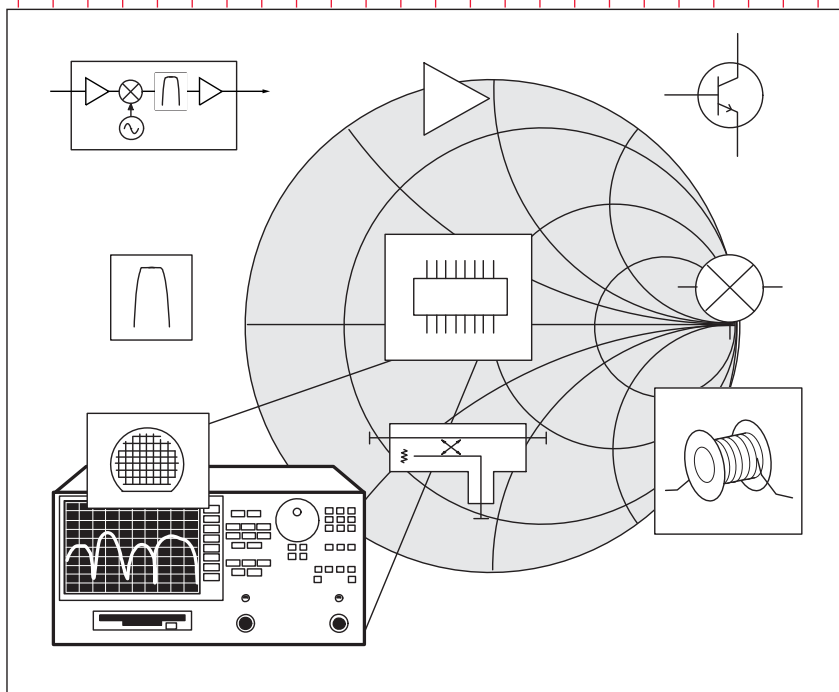


Keysight Technologies

ネットワーク・アナライザ測定：
フィルターと増幅器

Application Note



はじめに

通信システムの性能にとって、コンポーネントの振幅と位相の両方の動作が重要な役割を果たす場合が多くあります。ベクトル・ネットワーク・アナライザを使えば、増幅器やトランジスタなどのアクティブデバイスから、キャパシターやフィルタなどのパッシブデバイスまで、広い範囲のデバイスに関する情報を得ることができます。また、ネットワーク・アナライザにタイムドメイン機能を付けると、測定中の不要なレスポンスを排除して、目的の情報だけを残すことができます。このアプリケーションノートでは、RFフィルタに対する掃引周波数測定と、通信帯域用増幅器に対する掃引パワー測定について説明します。

フィルタの測定

フィルタの特性を完全に評価するには、通常掃引周波数測定が用いられます。図1は、フィルタの周波数応答の例を示しています。左と下のグラフは伝送応答の大きさを対数形式で示したものであり、右のグラフは反射応答(リターンロス)を示します。測定対象となるフィルタ特性のうちで最も一般的なものは、挿入損失と帯域幅です。下のグラフでは縦軸を拡大してこれらを示しています。もう一つの一般的なパラメータは、帯域外除去比です。これは、帯域幅内の信号を通し、帯域幅外の信号を除去するフィルタの能力を測定するものです。この特性を正しく評価できるかどうかは、一般にテストシステムのダイナミックレンジによって決まります。

リターンロスはパッシブ反射フィルタ測定のための代表的なものであり、阻止帯域で高い反射率(ほぼ0 dB)、通過帯域で高いインピーダンス整合を示します。これとは異なるタイプのフィルタに吸収フィルタと呼ばれるものがあり、阻止帯域と通過帯域の両方で整合度が高いため、広い周波数レンジにわたって良好な整合を示します。

