

5,000円で入手できる夢のネットワーク・アナライザー

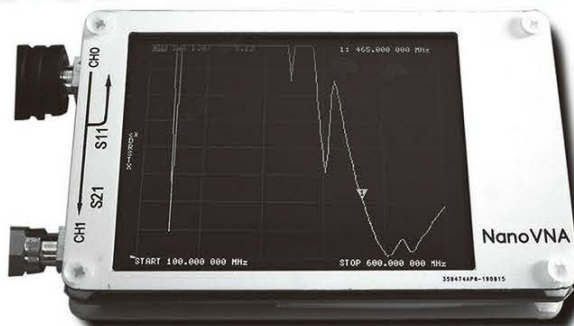
永久保存版

本多 幾夫
JH1GJY

NanoVNA

日本語 操作マニュアル

信号発生器
ディップメーター
LCR測定
フィルタ特性測定
ネットワーク・アナライザー
スミスチャート(複素)表示
SWR表示



前回のNano VNAの紹介記事「Nano VNA入門マニュアル」は、いかがでしたか。なるべく詳しく書いたつもりですが、おわかりになられたでしょうか。

さて今回は、前回に続き、その他の測定方法について紹介します。

Nano VNAを使った測定方法

続・Nano VNAによる測定方法

前回に紹介できなかった測定事例を紹介します。図1～図12をご覧ください。

◆スルー・カップラーの特性

図1をご覧ください。

スルーカップラーは、スペアナでリニアアンプや無線機の出力の状態を調べるのに便利です。スプリアスや高調波、異常発振などの有無を検査できます。

◆マグネチックループ・アンテナの測定

図2をご覧ください。

マグネチックループは小型で、共振特性がかなりシャープなアンテナです。

Nano VNAを使えば、そのシャープ

な共振特性やSWRを測定できます。

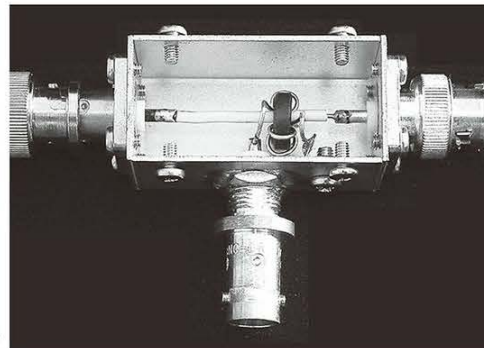
◆クリスタル・フィルタなどの測定

図3をご覧ください。

最近、クリスタル・フィルタは無線機には使われなくなってきました。回路構成がデジタル化して、フィルタを演算処理するようになったためです。

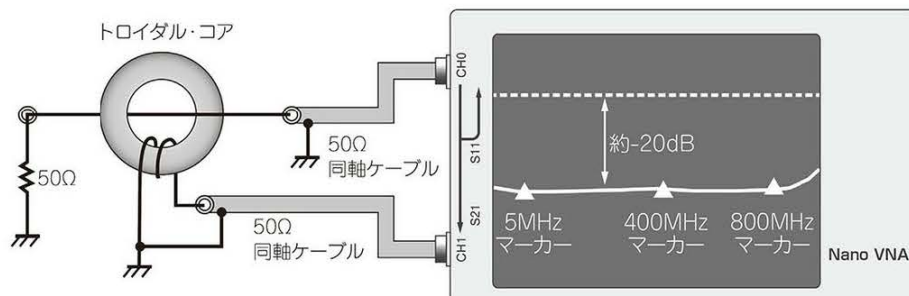
Nano VNAでクリスタル・フィルタの特性を知ることができるので、クリスタル・フィルタ

