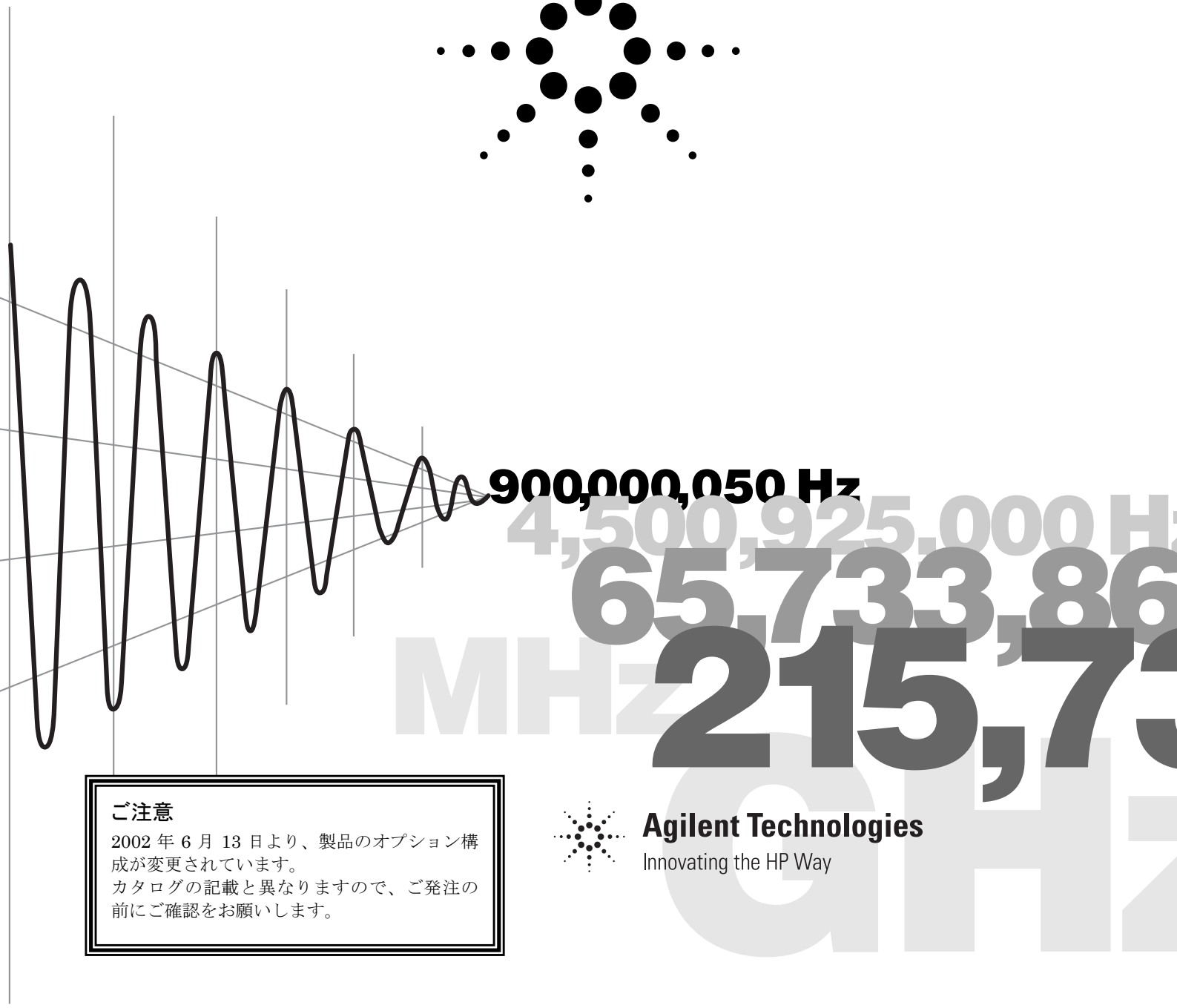
8 Hints

RFカウンタのより優れた測定



ご注意

2002 年 6 月 13 日より、製品のオプション構成が変更されています。
カタログの記載と異なりますので、ご発注の前にご確認をお願いします。

Agilent Technologies
Innovating the HP Way

それほど易しくはないRFカウンタの世界

一見したところ、エレクトロニック・カウンタは全くシンプルな測定器のように思えます。信号を入力すれば、周波数やその他のパラメータが桁で表示されるからです。

カウンタはつなげば使える機器のように考えがちですが、クリスタル・タイムベースの技術にはある程度の注意を必要とします。カウンタ、そのタイムベース選択、測定する信号、セットアップのしかた、すべてが測定結果の質に影響します。実際に様々な要素が方程式に影響するため、良いカウンタの確度仕様とは文字通り方程式の解そのものと言えます。

