

水晶発振器/水晶振動子周辺回路の回路設計

1. 序文

さまざまな電子機器や通信システム機器などの構築において、信号源のコアとなる水晶発振器を取り巻く回路構成およびその周辺回路の回路設計を確立することは、システムに必要な性能を最大限に引き出すための重要な役割を担います。特に水晶発振器の周辺回路においては、デジタル回路を搭載する基板上で最も高速で動作するためノイズを発生しやすい構造となっており、回路設計の際には十分注意しなければなりません。そこで今回は水晶発振器を使用する際の周辺回路における設計ガイド(特にノイズ低減のための回路設計ガイド)としてノイズ対策方法について解説します。

さらに水晶振動子について、周辺回路設計に関する注意事項について説明します。

2. 水晶発振器周辺回路

【水晶発振器および周辺回路からのノイズ発生源について】

はじめに水晶発振器および、その周辺回路から発生するノイズを一般化したものを図1に示します。

図1に示されるようにノイズの発生源は大きく3つに分類されます。

- 1) 電源ラインからのノイズ
- 2) 出力ラインからのノイズ
- 3) 水晶発振器からのノイズ

一般的にノイズと称されているものは、これら3つが合成されたものとなります。

上記3つのノイズと対策に関し以下に解説します。

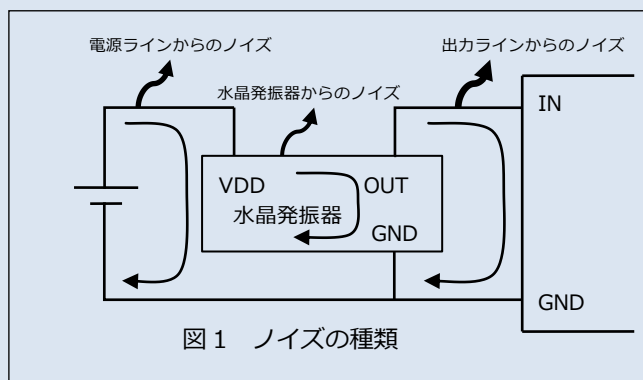


図1 ノイズの種類

1)電源ラインからのノイズ

水晶発振器が動作している間、電源ラインにはリップルが発生します。それを電源ラインがアンテナとなってノイズを放射します。電源ノイズの対策には水晶発振器から発生されるリップルノイズを電源ラインに流れ出さないように阻止、あるいは吸収することが重要となります。またこのような対策を施すことで水晶発振器に他のデバイスで発生した外来ノイズの進入を防ぐことができるため水晶発振器の安定動作にも繋がります。

2)出力ラインからのノイズ

出力ラインからのノイズとは水晶発振器から出力される信号が出力ラインをアンテナとして放射されるものを表します。このノイズの対策には、所定の出力波形を確保しながらノイズを放射しにくい波形を作ること、ノイズを放射しにくい出力ラインを形成することです。

3)水晶発振器からのノイズ

水晶発振器からのノイズとは水晶発振器内部のICおよび配線から放射されるものを表します。このノイズの対策には水晶発振器に対し安定した電源を供給、かつ所定の出力波形を確保し水晶発振器を安定動作させることです。これらは電源ライン、出力ラインと共通した対策になります。



1)から 3)に示す各発生源からのノイズ放射量は流れる電流の量と電流ループの大きさに比例するため、電流量が増えるほど、また電流ループが大きくなるほどノイズとしての放射量は大きくなります。

一般的に水晶発振器とその周辺回路における流れる電流の量、および電流ループの大きさには以下のような関係があります。

電流量： 電源ライン＝水晶発振器＞出力ライン

電流ループの大きさ： 出力ライン＞電源ライン＞＞水晶発振器

これらの関係から水晶発振器とその周辺回路より発生するノイズでは、出力ラインから発生するものが最も大きく、続いて電源ラインとなり、水晶発振器自身から放射されるノイズの量はこれら 2 つのノイズと比較して非常に小さい傾向にあります。

