



第4章 145/435 MHz帯2バンドGPのSWRを本格的VNAやziVNAuの実測値と比較する

NanoVNAによる2バンド・アンテナのSWR比較測定

富井 里一
Tommy Reach

1 実験のきっかけ

ある日、編集部からアマチュア無線用V/UHF帯2バンド・アンテナのSWRを中国製NanoVNAと本格的VNAで測り比べてほしいという連絡がありました。

編集部のお話では、145 MHz帯/435 MHz帯の2バンドGPアンテナをNanoVNAで測定すると、145 MHz帯のSWRは1.3程度と本格的VNAの測定値1.5程度より良い値になるということです。

NanoVNAはロー・コスト化のためにSi5351Aというクロック・ジェネレータICを信号源に使用しています。(スペック外ながら)300 MHzまでの任意の周波数を出せて便利なICですが、出力信号が矩形波のため奇数次の高調波が多く含まれています。435 MHzは145 MHzのちょうど3倍に当たるため、NanoVNAの測定に高調波の影響が出てしまった懸念があります。

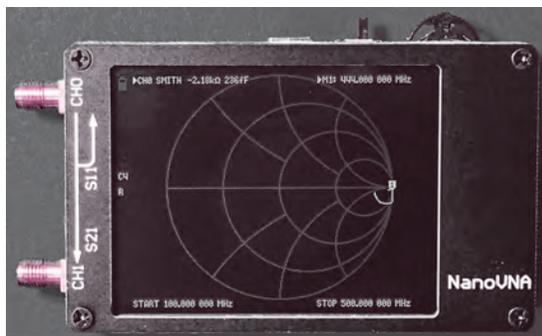
そこでV/UHF帯2バンド・アンテナのSWRをNanoVNAと本格的VNAで測り比べてみました。

2 NanoVNAについて

2019年春ごろから、海外通販サイトで中国製NanoVNAが7,000円を切るような価格で売られはじめ、夏ごろには欧州、オセアニア、アジアなど世界中で話題になり、米国のアマチュア無線雑誌QEXの2020年1-2月号⁽¹⁾の表紙を飾り、話題をさらいました。中国製NanoVNAはいくつかの種類があるようです。写真1は今回使用した中国製NanoVNA-H(50 kHz~900 MHz)です。

オリジナルのNanoVNAは高橋知宏氏(edy555)が2016年ごろ開発されたもので、100 kHz~300 MHzの1パス2ポート測定が可能な簡易型VNAです。その回路図やファームウェアをgithubに公開していたところ、中国のハッカー達がおもしろがって改良し、製品化して激安で発売したのが上述の中国製NanoVNAです。

中国製NanoVNAの回路やファームウェアはオリジ



〈写真1〉アンテナのSWR測定に利用したNanoVNA(NanoVNA-H)

ナルNanoVNAをほぼ踏襲していますが、測定範囲は最大900 MHzや1.5 GHzなどに拡張されています。

図1はNanoVNAのブロック図⁽²⁾です。前述したように発振源としてクロック・ジェネレータICを使っているため、その波形は正弦波ではなく矩形波であり、奇数次高調波がたくさん含まれています。図2は、NanoVNAの測定周波数を145,000 MHzに設定したときのローカル信号のスペクトラムです。奇数次の高調波は偶数次より一般的にレベルが高いことがわかります。測定には10:1の高周波プローブを利用したので、実際は表示値より20 dB高いレベルです。