を自作するときにとっても便利です。ラダー(梯子)型クリスタル・フィルタなど製



↑自作スルー・カップラーの例。

図1 スルー・カップラー測定時の Nano VNA への接続と設定



【設定条件】

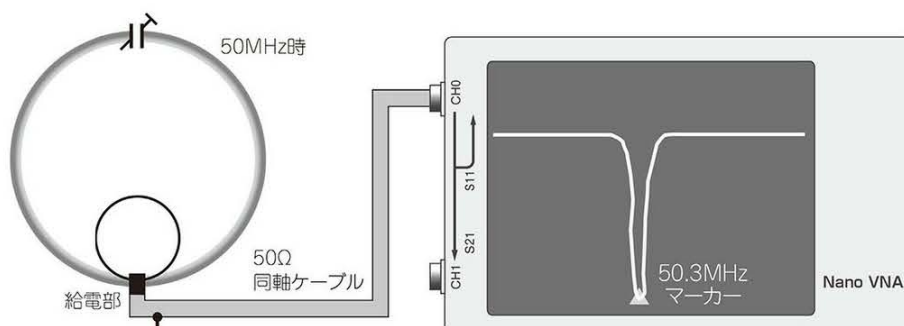
スタート周波数は1MHz

[FORMAT]は[LOGMAG]

ストップ周波数は900MHz

スルーカップラーの周波数特性がわかる

図2 マグネチック・ループ・アンテナ測定時の Nano VNA への接続と設定



【設定条件】

スタート周波数は49.5MHz

[FORMAT]は[LOGMAG]

→リターンロス表示

ストップ周波数は50.5MHz

[FORMAT]は[SWR]

→SWR表示

作するときに、特性を測定するのに威力を発揮してくれます。

◆トロイダル・コアを使った共振回路の測定

図4をご覧ください。

ディップメーターのようにコイルを近づけても、Nano VNAでは共振特性はわかりません。ですからここでは、Nano VNAを使って共振周波数を測定する方法を説明しています。

