

# 連載



## 周波数/波形解析から信号発生まで! エントリ・キットで始めよう

# フルディジタルRFプロセッサ SDRで作る私の計測器

第12回(最終回) //Q処理型  
FFTスペクトラム・モニタの製作

加藤 隆志 Takashi Kato

本連載では、ワンチップFPGA MAX10とUSBブリッジICを搭載したモジュール(写真1)を使って、フルディジタルのスペクトラム・モニタを製作中です。MAX10が内蔵するサンプリング周波数1MSPS、分解能12ビットのA-Dコンバータを利用してアナログ信号をデジタル信号に変換し、信号処理した結果をパソコンに転送・解析してスペクトラムを表示します。

第10回(本誌2020年3月号)と第11回(同4月号)では、任意の周波数の電力を観測できるスカラ型のスペクトラム・モニタを作りました。今回は電力に加えて位相も測ることができるようロジック回路を追加し、ベクトル解析機能を追加します。

本器の測定範囲はDC~500kHzなので、PLLや電源回路のフィードバック特性やアナログ・フィルタの特性評価が可能です(図1)。 〈編集部〉

第10回と第11回では、MAX10 FPGA内にミキサやAWG(Arbitrary Wave Generator)、FIRフィルタを作り込んで、アナログ信号の強さ(電力)を測ることができるスカラ型のスペクトラム・モニタを作りました。これを、//Q処理型(ベクトル型)に進化させます。横軸が周波数の測定器にはベクトル型とスカラ型があります。ネットワーク・アナライザはほぼすべてベクトル型で、帯域は数十Hz~数GHz(普及型)から

100GHz帯(ミリ波帯用)まで市販されています。スペクトラム・アナライザはスカラ型がほとんどで、帯域は数十Hz~数GHz(普及型)から100GHz(ミリ波帯用)まであります。最近はベクトル型が増えてきました。FFTアナライザにもスカラ型とベクトル型(本器はこの部類)があり、周波数帯域は1GHz以下です。

### 1次元のデータを2次元化する 「//Q変復調技術」

● 1次元だと一度に16個しか送れないけれど、2次元なら256個も可能

「ベクトル」とは、振幅と位相の2つの次元で表される量のことです(図2)。これに対して、大きさ(振幅や電力)など、1次元の量を「スカラ」と呼びます。従来のAM放送やFM放送などのアナログ通信は信号の強弱だけ、または周波数の高低だけで変調しています。いわゆるスカラ量による通信です。

テレビやスマホは、データ(シンボル)を位相と振幅の違う信号に関連付けて(図3)、電波に載せています。実際のデジタル送受信機の内部では、位相と振幅はなく、I軸とQ軸の値を組み合わせた座標値で処理を進めます。これを//Q復調、//Q変調などと呼びます。

//Q変復調は、1次元ではなく2次元でデータを扱うので、たくさんのデータを一気に送ることができます(2次元化する方法は//Q変復調以外にもある)。例

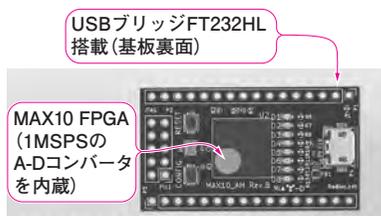


写真1 FPGA-USBモジュール SDR-Block AM-TG1(CQ出版社)を使って、フルディジタル・スペクトラム・モニタを製作中

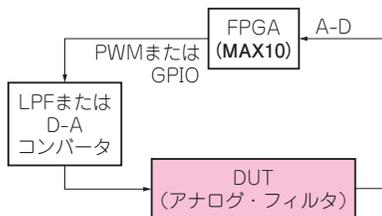


図1 今回製作するスペクトラム・モニタを使うと、PLLや電源回路のフィードバック特性やアナログ・フィルタの周波数応答を測定できる  
測定範囲はDC~500kHz

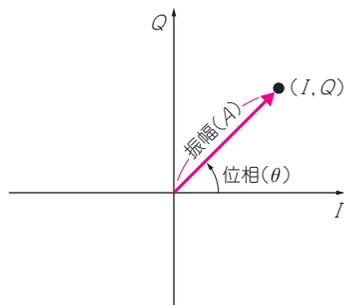


図2 「ベクトル」とは振幅と位相の2つの次元で表される量