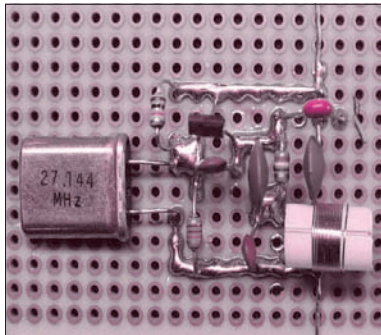


製作&実験



無調整で低電圧動作する安定な回路を探る

各種水晶発振回路の実験

漆谷 正義

Masayoshi Urushidani

■ 無調整で、低電圧でも
確実に動く水晶発振回路

水晶発振の良いところは、周波数精度が良いこと、温度や電源電圧の変動に対して周波数が安定であることです。

最近では、水晶発振回路を自作するケースが、ずいぶん減ったように感じます。マイコン用クロック発振回路なら、マイコンに発振子(とコンデンサ)を外付けするだけで済みます。また、既製のクロック発振モジュールを使えば、水晶発振回路を作る必要もありません。

しかし、RF回路では、しばしば任意の周波数で、しかも周波数安定度や信号純度(C/N)が期待できる発振回路が求められます。

今回は、部品箱にある、またはすぐ入手できる水晶発振子を使って、無調整で低電圧でも確実に動く発振回路を選んで実験してみましょう。

水晶発振回路の発振周波数は、基本的には水晶発振子の銘板に記載されている周波数ですが、オーバートーン発振や逡倍回路を使えば高調波関係にある周波数を得ることができます。また、VXO回路を使えば少しだけ周波数をずらすことができます。これらも手掛けて見ましょう。

ところで水晶発振子は「水晶振動子」とも呼ばれますが、本稿では発振素子として使っているので「水晶発振子」で統一しました。

■ 水晶発振回路の種類

水晶発振回路は、通信やコンピュータで欠かせない技術であり、その歴史は古く、多くの実験がなされ、定番回路も確立しています。そして、今日の主流はコイルや同調回路を含まない無調整回路に絞られてきました。以下の事例は、基本的に無調整で低電圧でも動作する回路を取り上げます。

水晶発振回路は、水晶発振子の基本波を出力するものと、高調波の一つを出力するものに分けることができます。また、水晶を回路に挿入する位置によって、

トランジスタのB-E間(ベース-エミッタ間)に入れるものと、B-C間(ベース-コレクタ間)に入れるものがあります。

増幅素子に何を使うかによって、トランジスタやFETを使ったものと、ロジックICや専用ICを使ったものなどがあります。

■ 2.1 ピアース水晶発振回路

水晶発振回路の原形となったピアース発振回路や、コルピッツ発振回路のLを水晶発振子に置き換えた回路は、いずれもLC同調回路を含んでおり、水晶発振子が誘導性に見える周波数領域でしか発振しないので、調整が必要です。

また、トランジスタのコレクタとベース間に水晶発振子を接続する通称ピアースC-B回路は水晶発振子の両端がホット・エンド(高周波信号がかかっている)なので、周波数を微調整したりVXO化するのに不利です。水晶発振子の電極のどちらかに指や調整用ドライバの先などが触れると周波数が変動してしまいます。

実際の商品ではIC化の流れに伴い、後述する無調整回路が主流です。

■ 2.2 無調整回路

● 基本的な無調整回路

無調整回路とは、可変素子により動作点を合わせる必要のない発振回路で、このための共振回路がないのが特徴です。コルピッツ回路やクラップ回路、ロジック・インバータによるコルピッツ回路などがあります。

無調整回路は、同じ回路定数で広範囲の発振子が利用できるのです。水晶を切り替えて使うときに便利です。共振回路がないので簡単に作れますが、波形ひずみややや大きくなります。

