

シャント・スルー法やシリーズ・スルー法を使って
15Ω以下や、177Ω以上を精度よく測ってみよう！

VNAで低/高インピーダンスを測る テクニックとziVNAuによる測定例

富井 里一
Tommy Reach

本稿では、まずVNA(ベクトル・ネットワーク・アナライザ)で50Ωより低いインピーダンスや50Ωより高いインピーダンスを測定する手法を紹介します。VNAを使えば、LCRメータでは測定できないような高い周波数のインピーダンスを測定することができます。

そして本誌No.35の特集で紹介した簡易VNA“ziVNAu”(DZV-1)を利用した測定例を紹介します。低インピーダンスの例としては、VNAとは縁がなさそうな直流電源のインピーダンスを測定します。高インピーダンスは、アマチュア無線の送信電波によるTVIなどの障害対策に利用するコモン・モード・チョークを測定します。

対応するziVNAuのPCアプリ(ziVNAu.exe)のパー

ジョンは19.4.25.0で下記から無料でダウンロードできます。

▶ <http://www.rf-world.jp/go/4602/>

1 VNAによるインピーダンス測定

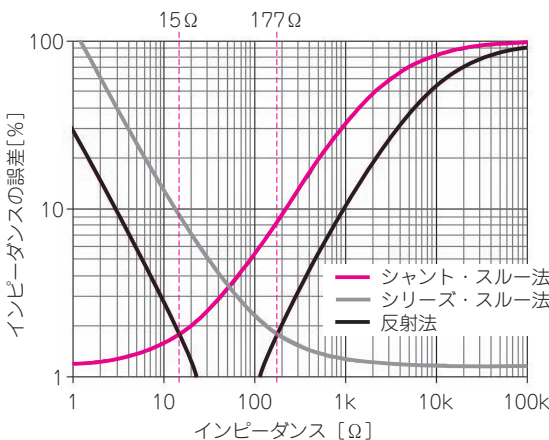
VNAのインピーダンス測定は、 S_{11} や S_{22} の測定データをスミス・チャートに表示して値を読むのが一般的だと思います。しかし、スミス・チャートは中心から離れた座標では、インピーダンスのスケールが圧縮されてしまい、期待した測定精度が得られないことがあります。

1.1 反射法, シャント・スルー法, シリーズ・スルー法

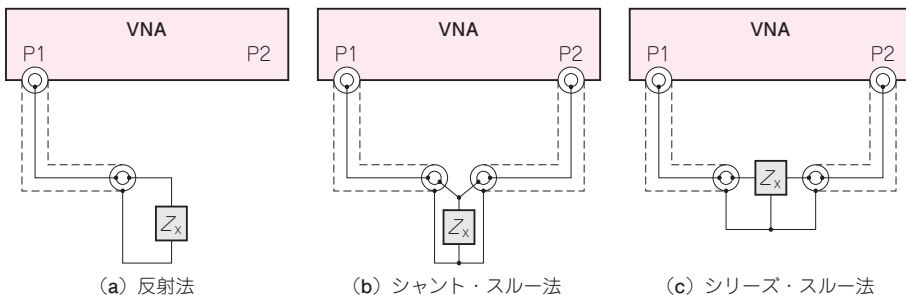
図1はVNAでインピーダンス測定をするときの接続です。反射法, シャント・スルー法, シリーズ・スルー法⁽¹⁾の3種類があります。スミス・チャート上で S_{11} からインピーダンスを読み取るのは「反射法」です。これら3種類は、それぞれ測定精度が良い範囲が異なります。

1.2 15Ω以下はシャント・スルー法, 177Ω以上はシリーズ・スルー法

図2は各測定法の誤差を示すグラフです。横軸は測定するインピーダンスの真値です。縦軸は、測定値であるSパラメータが0.1dB異なるときのインピーダン



〈図2〉各測定法の誤差(計算値)



〈図1〉VNAを使ってインピーダンスを測る三つの基本接続

ス誤差率を示します。カーブ特性が下に落ち込むほど、真値に近い測定値が得られることを意味します。

測定値が15Ωから177Ωの範囲では一般的な反射法が最も誤差が少ないですが、それより低いインピーダンスではシャント・スルー法が、それより高いインピーダンスではシリーズ・スルー法の誤差が少ないことがわかります。

2 Sパラメータからインピーダンスを求める式

2.1 S₁₁からインピーダンスを求める式 (反射法)

図3に示す回路において、負荷のインピーダンスZと信号源インピーダンスZ₀が同じとき、送る電圧V_{1F}は式(1)に、V_{1R}は式(2)の(2)のようにそれぞれ組み立てることができます。

$$V_{1F} = \frac{E_1}{2} = \frac{V_1 + I_1 Z_0}{2} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_{1R} = V_1 - V_{1F} = V_1 - \frac{E_1}{2} = V_1 - \frac{V_1 + I_1 Z_0}{2}$$

