

第6章 内蔵発振器のキャリブレーション

マイコンのソフトウェア開発⑤

スペシャル・ファンクション

小川 一朗 Ojisaikoubou

第3章～第5章では、SDRの最も基本的かつ重要な信号処理「変調と復調」の考え方と実際のCプログラムを紹介しました。第6章では、マイコンのパフォーマンスを活かしたSDR-3のスペシャル・ファンクションを紹介します。

① プレジジョン周波数カウンタと内部クロック・キャリブレーション

● リファレンスは放送電波のキャリア

SDR-3は、内蔵の水晶発振回路の周波数ずれを微調整する機能を搭載しています。補正值は、LCDモニタのメニュー画面から、1 ppm単位で値を入力するのですが、この補正值をどうやって求めるかが問題です。SDR-3が出力できる10 MHzのテスト信号の周波数を周波数カウンタなどの外部測定器で測るほかありません。でも、そんな周波数カウンタをもっている人は少ないでしょう。

AM放送波のキャリアは周波数誤差が1 ppm以下とわりと正確です。そこで、ラジオ放送のキャリアを測定し、これを正しい周波数と考え、SDR-3の内部クロック周波数との差を表示する機能を追加しました。なんらかの方法で、放送電波のキャリア周波数を1 Hz精度で測ることができれば、高級な周波数基準器は不要で、電波を受信するだけで補正值が得られます。

というわけで、電波のキャリア周波数を常にモニタして、LCDモニタに表示することにしました(図1)。



図1 SDR-3のスペシャル・ファンクション① プレジジョン周波数カウンタの+LCD表示
放送電波のキャリア周波数と内部クロック周波数の差分を算出して表示

受信周波数±240 Hz以内にある一番強いスペクトラムをキャリアと見なして、その周波数を測っています。

● 分解能0.34 Hz/ プレジジョン・キャリア周波数測定のしくみ

▶SDR-3のFFTの周波数分解能は24 Hz(= 12 kHz/512ポイント)と粗い

一般的に、キャリアの周波数は次のどちらかの方法で測りますが、どちらも大げさです。

(1) I/Q信号の周波数をカウントする

(2) I/Q信号の位相を計算して微分する

もっとシンプルで高い精度が得られる虫のよい方法を考えました。SDR-3は、スペクトラム表示のために、50 msごとにFFT計算を実行しています。このFFT計算結果から周波数が得られれば一石二鳥です。

SDR-3のFFT計算は、サンプリング周波数12 kHzのI/Q信号を512ポイントで実行します。1ポイント当たりの周波数は、次式から23.4 Hzです。

$$12000 \text{ Hz} / 512 \text{ ポイント} \approx 23.4 \text{ Hz}$$

残念ながら、FFT計算だけでは1 Hzの精度は得られません。

▶考え方…窓関数のゲイン-周波数特性を利用して周波数誤差を算出

SDR-3のFFT計算には、図2に示すゲイン-周波数特性をもつ「ハン窓」という窓関数を利用しています。

まず、ハン窓のゲイン-周波数特性(図2)の±1 bin以内の振幅変化に着目します。

図3に示すのは、ハン窓のセンタ部(0 bin)の±1 bin

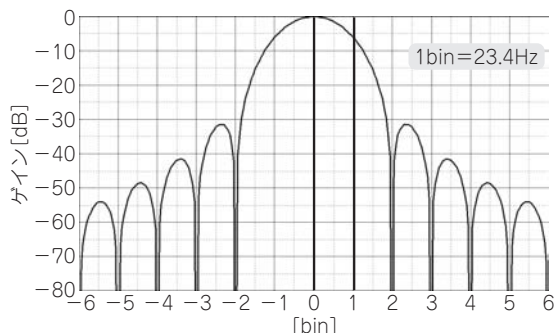


図2 ハン窓の周波数特性

【セミナー案内】 装置におけるシールド/グラウンド設計法 [講師による実験実演付き]

—— ノイズに強い電子装置を開発するための基礎知識と実務への展開

【講師】 斉藤 成一 氏, 9/1(土) 19,000円(税込み) <http://seminar.cqpub.co.jp/>