◆抵抗の測定

スミスチャートで抵抗値の測定ができます。図5をご覧ください。

また、この抵抗がどのぐらいの高い周波数まで使えるのかもわかります。

◆コイルの測定

図6を参照してください。

スミスチャートでコイルの値がわかります。

◆コンデンサーの測定

図7を参照してください。

スミスチャートでコンデンサーの値がわかります。

◆水晶発振子の測定

図8を参照してください。

水晶発振子の持っている直列共振点、並列共振点が測定によりよくわかります。

鋭い共振特性と水晶の善し悪しや副共振点などが測定できます。

◆プリアンプの特性測定

図9を参照してください。

プリアンプ製作時に調整と特性測定に便利です。

周波数特性とゲインが良くわかります。

◆マルチバンド・アンテナの測定

図10を参照してください。

多バンド化されたアンテナ特性が同時に一目でわかります。

調整時にどのように調整したら良いかすぐにわかります。

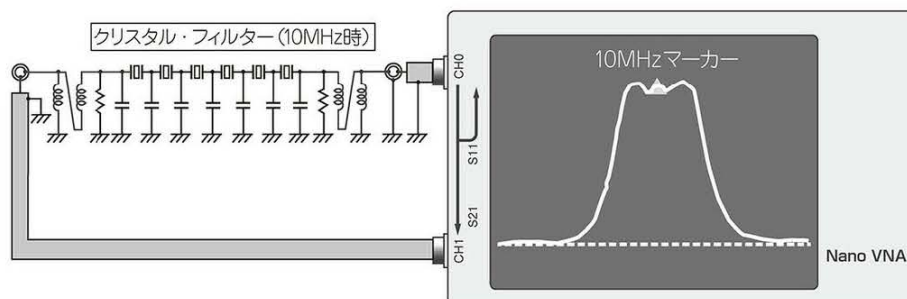
◆アンテナ・カップラーの測定

図11を参照してください。

◆地デジ・アンテナの測定

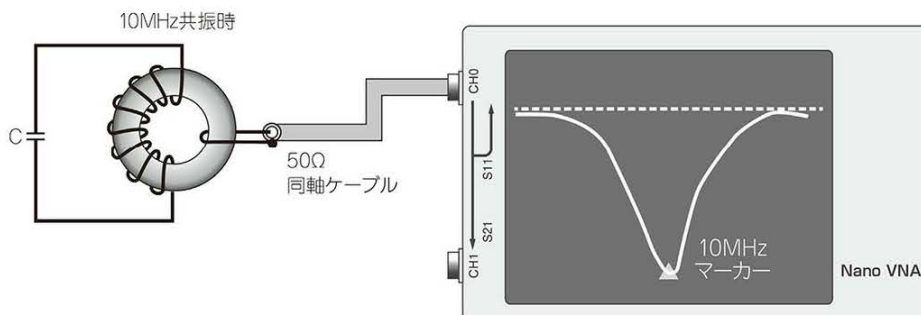
図12を参照してください。

図3 クリスタル・フィルタ測定時の Nano VNA への接続と設定



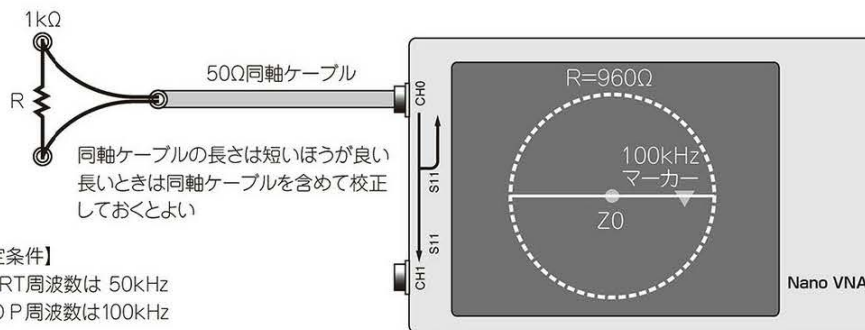
【設定条件】
 CENTER周波数は10MHz **FORMAT**は**LOGMAG**
 SPAN周波数は10kHzか20kHz