幸いにも、ちょっとした注意がより良き測定のために大いに役立ちます。8つのヒントは、RF測定のための確かな出発点となるでしょう。

最適なカウンタの選択

多種類のカウンタが異なった周波数で様々なカウントを行うため、目的に合ったカウンタ選びには混乱が生じます。

- **ユニバーサル・カウンタ**：周波数と時間間隔、およびその他の関連パラメータを測定します。
- **RF周波数カウンタ**：3GHz、あるいはそれ以上の周波数の精密な測定をします。
- **マイクロ波周波数カウンタ**：40GHz、あるいはそれ以上の周波数を精密に測定します。
- **タイム・インターバル・カウンタ**：時間間隔の精密な測定に最適化されています。
- **モジュレーション・ドメイン・アナライザ**：周波数対時間、位相対時間、タイム・インターバル対時間などの変調量を測定します。

本書は、RF周波数カウンタに焦点を当てています。その他のカウンタやアナライザについては、 計測お客様窓口にお問合わせ下さるか、またはアジレント・テクノロジーのWebサイトwww.agilent.com/find/biをご参照ください。カウンタ技術の詳細については、AN-200 series application noteをご請求ください。

目次

Hint1：カウンタ・アーキテクチャの理解

Hint2：分解能と確度との違いの確認

Hint3：要求される性能に合った校正周期

Hint4：最適なタイムベースの選択

Hint5：ノイズ・トリガを防ぐ感度調整

Hint6：低周波数測定のためのカウンタ設定

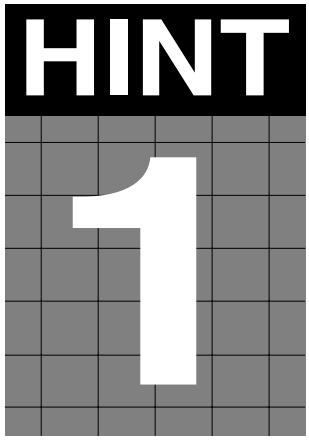
Hint7：表示値の変化が激しいときの対処

Hint8：統計を使用した信号の特性評価

ヒントを読むためのヒント

本書の内容は一般的な事項から特殊なものへと進んでいるため、Hint1から8の順序で読まれることをお勧めします。

カウンタ・アーキテクチャの理解



RFカウンタは基本的に、ダイレクト・カウンタとレシプロカル・カウンタの2つのカテゴリに分けられます。目的に合ったカウンタ選び、その適切な使用を行うためには、両者のカウンタの違いの理解が必要です。

ダイレクト・カウンタは、指定したゲート時間に入力信号が何度ゼロをクロスするかを数えるだけのものです。カウント数結果が、直接にカウンタの表示ディスプレイに送られます。

この方法はシンプルで安価ですが、ダイレクト・カウンタの分解能は1Hz固定であることも意味しています。例えば1秒のゲート時間に対して、カウンタが検出できる最低の周波数は1Hzとなります(定義として1秒における1回のゼロ交差が1Hz)。したがって10Hzの信号を測定する場合、ゲート時間1秒に対する最高の分解能は1Hzで、表示値は2桁となります。同様にゲート時間1秒で1kHz信号の場合4桁、100kHz信号の場合6桁...等々となります。図1は、この関係性を示しています。またダイレクト・カウンタのゲート時間は1秒の倍数または約数のみで、これは柔軟な測定を制約することにもなります。

これに比べてレシプロカル・カウンタは入力信号の周期を測定し、その逆数から周波数を求めます。分解能はこの測定器のアーキテクチャのため、あるゲート時間に対する(Hzでなく)表示桁数に固定されます。つまりレシプロカル・カウンタは入力周波数にかかわらず、常に同じ分解能の同じ桁数を表示します(図2)。このためレシプロカル・カウンタでは、分解能はゲート時間に対する桁数の形で仕様されます(例えば10桁/秒)。

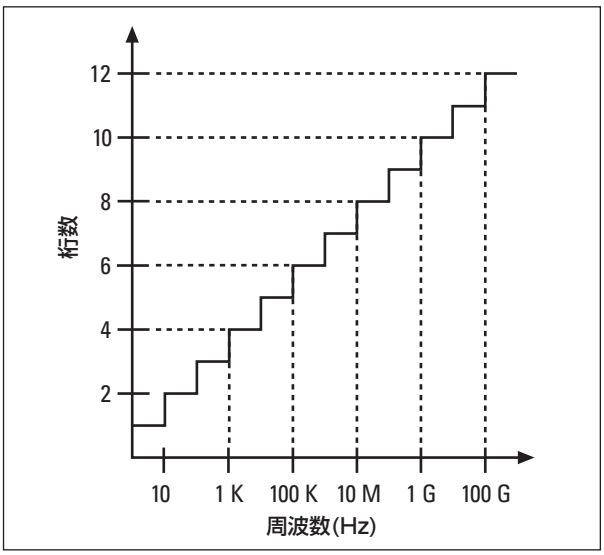


図1： ダイレクト・カウンタの表示する桁数対周波数
(ゲート時間1秒)