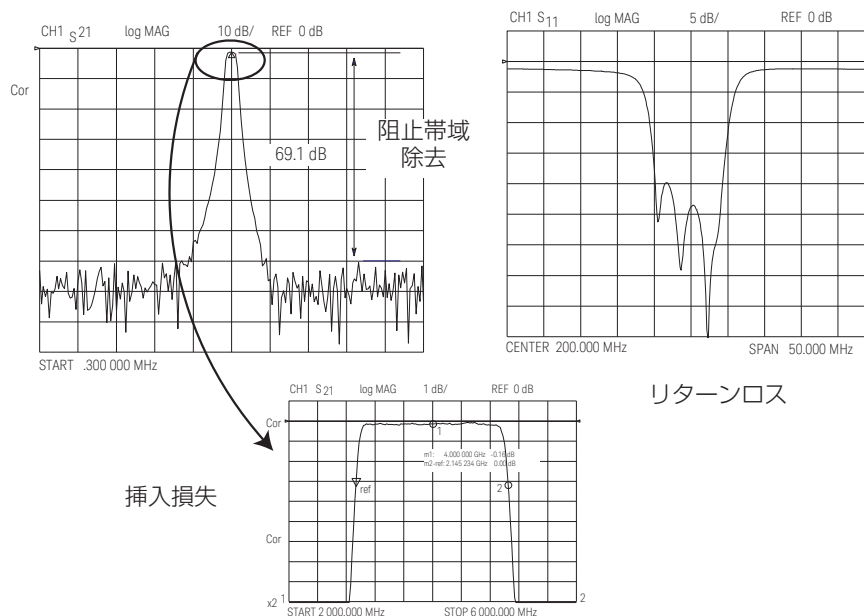


図1. 周波数掃引によるフィルタのテスト

目次

誤差の原因と種類	04
誤差補正の種類	05
1ポート校正	05
アダプターの影響	06
2ポート誤差補正	07
電子的校正	08
測定の不確かさの推定	09
伝送レスポンス校正の実行	11
伝送測定のエンハンスドレスポンス校正	12
測定	12
フル2ポート校正	13
TRL校正	13
ノンインサータブルデバイスの校正	14
未知のスルー校正	14
アダプター除去校正	15
参考資料	15

誤差補正による通過帯域の正確な測定

フィルターの帯域幅内で振幅応答が一定でないと、信号ひずみが生じます。フィルター通過帯域の正確な測定には、誤差補正が重要な役割を果たします。ネットワーク・アナライザによるフィルターの通過帯域測定を校正なしで実行すると、使用するネットワーク・アナライザやテストケーブルによって応答が大きく異なる場合があります(図2)。

同じフィルターをレスポンス校正(ノーマライズ)後に測定すると、テストシステムの伝送トラッキング周波数応答誤差が測定結果から除去されるため、振幅ひずみの量ははるかに小さくなります。ノーマライズを行っても、表示されたフィルターの周波数応答には多少の振幅リップルが残ります。これはテストシステムのソースマッチとロードマッチの相互作用から生じるものです。リップルが0 dB基準線を超えてゲインを示すことさえあります(パッシブデバイスは信号を増幅しないので、ゲインはありません)。この見かけ上の異常は、不整合測定誤差に起因します。フィルター測定前に2ポート校正を実行することにより、この種の誤差を除去できます。ベクトル誤差補正(2ポート校正)後の結果を見ると、明らかにフィルターの通過帯域振幅応答は中心周波数の上下に ± 0.1 dB程度しか変化しません。

補正なしのテストシステムで測定された ± 1 dBの振幅変化は、フィルターの実際の通過帯域応答を正しく表していなかったこととなります。ベクトル・ネットワーク・アナライザで誤差補正を実行することにより、フィルターの真の性質が明らかになりました。このフィルターの振幅応答は中心周波数の上下にわずかしか変動せず、低ひずみアプリケーションに要求される比較的少ない振幅変動を実現していることがわかります(ベクトル・ネットワーク・アナライザ測定に対する誤差補正の適用、Keysight Application Note 5965-7709J参照)。

