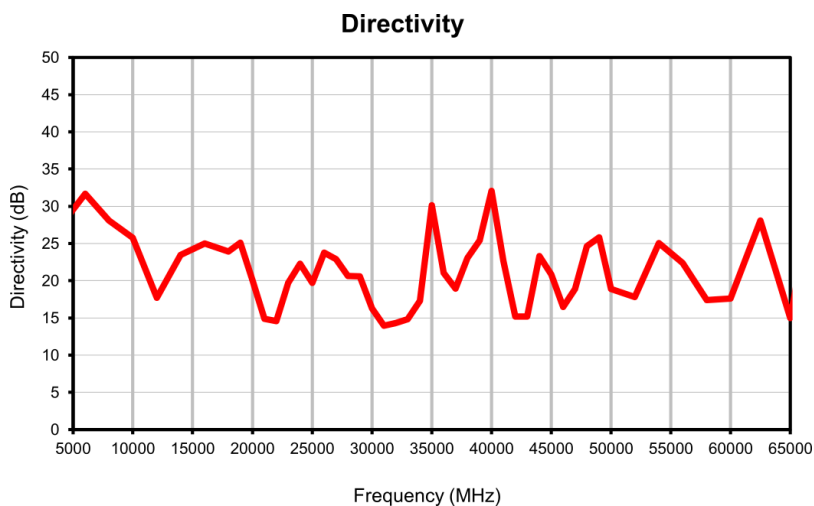
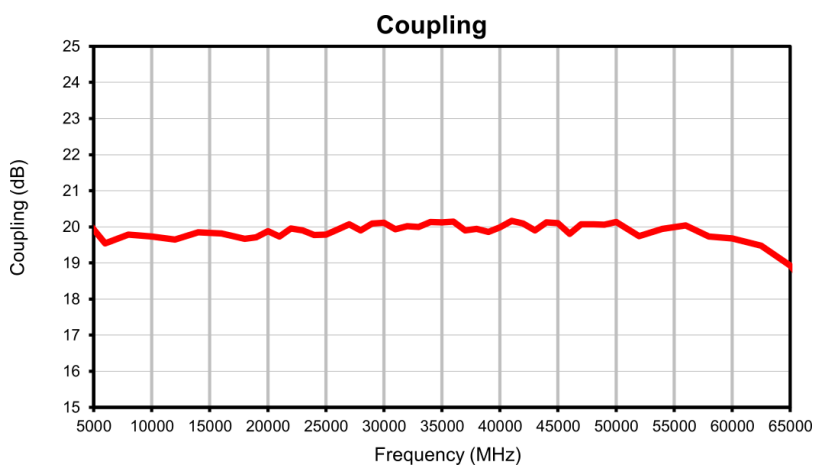
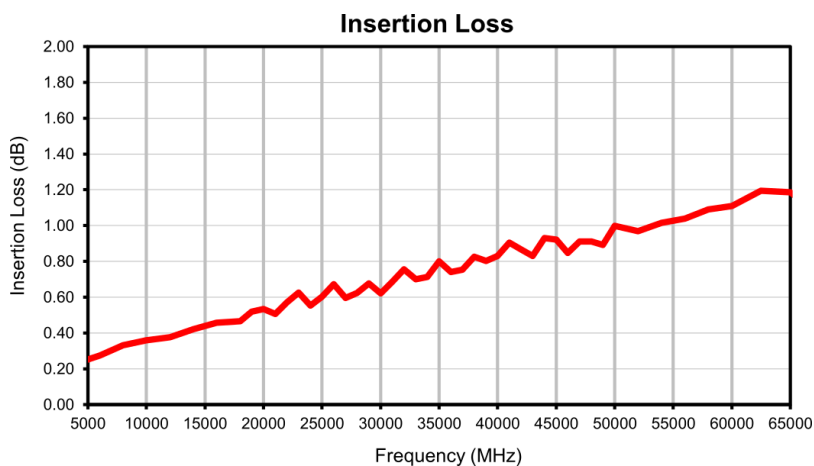
短所