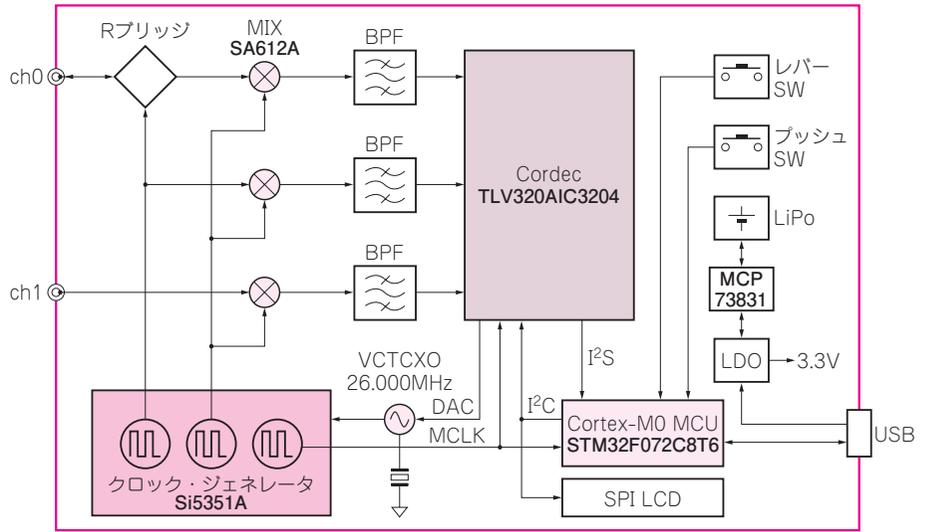
3 高調波スプリアスの考察： 0.1 MHz~300 MHz

3.1 NanoVNAの周波数とフィルタ構成

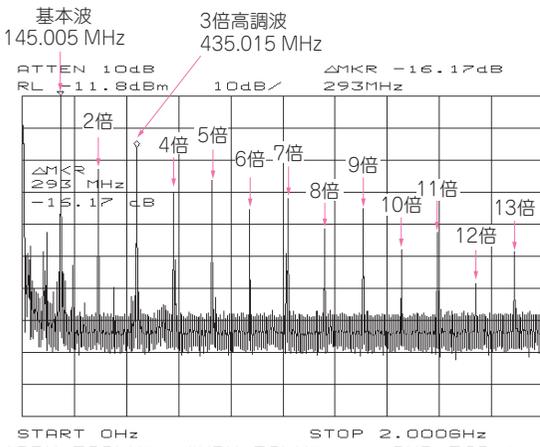
高橋知宏氏の「NanoVNA alpha1キット組み立て説明書」⁽²⁾にIF周波数とフィルタの記載があります。

- IFは5 kHz
- ADCサンプリング周波数(f_s) = 48 kHz
- 3倍成分は5 kHzのIFから離れた15 kHzにダウン・コンバート。
- コーデックICのIIRフィルタ・ブロックで5 kHz BPF(4次ベッセル)を実施。

これらの内容から、高調波を含む信号の流れを確認



〈図1〉⁽²⁾ NanoVNAのブロック図



〈図2〉 測定周波数を145.000 MHzに設定したときのローカル信号のスペクトラム(0 Hz~2 GHz, 10 dB/div.)

〈表1〉 測定周波数を145.000 MHzに設定したときに高調波がダウン・コンバートされる周波数

高調波 (RFの倍数)	RF [MHz]	LO [MHz]	IF [kHz]
1倍(基本波)	145.000	145.005	5
2倍	290.000	290.010	10
3倍	435.000	435.015	15
4倍	580.000	580.020	20
5倍	725.000	725.025	25
6倍	870.000	870.030	30
7倍	1015.000	1015.035	35
8倍	1160.000	1160.040	40
9倍	1305.000	1305.045	45
10倍	1450.000	1450.050	50
11倍	1595.000	1595.055	55
12倍	1740.000	1740.060	60
13倍	1885.000	1885.065	65
14倍	2030.000	2030.070	70

してみたいと思います。

■ 3.2 高調波によって ダウン・コンバートされる周波数

以下は145 MHzを測定するときの例です。145.000 MHzを測定するとき、ch0ポートから測定周波数と同じ145.000 MHzが出力されます。そして、DUTで反射した145.000 MHzの信号をch0が受信します。一方、ローカル信号は145.005 MHzに設定されていて、受信した145.000 MHzはIFの5 kHzにダウン・コンバートされてADCに入力されます。

ch0ポートからは図2と同様のレベル比で各周波数成分が出力されます。2倍は290.000 MHz、3倍は435.000 MHzです。また、ローカルも同様のレベル比で各周波数成分がミキサに入力されます。これによってダウン・コンバートされる周波数のリストを表1に示します。高調波の次数に従い5 kHzの整数倍にダウン・コンバートされることがわかります。

ダウン・コンバートされてADCに入力された5 kHz、10 kHz、15 kHzの信号は、コーデックICのIIRフィルタにより5 kHz以外を減衰させるという流れになると思います。

■ 3.3 ADCでデータ化される信号

ADC独特の周波数特性を持って信号はデータ化されるので、その要素を押さえておきます。

● ベーシックなADCのデータ化

NanoVNAが搭載する $\Delta\Sigma$ 型ADCのフィルタは高性能ですが、まずはADCの基本から説明します。

ベーシックなADCの例として逐次変換型ADCは、データ化される周波数特性が $\sin(x)/x$ のカーブ特性になります(理想の場合)。さらに、 $f_s/2$ (サンプリング