図1は、コルピッツ型の無調整回路の例です。C₁とC₂の値はX₁の周波数が高ければ小さく、低ければ大きく選びます。この回路は+5V～+12Vで動作します。

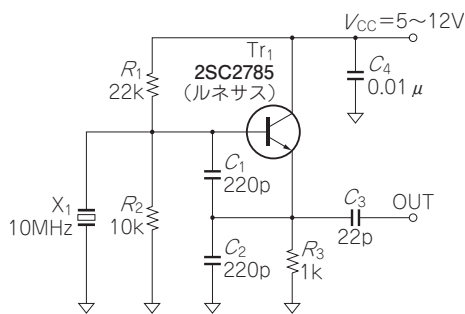
写真1は無調整回路の実験基板です。

● 低電圧動作が可能な無調整回路

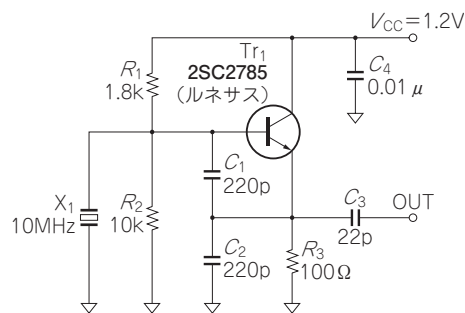
電子回路の低電圧化に伴い、発振回路も低電圧で動作することが求められるようになりました。図1の回路を1.2Vでも動作するようにしたのが図2です。設計の目安として、コレクタ電流を図1とほぼ同じ3mAに設定しました。

図2の回路は、電源電圧が低いため、図1に比べて発振の余裕度が小さくなると考えられます。ニッケル水素(Ni-MH)電池の放電終止電圧0.9Vでも動作するでしょうか？

発振の余裕度を調べるために、水晶発振子 X_1 と直列に抵抗 R_s を入れ、次のような条件での R_s の値を求めてみます。 R_s が大きいほど発振回路の負性抵抗が



〈図1〉 無調整水晶発振回路の実験回路



〈図2〉 1.2Vで動作する無調整水晶発振回路

大きく、余裕度が大きいといえます。

①電源電圧 V_{CC} において、直列抵抗 R_s を 0Ω から徐々に大きくしていき、発振が停止する点の値 R_{s1} を求める。

②続いて R_s を徐々に小さくしていき、発振がスタートする点で止め、このときの値 R_{s2} を調べる。

電源電圧 V_{CC} が1.2Vと0.9Vのときの、 R_{s1} と R_{s2} の組を比較すれば、発振余裕度の目安となります。 R_{s2} が大きく、 $R_{s1}-R_{s2}$ が小さいほど安定です。

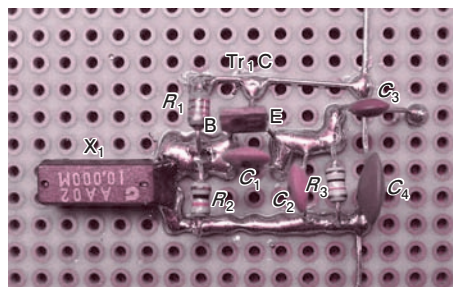
上の値を図1と図2の回路について調べた結果を各々表1と表2に掲げます。

表1から図1の回路は、3.3V以下の動作は厳しいことがわかります。表2から、図2の回路は図1に比べれば余裕度は小さいですが、0.9Vでも「動作する」といって良いでしょう。なお、評価基準は、定格電圧で $R_s \geq 100\Omega$ 、下限電圧で $R_s \geq 50\Omega$ としました。

③ オーバートーン水晶発振回路

ここでは確実に任意の倍調波でオーバートーン発振させる回路を紹介します。

入門書や製作記事では「オーバートーン発振回路」と「基本波発振と通倍を1段で行う回路」を混同して解説しているものをとくとき見受けます。真のオーバートーン発振は、目的周波数だけのスペクトルが得られ、基本波成分はありません。



〈写真1〉 図1の実験基板

〈表1〉 図1に示す回路の発振余裕度

電源電圧 V_{CC} [V]	発振が停止したときの 直列抵抗値 R_{s1} [Ω]	発振が再開したときの 直列抵抗値 R_{s2} [Ω]	発振余裕度 $R_{s1} - R_{s2}$ [Ω]
2.5	8	3.6	4.4
3.3	48.2	39.1	9.1
5	120	115	5.0
12	366	361	5.0

〈表2〉 図2に示す回路の発振余裕度

電源電圧 V_{CC} [V]	発振が停止したときの 直列抵抗値 R_{s1} [Ω]	発振が再開したときの 直列抵抗値 R_{s2} [Ω]	発振余裕度 $R_{s1} - R_{s2}$ [Ω]
0.9	58.2	52	6.2
1.2	182	168	14