- 結合信号は一方向でのみ利用可能です
- 結合ポートから入力された電力は内部の終端でほぼすべてが消費されるため、結合ポートの定格電力は入力ポートより小さくなる

例



Mini-Circuits ZCDC20-E18653+ は18~65GHzの周波数範囲において公称 20dBの結合度を備えた同軸タイプの方向性結合器です。このモデルは最大12WのRF電力、最大0.48AのDC電流を入力できます。



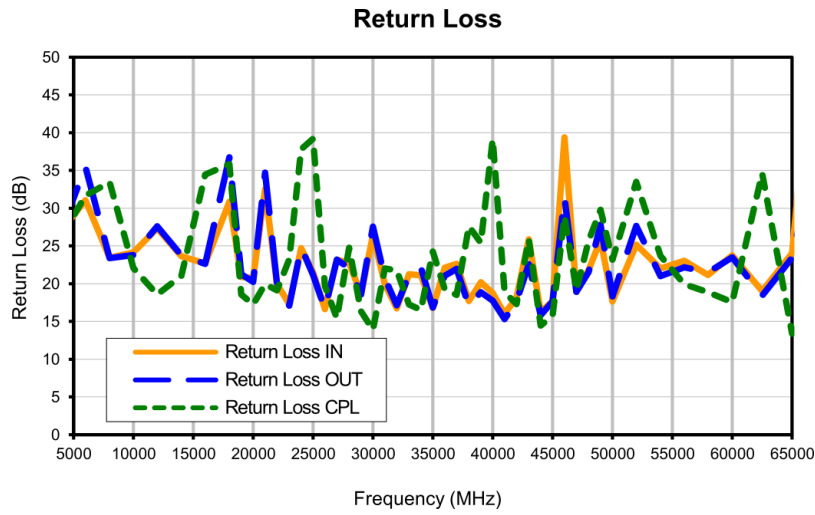


図3 : Mini-Circuits ZCDC20-E18653+方向性結合器の性能曲線

双方向性結合器

このタイプの結合器には四つのポートがあり、すべてのポートを利用することができます。対称設計のため、順方向信号と逆方向信号を同時にモニタできます。両方の結合ポートを適切に整合または終端することは、ユーザーの責任です。