【ノイズ対策について】

ここまで水晶発振器とその周辺回路におけるノイズ発生源に関心してきましたが、ここではそのノイズを低減するための対策に関して解説します。基本的なノイズ低減対策としては以下に示す 3 つ方法があります。

- 1) 安定した電源ライン、グランドラインを設ける
- 2) 電源ノイズのフィルタリングをする
- 3) 基板上に安定した出力ラインを配置する

それぞれに関して具体的な例を示します。

1)安定した電源ラインとグランドライン

安定した電源・グランドラインとは、幅広い周波数帯(特に高周波)において極めて低いインピーダンスを示し、またどの点においても同一電位を示す導体のことを表します。特にグランドラインは回路の基準電位なので最も安定している必要があり、具体的には表面積が広く、くびれがないライン設計をします。また多層基板の場合には電源、グランドラインをベタで独立した層に設け、接合部分がある場合には接触面積を広く取り、高周波帯においてもインピーダンスが低くなるよう設計します。

2)電源ラインのフィルタリング

水晶発振器からのノイズが電源・グランドラインに漏れないよう、また逆に他の回路から発生したノイズが電源ラインを通り水晶発振器に流れ込まないように電源・グランドラインにフィルタを設けます。一般的に電源・グランドラインに使用するフィルタにはバイパスコンデンサがあります。以下に詳細を説明します。

2-a)バイパスコンデンサ

バイパスコンデンサは交流的な電源インピーダンスを下げ、回路を安定に動作させるとともに、電源ラインに存在するノイズを吸収するもので、一般的に知られているノイズ除去方式です。適正な定数のものを実装することにより、ノイズ問題の多くは解決できます。バイパスコンデンサの適正な定数設定と実装方法を以下に述べます。

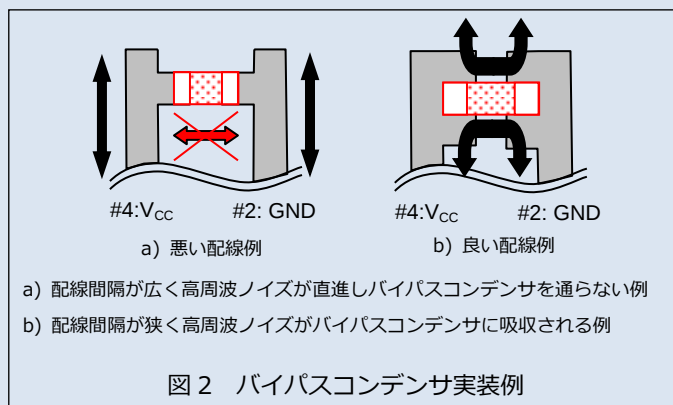
2-a-1)バイパスコンデンサの容量値

通常バイパスコンデンサの容量値は 0.01 μ F から 0.1 μ F 程度の値が使用されます。この値設定は水晶発振器の電源端子 V_{CC} 、グランドからみた電源ラインのインピーダンスが、水晶発振器の持つ周波数の 3 倍程度の周波数範囲内までで、できる限り低くなるように設定します。容量の周波数特性を確認し、高周波側や低域側のインピーダンスが高くないよう注意が必要です。

2-a-2) バイパスコンデンサの実装

バイパスコンデンサはできるだけ水晶発振器の電源近くに配置してください。パターンの距離が長くなると寄生インダクタンスが大きくなるため高周波側のインピーダンスが高くなります。バイパスコンデンサへのパターンの引き方は、電源ラインへの接続の前に一旦通すようにしてください。そうすることでノイズが必ずバイパスコンデンサを通るようになり、ノイズ除去効果を高めることができます。