図4 トロイダル・コアを使った共振回路の測定



【設定条件】
 START周波数は9.0MHz **FORMAT**は**LOGMAG** →リターンロス表示
 STOP周波数は11.0MHz

図5 抵抗器の測定



【設定条件】
 START周波数は 50kHz
 STOP周波数は100kHz
FORMATは**SMITH** スミスチャート表示

図6 コイルの測定

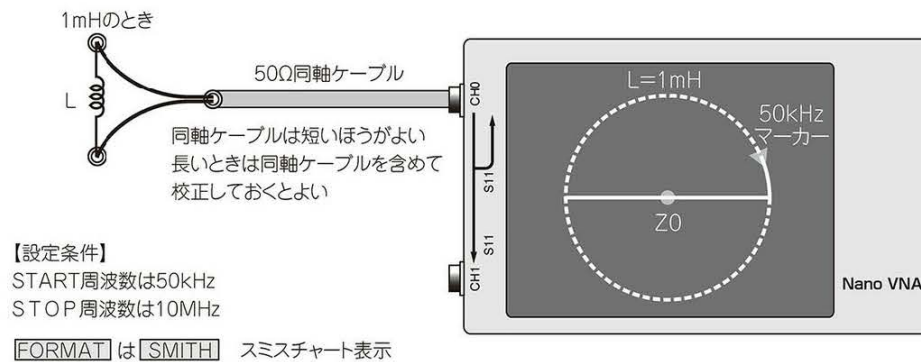


図7 コンデンサーの測定

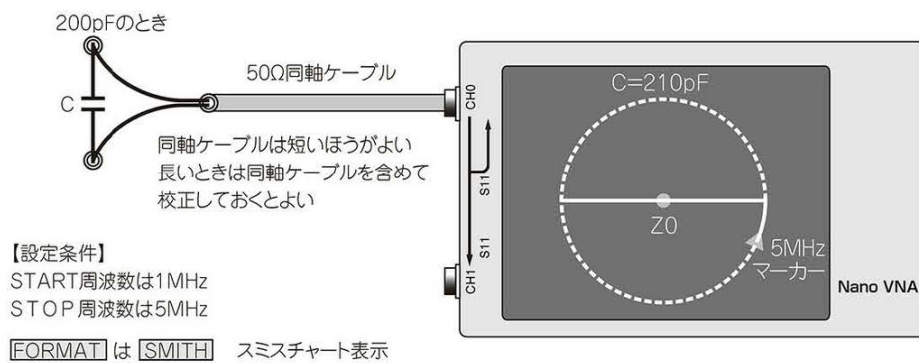


図8 水晶発振子の測定

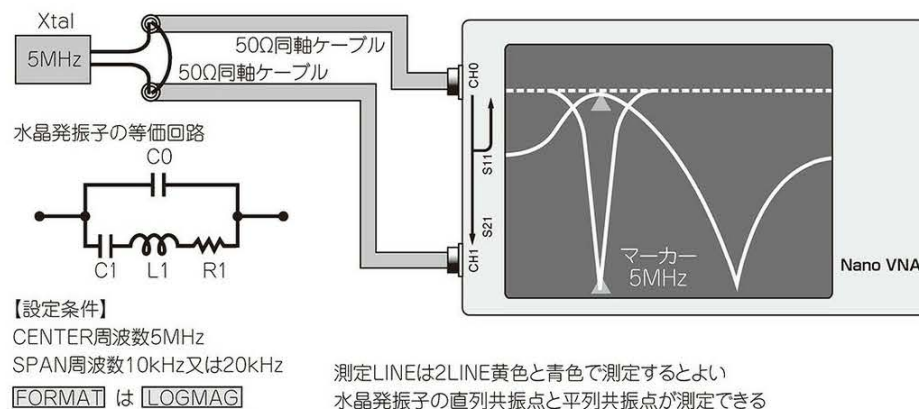


図9 プリアンプの測定

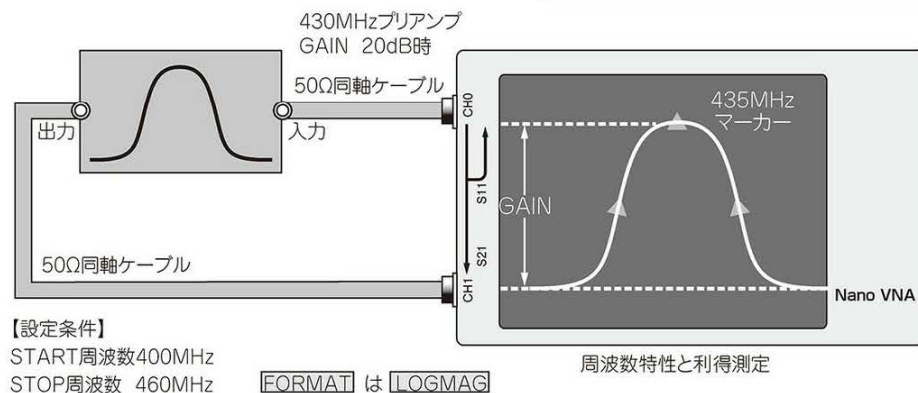


図10 マルチバンド・アンテナの測定

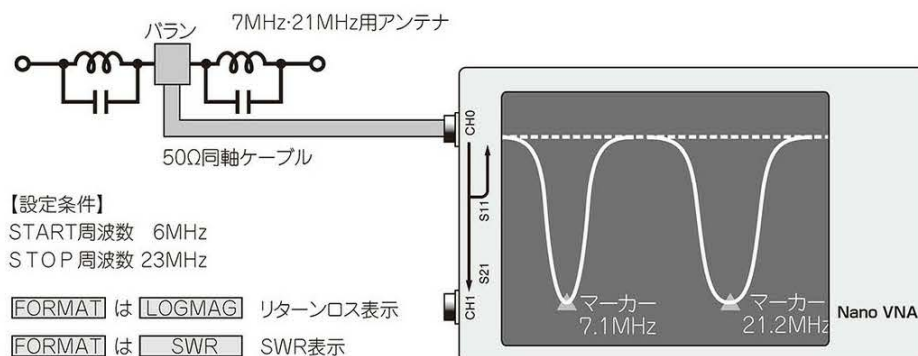


図11 アンテナ・カップラー (28MHz) の測定

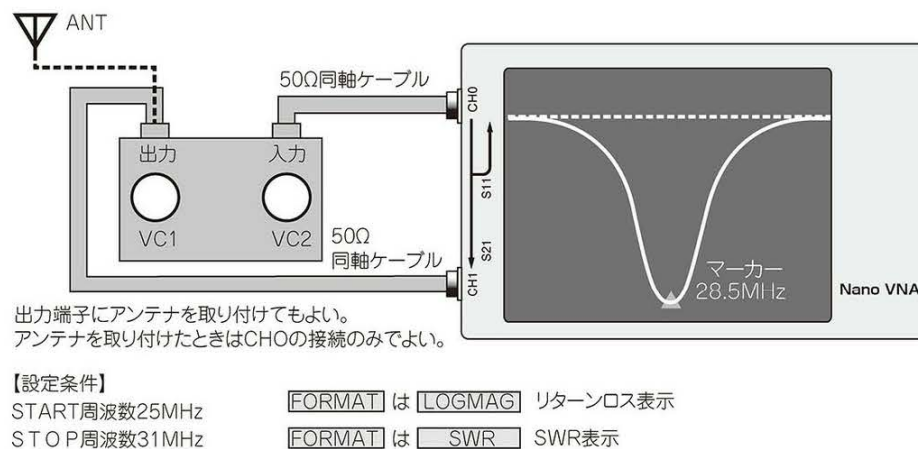
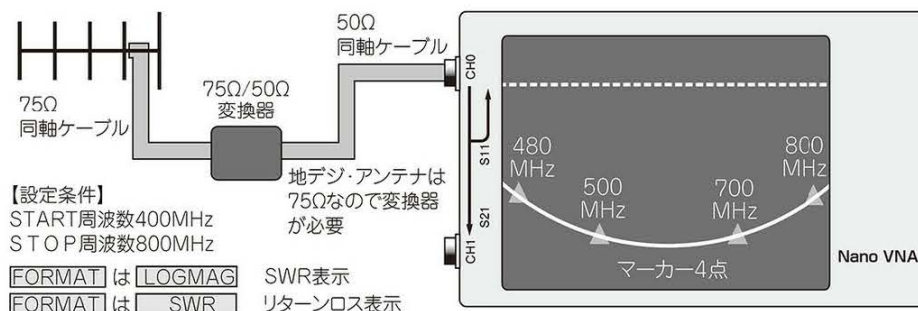


図12 地デジ・アンテナの測定