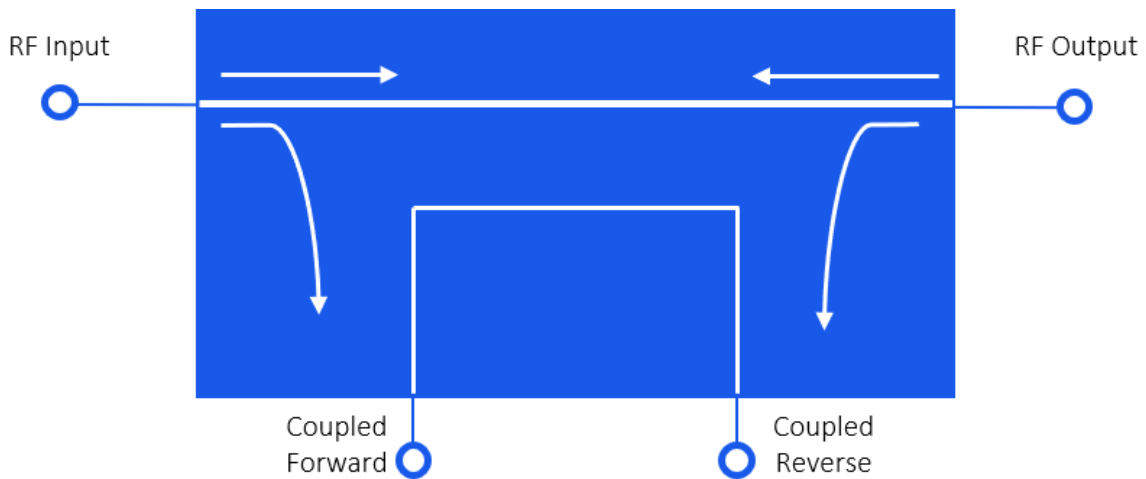


図4 : 双方向性結合器

長所

- 対称設計
- 入力ポートと出力ポートは入れ替えが可能
- 2系統の伝送ラインがあり、結合ラインはメインのラインと同じように機能する

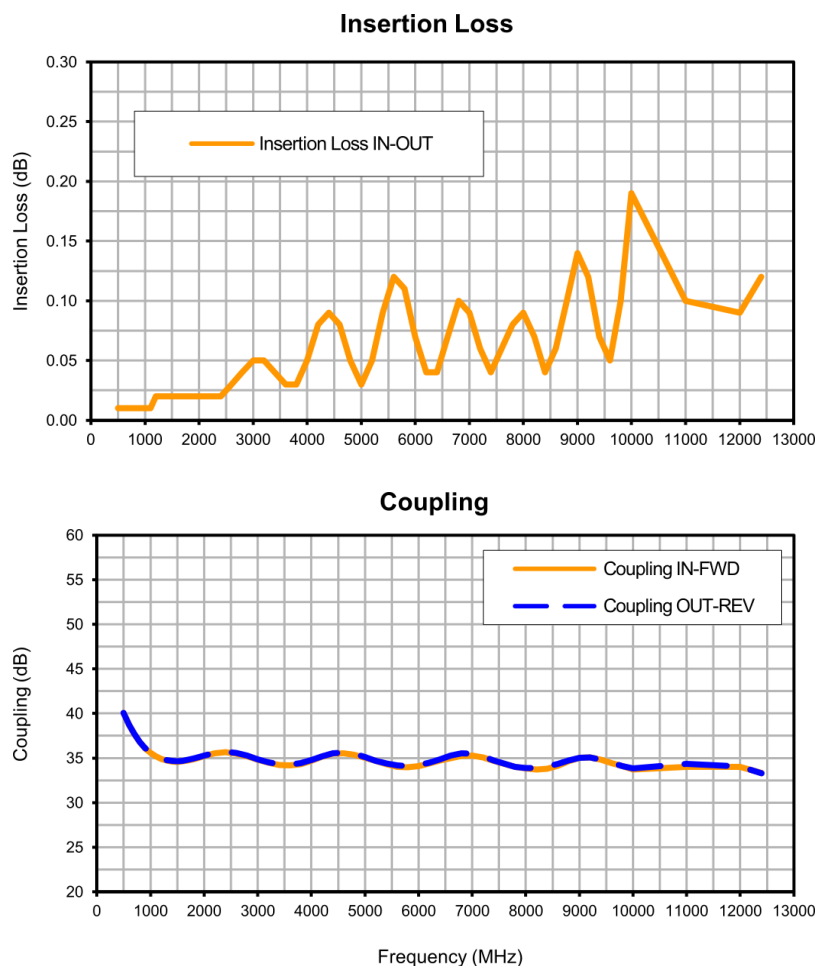
- 順方向と逆方向のカップリングがある

短所

- 双方向で良好な性能を得るためにクリティカルな設計が必要
- 結合器の方向性は分離ポートの終端により左右される

例

Mini-Circuits ZGBDC35-93HP+は900~9000MHzの周波数範囲において公称 35dBの結合度を備えた同軸タイプの双方向性結合器です。このモデルは最大 250WのRF電力、最大3AのDC電流を入力できます。