フィルター挿入損失の測定

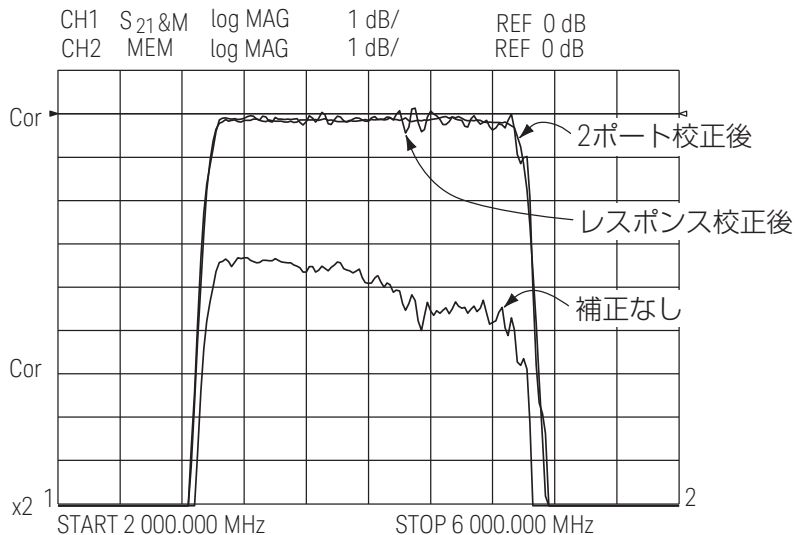


図2. システムティック測定誤差

増幅器のパワー掃引測定

フィルター測定に用いられる周波数掃引測定に加えて、多くのネットワーク・アナライザではパワー掃引測定を実行することができます。これはデバイスのノンリニア動作を測定するのに便利です。図3の例は、増幅器の出力パワーと入力パワーの関係を単一周波数で測定したものです。増幅器にはリニア動作領域があり、ここではゲインがパワーレベルに関係なく一定になります。この領域でのゲインを小信号ゲインと呼び、パワー応答の傾きに比例します。

入力パワーを上げていくと、ある点で増幅器のゲインが減少しはじめます。この点がゲインコンプレッションの開始点と定義されます。この領域では増幅器の出力が正弦波でなくなり、信号の基本周波数だけでなく高調波が現れます。さらに入力パワーを上げていくと、増幅器は飽和しはじめ、出力パワーが一定になります。この点では、増幅器のゲインが0となり、入力パワーを増やしても出力パワーは増えません。これは大部分の増幅器に当てはまりますが、進行波管増幅器など一部の増幅器では飽和点を越えると出力がむしろ減少します。

増幅器の飽和出力パワーをパワー掃引で測定するには、ネットワーク・アナライザの出力パワーが増幅器を飽和させるのに十分でなければなりません。高い周波数ではネットワーク・アナライザのテストポートから得られるパワーが比較的低いレベルに制限されるため、ハイパワー増幅器で飽和条件を達成するためには増幅器の入力にブースター増幅器を接続しなければならないことがあります。

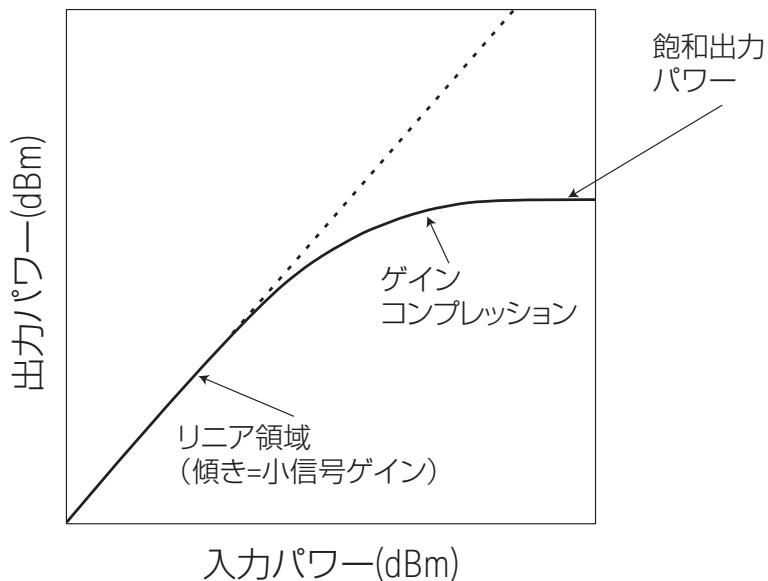
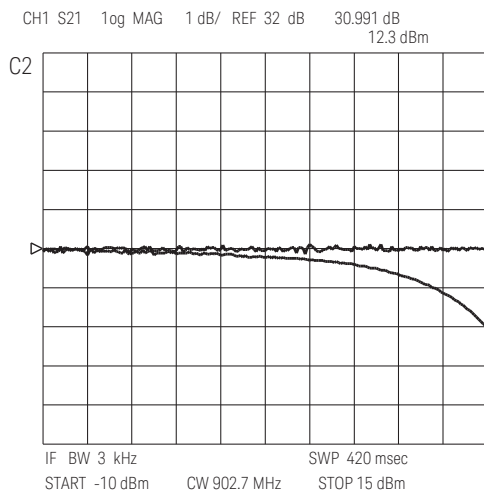