Nano VNAで理解するスミスチャート

スミスチャートとは何か、そして何ができるのでしょうか。

ここで、Nano VNAを使った状態を基本に、スミスチャートについて説明したいと思います。なぜなら、スミスチャートを理解で説明したのではわかりにくいことと、詳しく説明すると1冊の本になるほどの量があるからです。スミスチャートにさらに詳しく知りたい場合は、スミスチャートに関する専門書が出版されていますから、そちらをお読みください。

この記事の基本はNano VNAの使い方がメインですから、Nano VNAのスミスチャート画面から読み取れる測定情報と見方を重点において、説明することになります。

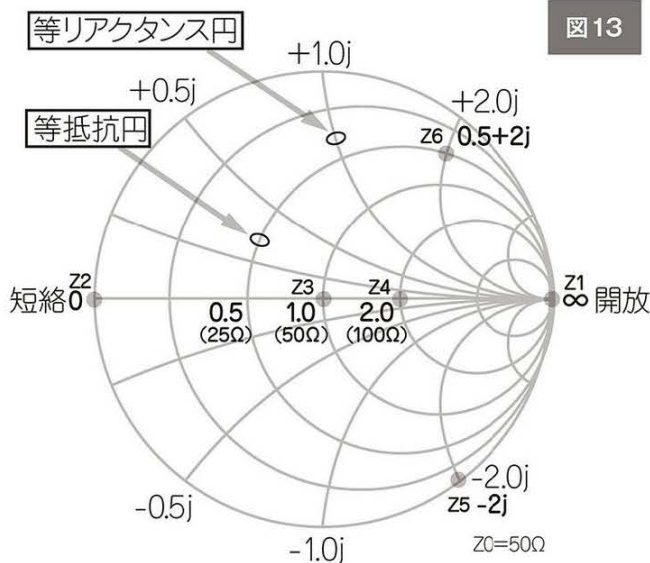
◆スミスチャートとは何か

スミスチャートという言葉を知ったことはあるでしょうか。

1939年にRCAのエンジニアでアマチュア無線家（コールサイン=1ANB）でもあるフィリップ・スミスが計算尺を参考に発明したものです。

さて、高周波回路のいろいろな問題を数式を用いて解くには、実数部分と虚数部分からなる複素計算になるので、かなり面倒です。

スミスチャートとは、このような複雑な複素数計算を図表上で簡単に行うことができるようにグラフ化されたものです。このスミスチャートを利用すると、高周波回路を考えたときにとても便利なのです。