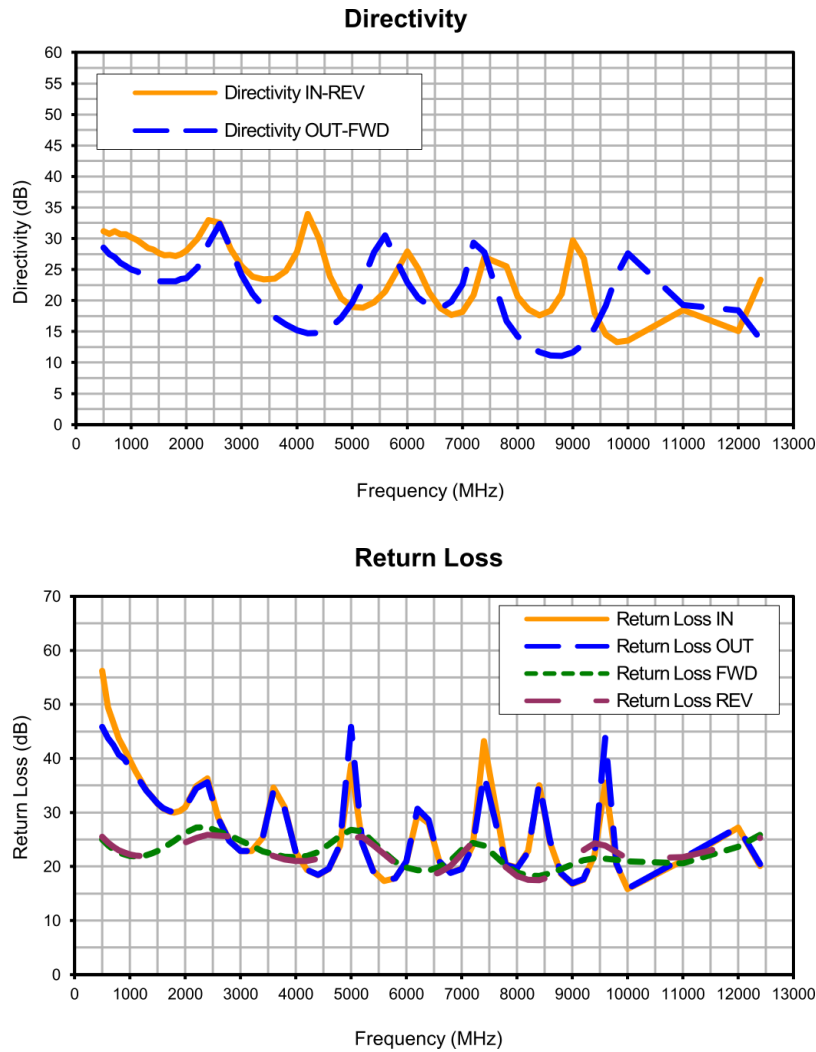


図5 : Mini-Circuits ZGBDC35-93HP+双方向性結合器の性能曲線

デュアル方向性結合器

このタイプの結合器は、2つの3ポート結合器を背中合わせに配置した構成です。この構成により、双方向の結合動作と、独立した順方向および逆方向の結合ポートが提供されます。主な利点は、各結合ポートがそれぞれ独自の終端を持つ別々の内部結合器に属しているため、一方の結合ポートのインピーダンス不整合がもう一方に影響しないことです。