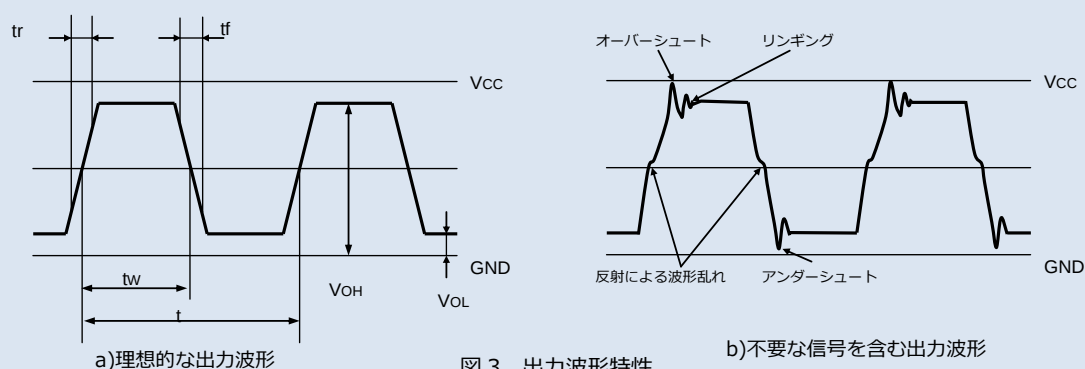
またバイパスコンデンサの実装パターンは図2のa)に示すような形は避けてください。高周波ノイズは一般的に直進しますので、図2のa)のようなパターンではノイズはバイパスコンデンサを通過しません。従いまして図2のb)に示すようなパターンにしてください。



3) 安定した出力ラインの配置

安定した出力ラインとは水晶発振器から出力される波形を乱すことなく正確に入力側のデバイスに伝え、ノイズの放射を限りなく少なくできるラインのことです。

安定した出力ラインを設けるための基本は、図3のa)に示すように入力側で必要な t_r 、 t_f 、 V_{OH} 、 V_{OL} などの波形特性を確保し、かつ図3のb)の出力波形に示すようなオーバーシュート、アンダーシュート、リングング、反射波といった不要な信号を除去することです。そして出力ラインのアンテナ効率を下げ、ノイズの放射をしにくくすることです。



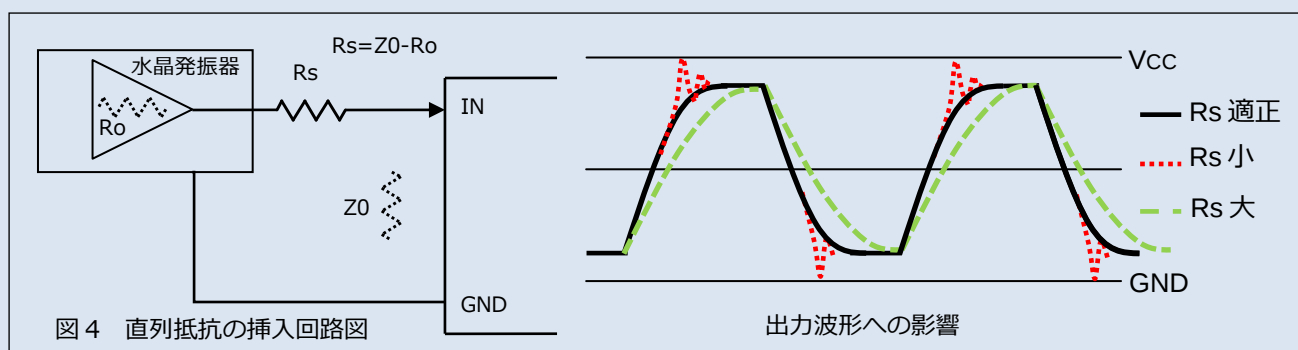
出力波形を乱さないようにする対策には以下に示す4つの方法があげられます。

- a) 直列抵抗の設定
- b) 終端抵抗の設定
- c) フィルタの設定
- d) 出力ラインのインピーダンス整合

それぞれに関して具体的に解説します。

a)直列抵抗の設定

水晶発振器と入力側デバイスを接続すると通常オーバーシュート、アンダーシュート、リングングなどの波形歪みが発生します。これらには発振周波数の3~7倍ほどの高周波成分が含まれているため、ノイズ発生の問題となりますので除去しなくてはなりません。これを除去するには図4に示すように水晶発振器の出力端子と出力ラインの間に抵抗を直列に接続します。抵抗値は水晶発振器の出力インピーダンス(R_o)と挿入した抵抗(R_s)の和が出力ラインのインピーダンス(Z_0)と等しくなるように設定します。ちなみに直列抵抗の最適値は実験により求めることもできます。方法としては、出力波形をオシロスコープなどで観測しながら直列抵抗の値を低いものから高いものへと変えていき、オーバーシュート、アンダーシュート、リングングがなくなったときの抵抗値を見つけます。