図3. パワー掃引によるゲイン・コンプレッションの測定

増幅器のコンプレッション測定でもっとも一般的なのは、1 dBコンプレッション点の測定です(図4)。これは、増幅器のゲインが小信号(リニア)ゲインに対して1 dB下がる点の入力パワー(場合によっては対応する出力パワー)と定義されます。増幅器の1 dBコンプレッション点を測定するには、パワー掃引で得られたゲインをノーマライズして表示します。



- **1 dBコンプレッション:**
ゲインが1 dB下がる点の入力パワー
- 比測定
- 出力パワーも表示可能(非比測定)

図4. 1 dBコンプレッション

この表示では、トレースの平坦な部分がリニア小信号動作領域であり、負の傾きを持つトレースの部分が高い入力パワーレベルでのコンプレッションに対応します。この例で測定された増幅器では、1 dBコンプレッションが生じるのは入力パワーが+12.3 dBmのときです。測定は902.7 MHzの固定CW周波数で行われています。

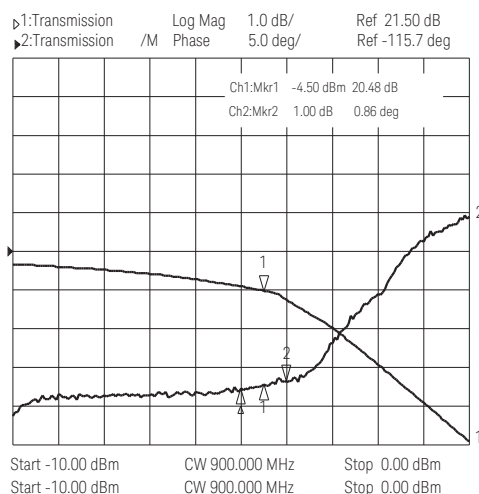
1 dBコンプレッション点での出力パワーを知りたい場合がよくあるため、多くのネットワーク・アナライザではデュアルチャネル機能を使ってノーマライズされたゲインと絶対パワーを同時に表示できます。マーカー表示を使えば、1 dBコンプレッションが起きる点の入力パワーと出力パワーを読み取ることができます。別の方法として、単に1 dBコンプレッション点での増幅器のゲインを1 dBコンプレッション点の入力パワーに加えるだけでも、対応する出力パワーが計算できます。図4では、1 dBコンプレッション点の出力パワーは12.3 dBm +31.0 dB = 43.3 dBmとなります。

この種のコンプレッションテストでは、テスト対象の増幅器をリニア動作領域からコンプレッション領域までドライブするため、パワー掃引レンジを分広く取る必要があります。最近のネットワーク・アナライザの多くは15 ~ 20 dBのパワー掃引レンジを持っており、大部分の増幅器をコンプレッション領域にドライブすることができます。もう一つ重要なのは、ハイパワー増幅器の出力を十分に減衰する必要があることです。これは、ネットワーク・アナライザのレシーバーを損傷しないためと、レシーバー自体のコンプレッションを避けるためです。

AM-PM変換の評価

振幅変調-位相変調(AM-PM)変換の測定も、高周波増幅器のノンリニア動作を表現するのに役立ちます。この測定にはベクトル・ネットワーク・アナライザが必要です。AM-PM変換は、システム内の振幅変化によって望ましくない位相シフトがどの程度発生するかを知る尺度となります。

通信システムでは、電源リップル、熱ドリフト、マルチパスフェージングなどから生じる偶発的な振幅変動のために、不要な位相変調が発生することがあります。変動はシステムで用いられる変調のタイプから生じることもあります。QAM (Quadrature Amplitude Modulation)変調やバースト変調がこの例です。



- 伝送セットアップでパワー掃引を使用
- S_{21} の位相を表示
- AM - PM = 0.86°/dB (入力パワー -4.5 dBmにおいて)