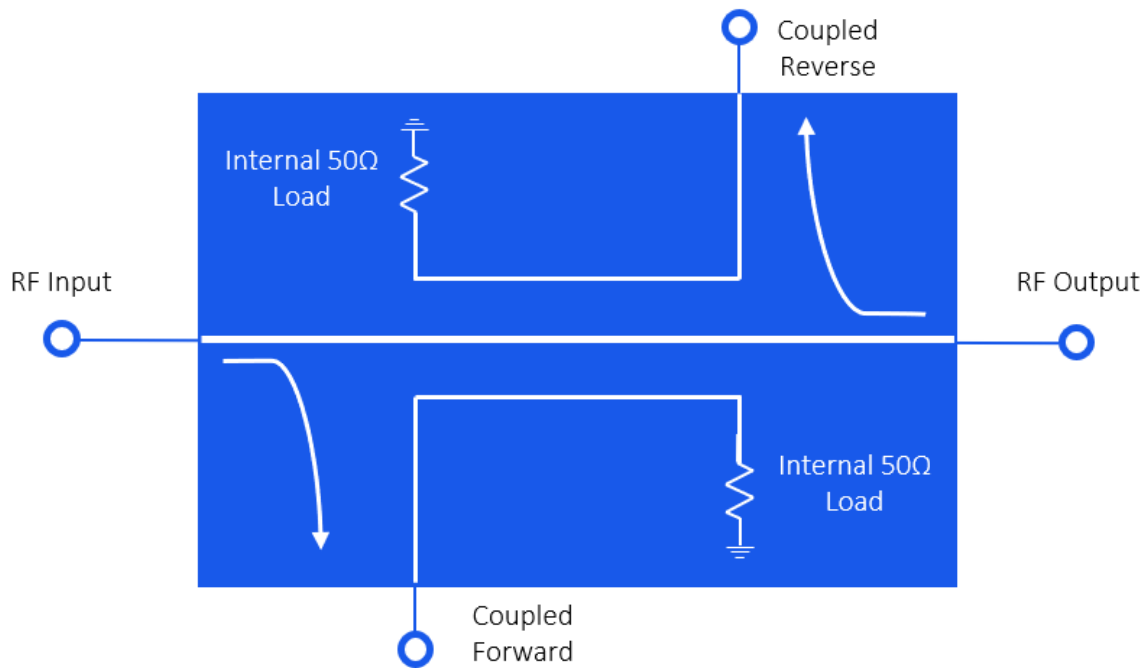


図6：デュアル方向性結合器

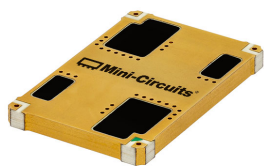
長所

- 性能は順方向パスと逆方向パスの両方で最適化できる
- より高い方向性とアイソレーションを実現できる
- 順方向でも逆方向でも結合が得られる
- 一方のパスの方向性は、もう一方のパスのミスマッチングに影響を受けない
- システムの順方向電力と逆方向電力の両方を同時に監視するために使用できる

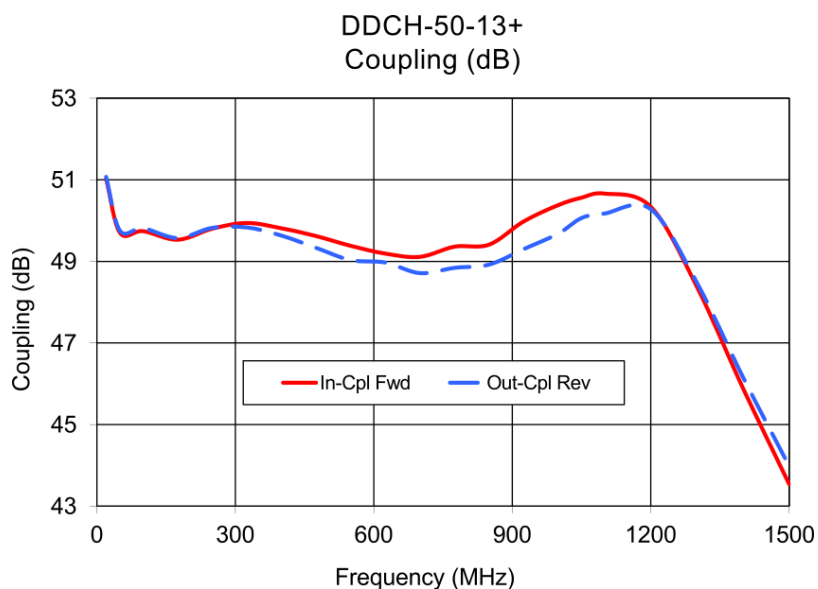
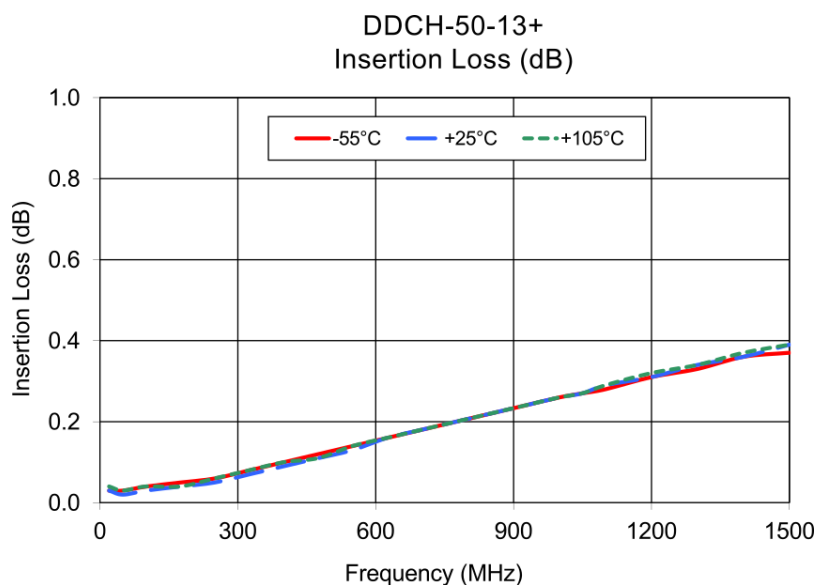
短所