- *この円の水平軸が複素反射係数の実数部、垂直軸は虚数部を表します。反射係数は入力電圧に対する反射電圧比を表し、ベクトル数値（複素数）です。
- *インピーダンスの実数（抵抗）成分は周波数によらず一定なので、各円上は等抵抗であることを表します。等抵抗円と言います。
- *上下に曲がった円弧上はインピーダンスの虚数（リアクタンス）成分が一定なので、等リアクタンス円と言います。
- *円の上半円部分は誘導性（インダクタンス）成分で、下半円部分は容量性（キャパシタンス）成分を表します。
- *さらに円の真ん中は普通1です。Z0で正規化します。実際のインピーダンスを特性インピーダンスZ0で割り算したものを正規化インピーダンスと呼びます。
- 特性インピーダンスとは、分布定数回路を伝っている電圧と電流の波の比と定義され、Z0は50Ωや75Ωが一般的。

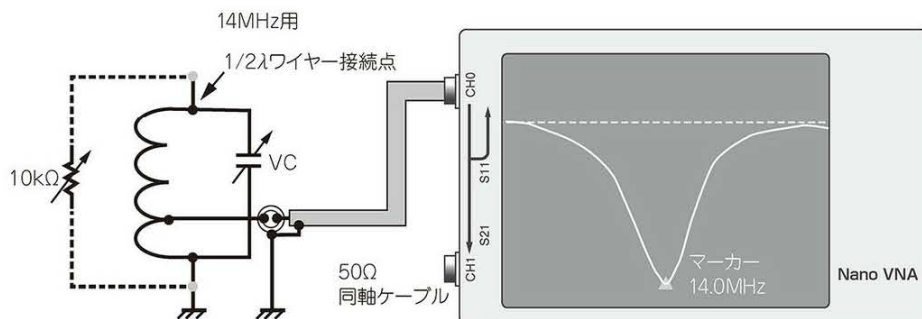
図13がスミスチャートです。

◆Nano VNAのスミスチャート

画面から読み取れる測定情報と見方

については、写真2～写真8を参照してください。Nano VNAでスミスチャート表示するためのメニュー設定。

図14 14MHz マッチング・ボックス測定時の Nano VNA への接続と設定



擬似負荷としてボリュームを使うのは正攻法ではありませんが、取りあえずやってみました。これは室内で測定するためにやっていることで、屋外では10m (14MHzの半波長) のワイヤーを接続したほうが、より正確な測定ができます。

【設定条件】
スタート周波数は12MHz
ストップ周波数は16MHz

表示はリターンロス表示
FORMATはLOGMAG
SWRを表示したいときは
FORMATはSWR

まずはNano VNAの画面にタッチして初期メニューから、
→DISPLAY→TRASEを選び、黄色のラインだけにしておきます。

次に初期メニューから、
→DISPLAY→FORMAT→SMITHと設定します。

周波数範囲は、初期メニューから、
→STIMULUS (周波数設定)、START周波数13MHz、STOP周波数15MHzほどに設定すればよいでしょう。

マーカーは、
初期メニュー→MARKERから、とりあえず14MHzマーカーを1個出しておきます。

スケールは初期メニューから
→SCALEへと進み、10dB目盛りとしておけばよいでしょう。

前回の本誌2020年3月号関連記事

「Nano VNA日本語入門マニュアル」にあるメニュー表と階層表を見て設定すれば、ややこしい設定が簡単に行なえます。

◆スミスチャートからわかること

さて、Nano VNAを使ってSWR測定およびリターンロス測定を行い、関連づけてスミスチャートの測定から何がわかるのかを説明します。こうしたほうがわかりやすくなります。