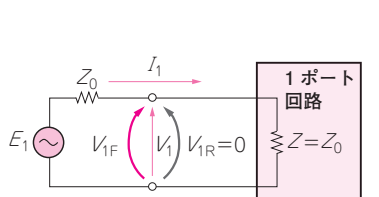
$$= \frac{2V_1}{2} - \frac{V_1 + I_1 Z_0}{2} = \frac{V_1 - I_1 Z_0}{2} \dots\dots\dots (2)$$

そして、V_{1F}/V_{1R}の式(3)からS₁₁が求まります。ここまで文献(2)にもう少し詳しく記載しています。

$$S_{11} = \frac{V_{1R}}{V_{1F}} = \frac{V_1 - I_1 Z_0}{V_1 + I_1 Z_0} = \frac{Z_1 - Z_0}{Z_1 + Z_0} \dots\dots\dots (3)$$

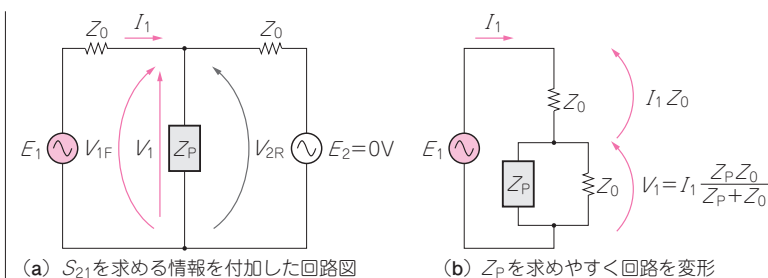
さらに、Z₁を求める式(4)に変形することで、測定したS₁₁から被測定デバイスのインピーダンスを求める反射法の式になります。

$$Z_1 = Z_0 \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \dots\dots\dots (4)$$



$V_1 = V_{1F} + V_{1R}$
ただし、V_{1F}: 送る電圧、V_{1R}: 戻る電圧

〈図3〉 負荷をZ₀にしたときの1ポート回路



〈図5〉 シャント・スルー法のS₂₁を求める2ポート回路

2.2 S₂₁からインピーダンスを計算する その1: シャント・スルー法

● S₂₁を求める基本式

図4に示す2ポートの回路からS₂₁を求めると、式(5)になります。このとき、解きやすいように二つの負荷は信号源インピーダンスZ₀と同じです。

$$S_{21} = \frac{V_{2R}}{V_{1F}} = \frac{V_2 - \frac{0}{2}}{\frac{V_1 + I_1 Z_0}{2}} = \frac{2V_2}{V_1 + I_1 Z_0} \dots\dots\dots (5)$$

$$V_{2R} = V_2 - V_{2F} = V_2 - \frac{E_2}{2} \dots\dots\dots (6)$$

ただし、V_{1F}は式(1)をV_{2R}は式(6)の(2)をそれぞれ利用します。文献(2)にもう少し詳しく記載しています。

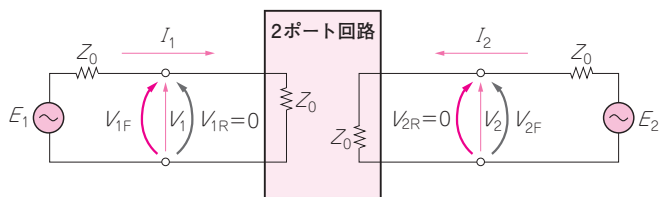
● Z_Pを求める式

式(5)を元に、シャント・スルー法の接続をした回路から被測定デバイスのインピーダンスZ_Pを求める式にしてゆきます。

図5(a)は、シャント・スルー法の接続にS₂₁を解く情報を加えた回路図です。そして、被測定デバイスのインピーダンスZ_Pを求めやすくするために変形した回路図が図5(b)です。図5の回路図を式(5) (S₂₁を求める式)に当てはめて整理したものが式(7)です。S₂₁とZ_Pを含む式になりました。

$$S_{21} = \frac{2V_1}{I_1 Z_0 + V_1} = \frac{2 I_1 \frac{Z_P Z_0}{Z_P + Z_0}}{I_1 Z_0 + I_1 \frac{Z_P Z_0}{Z_P + Z_0}} = \frac{Z_P}{Z_P + \frac{1}{2} Z_0}$$

$$= \frac{Z_P}{Z_P + 25} \dots\dots\dots (7)$$



〈図4〉 負荷をZ₀にしたときの2ポート回路

V_{1F}: 信号源E₁が送る電圧
V_{1R}: 信号源E₁に戻る電圧
ただし、E₁から電圧を送るときE₂は0Vとする

V_{2F}: 信号源E₂が送る電圧
V_{2R}: 信号源E₂に戻る電圧
ただし、E₂から電圧を送るときE₁は0Vとする