- 方向性結合器や双方向性結合器に比べるとサイズが大きい
- 順方向と逆方向の結合ポート間にスルーパスがありません
- 単方向および双方向性結合器よりも挿入損失が大きい

例



Mini-Circuits DDCH-50-13+ は20~1000MHzの周波数範囲において公称 50dBの結合度を備えたストリップラインベースの表面実装デュアル方向性結合器です。このモデルは最大120WのRF電力、最大4AのDC電流を入力できます。



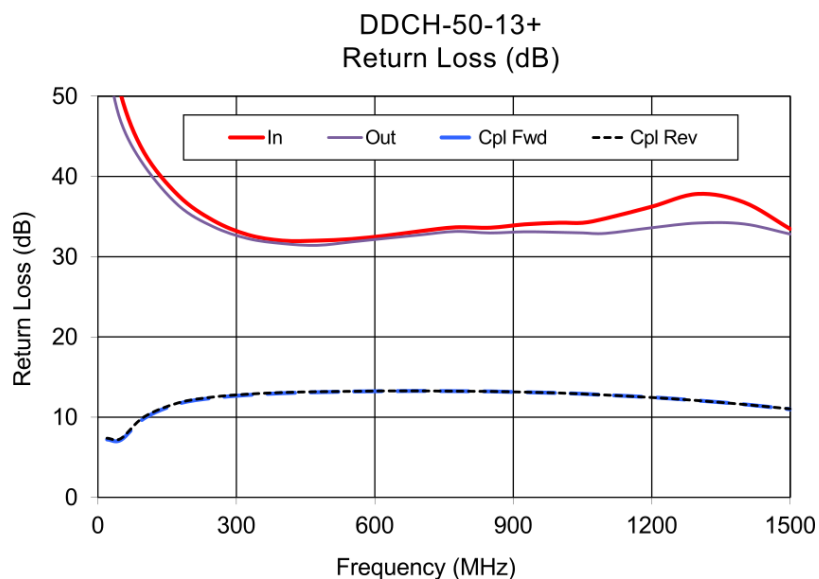
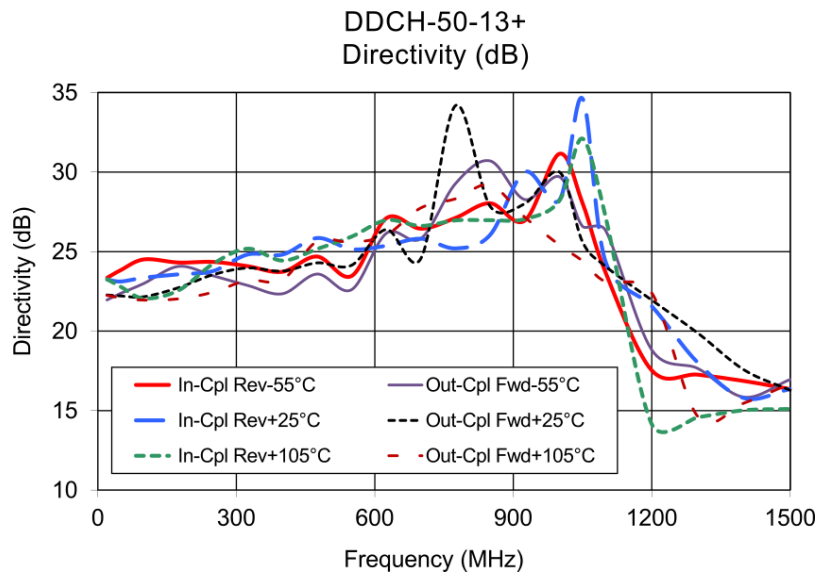


図7 : Mini-Circuits DDCH-50-13+デュアル方向性結合器の性能曲線

方向性結合器の応用例

反射率計

図8に示すように接続すると、結合ポートは負荷からの反射波のサンプルを出力します。これにより、負荷のミスマッチングの程度を表す反射電力の測定が可能になります。送信機の出力をこのように構成すると、測定と監視の両方でアンテナシステムのVSWRをモニタできます。多くのRFシステムではVSWRが最小になるように調整し、過大なVSWRを検出すると回路保護のために電力を低減するかシャットダウンするシステムもあります。