写真2～写真8はNano VNAを使って14MHz用アンテナのマッチング・ボックスの特性を測定した画面です。

マーカーの周波数位置から、実数部、および虚数部のリアクタンスを読むことができます。

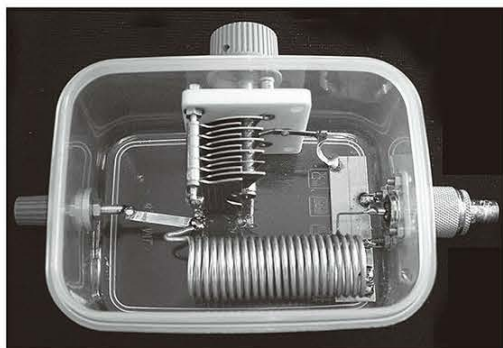
また、マーカー周波数を動かすことにより、その周波数における実数値、および虚数部のリアクタンス成分が誘導性か

容量性かがわかります。

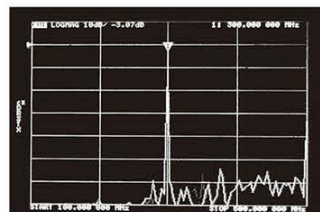
またSWRもわかります。スミスチャートの中心の1のところが50Ωの点ですから、その1から離れれば離れるほど、マッチング状態が悪いことになります。

誘導性のほうにあるときは誘導性、容量性のほうにあるときは容量性の補正が必要です。アンテナの製作時に、給電点のインピーダンスを50Ωの純抵抗に近づける操作が目わかり、とても便利です。

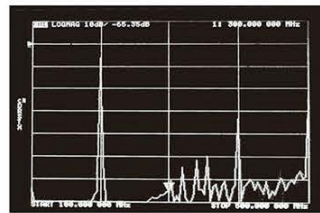
誘導性とはコイルのインダクタンス成分のことです。また容量性とは、コンデンサのキャパシタンス成分です。



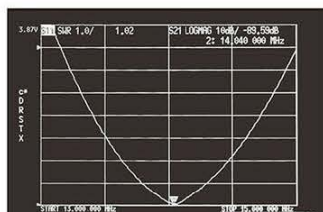
←写真1/測定した14MHzアンテナ用自作マッチングボックス。1/2λの単線エレメントの端に給電する。モバイル用でノンラジアル・タイプと呼ばれるものと一緒に、アース不要となるのが特徴。ダイボールのように給電部が垂れ下がらないので、架設も容易。



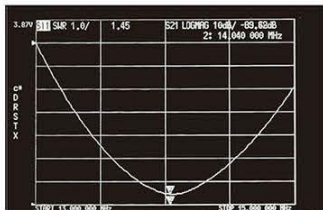
↑写真2/ Nano VNAをスペクトラム・アナライザーとして働かせたときの測定画面 (1)。



↑写真3/ Nano VNAをスペクトラム・アナライザーとして働かせたときの測定画面 (2)。



↑写真4 / SWR=1.02でマッチングが取れている状態のSWRカーブ。



↑写真7 / SWR=1.45と、マッチングが取れない状態のSWRカーブ。最小点が浮いている。

スミスチャートで言うと、誘導性は円の上半分です。また容量性は下半分です。実数部は円の中心が1で50Ω、円の右端が無限大(∞)、円の左端が短絡0Ωです。

測定にはいる前に校正が必要となる意味も、これでわかると思います。すなわち、校正にSMAコネクタの50Ω、ショート、オープンを使う意味です。

◆ダイボールの調整

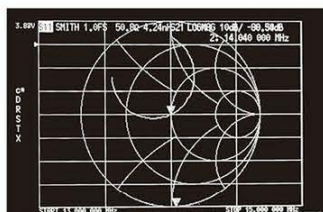
ちなみに、半波長ダイポール・アンテナを純抵抗にしてマッチングを取るときはどうすれば良いか考えてみます。