図5. AM-PM変換

AM-PM変換が重要なのは、QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)などの位相変調に基づくシステムの場合です。位相ひずみが発生すると、アナログシステムでは信号が劣化し、デジタルシステムではビット・エラー・レート(BER)が悪化します。AM-PM変換はBERと直接の関係があるので、AM-PM変換を測定すればシステムのBER悪化の原因を知る助けになることがあります。BER測定自体からはビットエラーを引き起こしている現象についての情報が得られないため、この種の測定によって補完する必要があります。

AM-PM変換は、通常は増幅器への入力パワーが1 dB増加したときの出力位相の変化と定義され、度/dBで表します。理想的な増幅器では、位相応答と入力信号レベルの間には関係がありません。AM-PM変換は、ベクトル・ネットワーク・アナライザのパワー掃引を使って測定することができます(図5)。テストデータは、順方向伝送(S_{21})の位相とパワーとの関係として表示されます。DUTのAM-PM変換を計算するには、特定のパワーレベルを中心とした振幅の小さな増加(例えば1 dB)を取り、位相の変化を記録します。振幅と位相の変化はトレースマーカーを使えば容易に測定できます。位相変化を振幅変化で割ると、AM-PM変換の値が得られます。図5では、入力パワー -4.5 dBm、出力パワー 16.0 dBmを中心として、0.86°/dBというAM-PM変換の値が得られています。

まとめ

以上のように、ベクトル・ネットワーク・アナライザは、増幅器やフィルターなどの、アクティブコンポーネントとパッシブコンポーネントのいずれも評価できる非常に正確な測定器です。キーサイト・テクノロジーは、5 Hz ~ 120 GHzの測定のために、広範なRF/マイクロ波・ネットワーク・アナライザを提供しています。このような測定器には、さまざまなオプションやテストセットがあり、スタンドアロンでも自動テスト機器(ATE)のセットアップでも測定を簡素化できます。

ベクトル・ネットワーク・アナライザの詳細については、以下の資料を参考にしてください。

[ベクトルネットワーク解析の基礎](#)、Application Note 5965-7707J

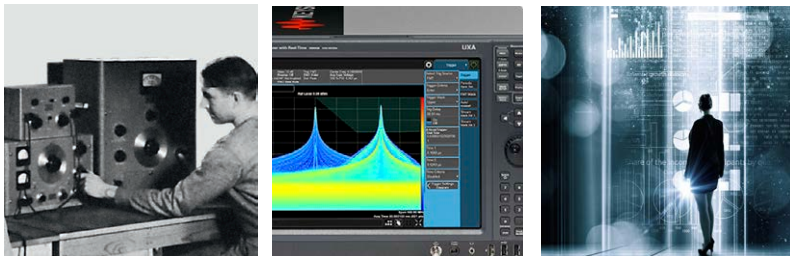
[ネットワーク・アナライザのアーキテクチャ](#)、Application Note 5965-7708J

[ベクトル・ネットワーク・アナライザ測定に対する誤差補正の適用](#)、Application Note 5965-7709J

1939年以来の進化

キーサイト独自のハードウェア、ソフトウェア、スペシャリストが、お客様の次のブレークスルーを実現します。キーサイトが未来のテクノロジーを解明します。

ヒューレット・パッカードからアジレント、そしてキーサイトへ。



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。

www.keysight.com/find/emt_product_registration

ご使用の製品を登録すれば、最新の製品情報を入手したり、保証情報を参照いただけます。

KEYSIGHT SERVICES

Accelerate Technology Adoption.
Lower costs.

Keysight Services

www.keysight.co.jp/find/service

私達は、計測器業界をリードする専門エンジニア、プロセス、ツールにて、設計、試験、計測サービスにおける様々な提案をし、新しいテクノロジーの導入やプロセス改善によるコスト削減をお手伝いします。

DEKRA Certified

ISO 9001 Quality Management System

www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2015
Quality Management System



キーサイト保証プラン

www.keysight.com/find/AssurancePlans

予想外のコストが発生せず、最長で10年間の保護があることから、測定器が仕様に従って動作することが保証され、正確な測定が確実に行えます。

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners

キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。
お気軽にお問い合わせください。

本書は以前はアプリケーションノート1287-3と呼ばれていました。

www.keysight.co.jp/find/na

キーサイト・テクノロジー株式会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-12:00 / 13:00-18:00 (土日祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。