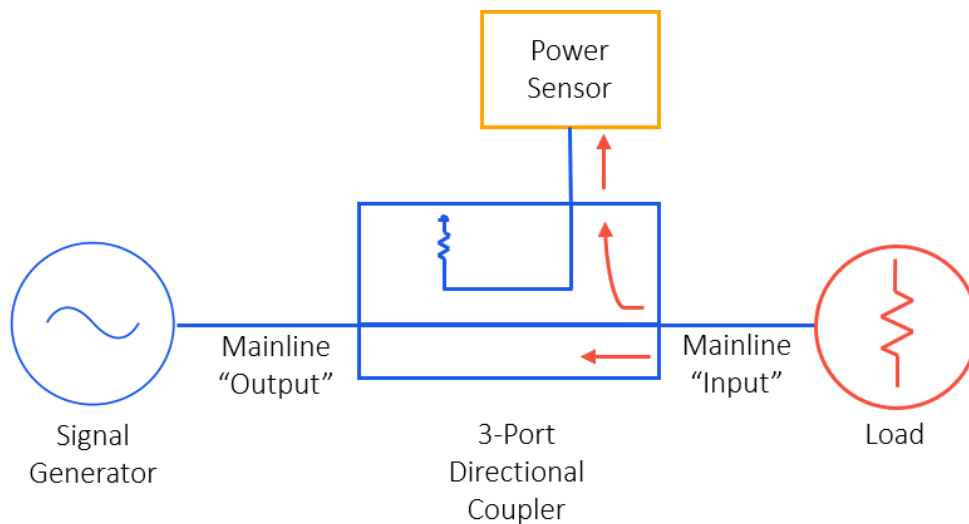


図8：簡易反射率計における3ポート方向性結合器の構成図

順方向モニタ

入力ポートに入射電力が供給されると、結合ポートは結合度に従って減衰された出力（順方向信号）のサンプルを出力します。このサンプルは、波形モニタリング、スペクトラム解析、その他の試験・測定機能に使用できます。

レベルジェネレータ

モニタ信号はフィードバック回路を駆動するためにも使用できます。重要な応用例の一つとしてシグナルジェネレータの振幅を一定にしてテストシステムに信号を供給するレベルジェネレータが挙げられます。