よくアンテナの〈波長短縮率〉という言葉聞いたことがあると思います。速度係数とも呼ばれます。

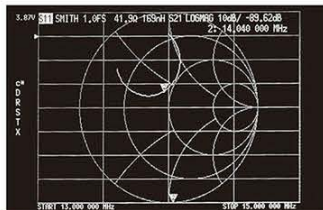
なぜエレメントの長さを計算で得た値より短縮しなくてはいけないかというと、計算結果のままでは誘導性リアクタンス成分があり、アンテナのマッチングが取れないからです。

この誘導性リアクタンス成分を打ち消すために、エレメントを約3%ほど短く作り、誘導性リアクタンスを打ち消して純抵抗にして、マッチングを取ることになります。この現象はNano VNAのスミスチャートで測定すると一目で分かります。

このように、スミスチャートが見えるということは、アンテナ製作時に役に立ちます。目に見えてリアクタンス成分がわかるからです。



↑写真5 / マッチングが取れたときのスミスチャート。インピーダンス50.8Ωでマッチング。



↑写真8 / マッチングが取れない状態のスミスチャート。インピーダンス41.9Ωで中心部からずれている。

なお、なぜ波長短縮率を約3%にするかという計算式は、第1級陸上無線技術士の無線工学の国家試験問題の解説に、詳しく計算式として載っています。興味のある方は参考にしてください。

◆14MHzアンテナ用マッチングボックスを使ったマッチングの取り方

nano VNAを使って、14MHz用半波長オフセンターフェッド・アンテナに使用するマッチングボックス(写真1)の測定をして、リターンロス・SWR・スミスチャート表示から、マッチングがよく取れているときと、マッチングがよくないときの状態を比較します。

また、マッチングがうまく取れていないときはどのようにしたらよいか、具体的に説明します。

マッチングボックスとNano VNAの接続と設定を図14に示します。

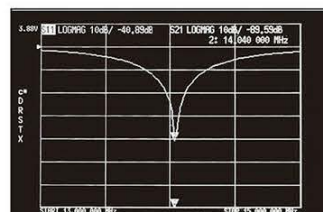
【マッチングがよく取れているとき】

- ・SWR表示(写真4)
- ・スミスチャート表示(写真5)
- ・リターンロス(写真6)

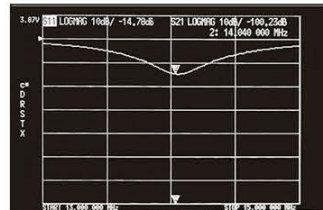
【マッチングが取れていないとき】

- ・SWR表示(写真7)
- ・スミスチャート表示(写真8)
- ・リターンロス(写真9)

これらの写真からわかるように、マッチングが取れていない状態では、SWR・スミスチャート表示・リターンロスの画面から、インピーダンスが50Ωで



↑写真6 / マッチングの取れたリターンロス特性。ロス-40.89dBなのでSWRは1.02と合致。



↑写真9 / リターンロス-14.7dBとよくない状態。SWRは1.45と、よく合っている。

なく、リアクタンス成分もあることがわかります。マーカーの周波数位置からは、SWR・スミスチャート表示・リターンロスの値が読み取れます

このようにマッチングが取れない状況はよく遭遇することですが、それではどのようにしてマッチングを改善していくかについて、説明します。

◆マッチングの改善

マッチングの取れない状態は、アンテナと、同軸ケーブル給電部の mismatch から起こります。スミスチャート表示を見て、インピーダンスが高いのか低いのかを判断して、給電部のコイルのタップ位置を変更しましょう

インピーダンスが高いときはコイルのタップ位置を下げ、反対にインピーダンスが低いときはコイルのタップ位置を上げましょう。そうすればインピーダンスは50Ωに近づいて、マッチングが取れます。

また、はじめにマッチング・ボックスの同調周波数が14MHzに共振していないときは、バリコンを調整して14MHzに合わせましょう。

アンテナとのマッチングは、共振周波数と、インピーダンスが合ってこそ、最良の状態になります。私はこの14MHz 1/2λ垂直アンテナを使用して、7大陸・200カントリー以上の国々と交信しています。調整次第で威力を発揮する、簡単で実力のあるアンテナです。