b)終端抵抗の設定

終端抵抗の設定にはどのようなインターフェースを使っているか、またどのようなクロックラインによるかが重要となり、その内容によって設定の有無が変わってきます。

一般的に出力波形は出力ラインのインピーダンスと入力デバイスの入力インピーダンスが不整合であるときに歪みが生じます。不整合状態であると進行波が入力端で反射し、この反射波が進行波に重なって出力波形に乱れを生じさせ、その部分から高周波のノイズが発生します。水晶発振器出力を複数デバイスに分岐して使用する場合、この波形歪みによりトリガーエラーを引き起こすことがあります。そのためインピーダンス整合は重要な要素です。

入力端からの反射を防ぐためには、入力端を出力ラインのインピーダンスと同じ値で終端します。終端の方法には図5に示すように分割抵抗終端とAC終端があります。

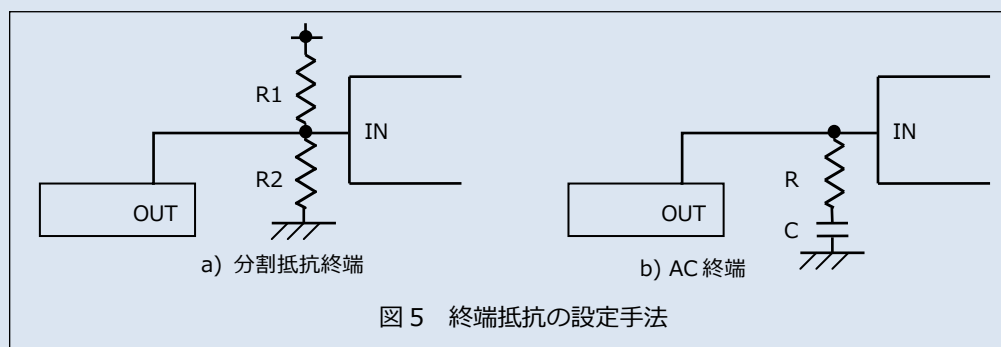


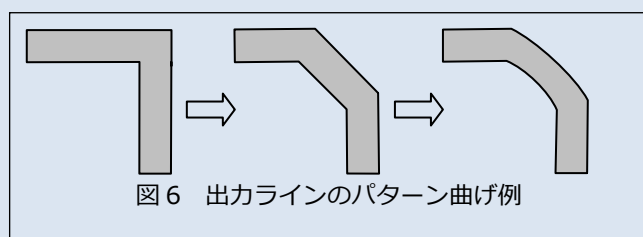
図5 終端抵抗の設定手法

c) フィルタの設定

通常直列抵抗または終端抵抗の使用により出力波形の整形対策はできますが、それでも問題が解決されない場合にはフィルタを用います。フィルタの使用により高周波ノイズは効果的に除去できますが、 t_r 、 t_f が大きく(波形が鈍る)なってしまいます。そのためこれら t_r 、 t_f の特性を満足できるフィルタを選定しなければなりません。さらにコンデンサの容量の大きいフィルタを使用すると電流量が増えてしまい、かえって放射ノイズが大きくなる場合があるので注意が必要です。

d) 出カラインのインピーダンス整合

出カライン上での波形反射を低減するために出カラインのインピーダンスをできるかぎり一定にする必要があります。出カラインのインピーダンスを一定にするためには図 6 に示すような出カラインのパターン曲げにおいての直角曲げを止め、45°曲げや出来れば丸く曲げるように工夫します。またスルーホールや T 分岐の使用を避けます。



