

第4章

振動子のシミュレーションから
10 MHz VCXOの設計まで

水晶発振回路の設計方法

1
2
3
4
5

PLL周波数シンセサイザが出力する信号の周波数精度(accuracy)と安定度(stability)は、PLLの基準信号源に依存します。そして、基準信号源は水晶振動子を用いた発振回路です。

ここでは、精度と安定度に優れた水晶発振回路の設計方法の基本を示します。はじめに、水晶振動子の特性を理解します。

水晶振動子の電気的特性を理解する

● 水晶振動子の電気的等価回路

水晶振動子(クリスタル)による振動は本来機械的な共振現象ですが、電気的な等価回路で表します。4素子や6素子パラメータとして表せますが、一般的に図1に示すインダクタンス L_1 、容量 C_1 、および抵抗 R_1 の直列回路に、並列に容量 C_0 をつないだ4素子パラメータを用います。

L_1 と C_1 は、水晶振動子の電気機械振動系としての等価定数で、水晶片の寸法や切断角度、また電極の構造などから決まり、極めて精度の高い定数です。そして R_1 は、振動子の損失を表す重要な定数です。また、 C_0 は電極間などの容量が加わった並列容量を表します。

これらの値は、ネットワーク・アナライザで測定して等価定数を求めます(第5章でこの方法を述べる)。図1で()内の値は、ある10 MHz水晶振動子の等価定数です。

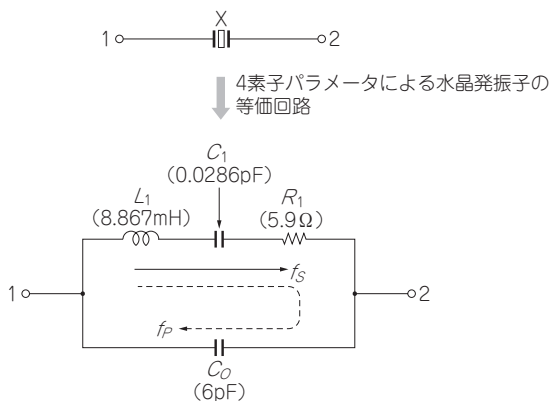


図1 水晶振動子を電気的な等価回路に表す
()内の定数はある10 MHz水晶振動子での値

● 直列共振周波数 f_S と並列共振周波数 f_P

図1の等価回路が表すように、水晶振動子には2つの共進点が存在します。1つは直列共振周波数 f_S (series resonance)で、次式で表せます。そして、()内の定数での f_S を計算します。

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\approx 9.994217 \text{ MHz}$$

もう1つは並列共振周波数 f_P (parallel resonance)で、次式で表せます。そして、()内の定数での f_P を計算します。

$$f_P = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \frac{C_1 \cdot C_0}{C_1 + C_0}}} \dots\dots\dots (2)$$

$$\approx 10.01801 \text{ MHz}$$

● 水晶振動子の無負荷 Q を求める

水晶振動子の性能指数を表す無負荷 Q 、 Q_U は次式より求められます。そして、()内の定数での Q_U を計算します。

$$Q_U = \frac{2\pi f_S L_1}{R_1} = \frac{1}{2\pi f_S C_1 R_1} \dots\dots\dots (3)$$

$$\approx 94374$$

ここで算出された性能指数 Q_U 値は、約90000です。一般に、 Q_U は数万から数十万の非常に大きな値となり、低ジッタと低位相雑音の源となります。

● 負荷付きの Q 値を求める

無負荷 $Q_U \approx 94300$ の水晶振動子に負荷をつなぐと、性能指数 Q はどのように変化するでしょうか。

一例として、図2に示すように信号源の出力抵抗 50Ω と負荷抵抗 50Ω の回路に接続する場合を考えます。負荷が接続された Q を Q_L で表すと、次式で求められます。

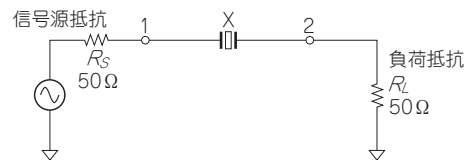


図2 水晶振動子に 50Ω 負荷をつなぐ