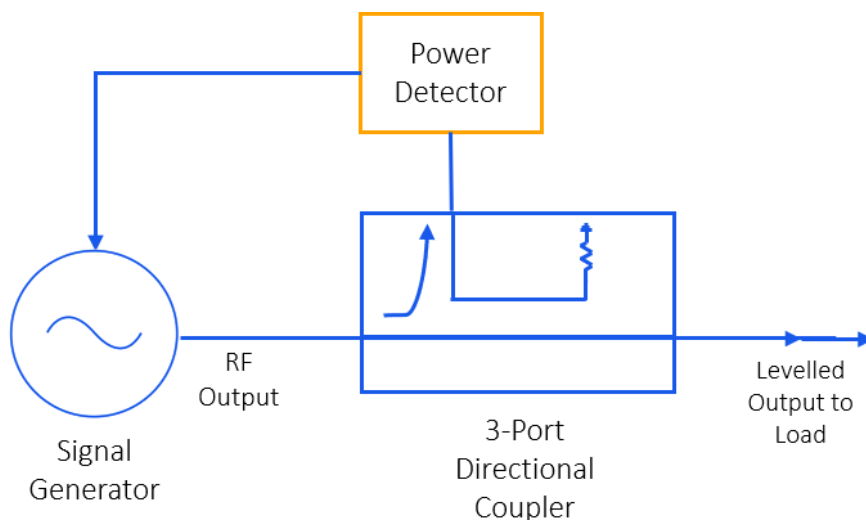


図9：レベルジェネレータにおける3ポート方向性結合器の構成図

受信機の相互変調試験の設定

2信号試験に必要なテスト信号は、方向性結合器または電力合成器のいずれかで作られます。どちらの方法でも信号源間で必要なアイソレーションは得られます。

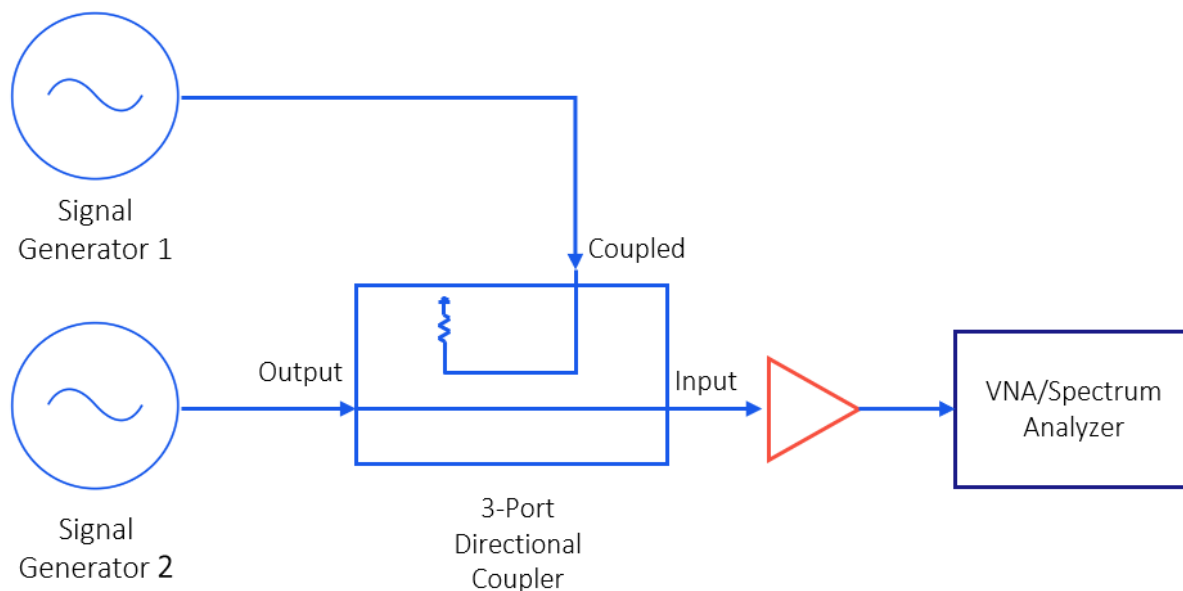


図10：受信機の相互変調試験の設定における3ポート方向性結合器の構成図

双方向性結合器の応用例

順方向および逆方向モニタ

反射電力/VSWRの測定は重要ですが、順方向信号と反射信号の両方を同時にサンプリングする方がより有用な場合があります。この機能は双方向性結合器を使用することで実現でき、出力（順方向）電力と反射（逆方向）電力の監視および測定が可能になります。ビルトインテスト（BIT）システム、プロダクション試験、および日常的な運用監視はすべて、双方向結合の恩恵を受けます。

デュアル方向性結合器の応用例

順方向および逆方向モニタ

上記、および図6に示すように、デュアル方向性結合器は双方向性結合器として機能しますが、順方向と逆方向の結合経路が分離されています。これにより、一方の経路の不整合がもう一方の経路に影響を与えることを排除するアイソレーションが

得られます。そのため、特にいずれかの結合ポートに大きな不整合負荷がある条件下において、精度が向上します。

要約

方向性結合器は、RFシステムの中では重要なデバイスです。順方向または逆方向のいずれかの伝送信号をモニタする機能により、試験、測定、監視、フィードバック、および制御における幅広い応用が可能になります。

本資料は、システム設計者が結合器の機能、アーキテクチャ、およびパフォーマンスを理解し、特定の応用に適したタイプの結合器を選択するのに役立ちます。

Mini-Circuitsのカタログには、方向性結合器、双方向性結合器、デュアル方向性結合器など、数百種類のRFカップラを取り揃えています。お客様のアプリケーションに最適な製品をぜひお探してください。

Mini-Circuits Japan株式会社

〒222-0033

横浜市港北区新横浜3-6-12 SD12ビル6階

TEL: 045-548-5058

sales@minicircuits.co.jp

support@minicircuits.co.jp