ここまでノイズ対策に関してみてきましたが、最後にノイズ放射を少なくする最も重要な方法 2 つを紹介します。

a) 出カラインを短くする

出カラインは回路中最もノイズを放射しやすいラインです。したがってパターンレイアウトの際には最優先に最短でインピーダンス変動の無い最適なパターンにすることが重要です。短くした配線により出カラインの共振周波数がより高周波側にシフトします。出力の周波数成分は高周波にするほど減衰していきますので、結果として放射ノイズを低減できます。

b) 電流ループのサイズを小さくする

先にも述べたように、出カラインからのノイズ放射量はその電流ループの大きさに比例します。そのため水晶発振器と入カデバイスの出カライン、グランドラインではできるだけ短くすることが重要です。このために出カラインの反対面にグランドを裏打ちする方法もあります。

3. 水晶振動子周辺回路

1) 水晶振動子および周辺回路の実装面

水晶振動子、コンデンサ、抵抗は、なるべく IC の近くに配置してください。

配線はなるべく短くし、他の信号線と交差させないでください。

図 7 に示しますように水晶振動子を実装する同一基板面に GND を広くとった領域を設けることをお勧めします。

図 7 では抵抗 R_d 、 R_f は省略しています。

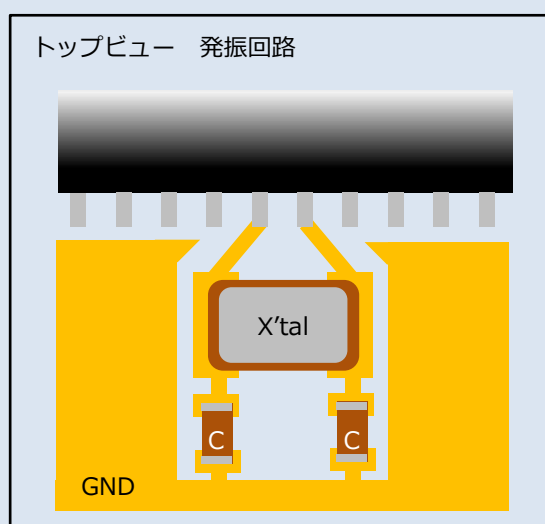


図 7 水晶振動子および周辺回路

2) 多層基板の断面

図 8 に示しますように、多層基板の場合、水晶振動子の下部となる中間層に他の信号線を配置しないでください。

GND によるシールドが必要となる場合には、発振回路より最も遠い面をシールドして下さい。

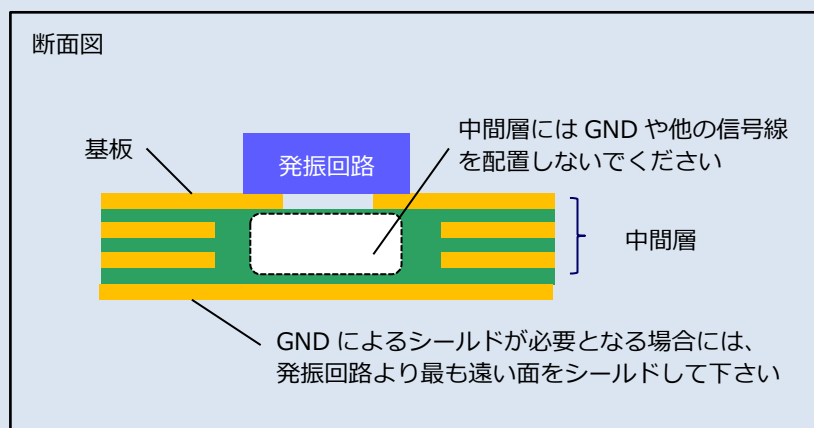


図 8 多層基板断面図

4. 最後に

ここに記述された内容に関しましては、水晶発振器、水晶振動子の周辺回路設計の参考例であり、保証するものではありません。
また、水晶振動子の場合は発振回路メーカーの設計ガイド等も参考にして頂くことをお勧めします。