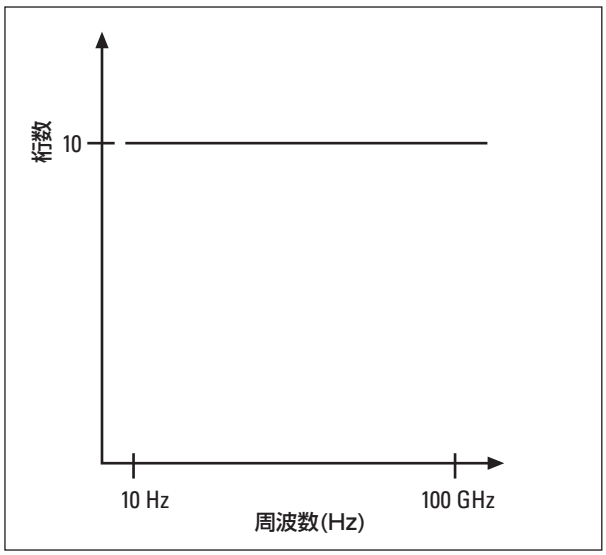


図2： 同じゲート時間に対し、レシプロカル・カウンタの分解能は全周波数で一定
(このカウンタの分解能仕様は10桁/秒)

ゲート時間1秒に対するベンチマークを使用し、図3はダイレクト・カウンタとレシプロカル・カウンタの分解能を比較しています。これにより低周波数では、レシプロカルはダイレクトよりもかなりのメリットがあることが分かります。例えば1kHzに対して、ダイレクト・カウンタの分解能は1Hz(4桁)であるのに対し、10桁/秒のレシプロカル・カウンタは1μHzの分解能(10桁)となります。

もしマイクロヘルツの分解能が必要でなくても、レシプロカル・カウンタには大きな速度のメリットがあります。例えばレシプロカル・カウンタは1msで1mHzの分解能を提供するのに対し、ダイレクト・カウンタは1Hzの分解能にさえ丸々1秒を必要とします(図4)。さらにレシプロカル・カウンタのゲート時間は連続したデケード(10倍または1/10倍)のステップではない調整が可能なため、最小の時間で最適の分解能が得られます。

したがって選択は、コストかパフォーマンスかの問題です。もし分解能の条件が厳しくなく、速さもあまり気にならないようなら、ダイレクト・カウンタが経済的な選択といえるでしょう。高速で高分解能の測定が必要なら、レシプロカル・カウンタが適当といえます。

またカウンタの周波数分解能の仕様を見れば、それがダイレクトかレシプロカルかが分かります。仕様がHzで与えられていればダイレクト・カウンタ、桁数/秒で仕様されていればレシプロカル・カウンタということになります。

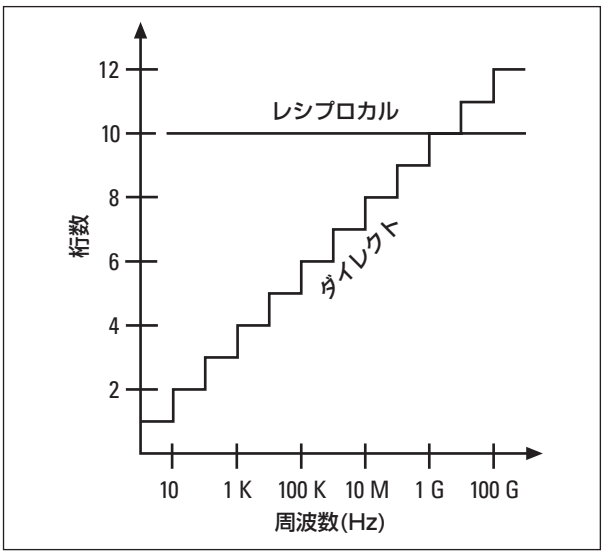


図3： ダイレクト・カウンタとレシプロカル・カウンタの分解能比較(ゲート時間1秒)

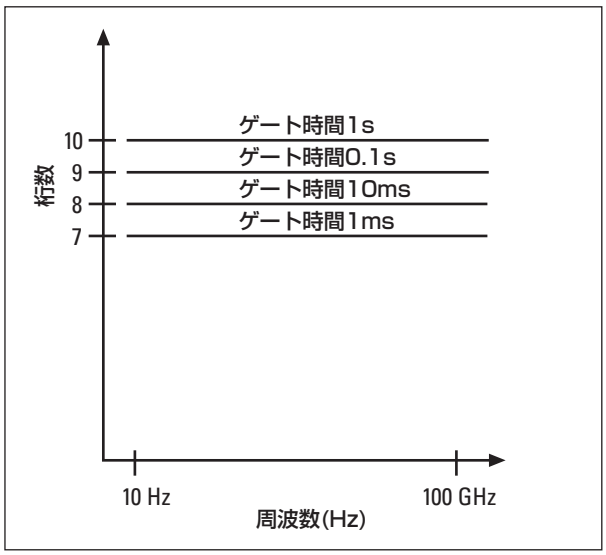
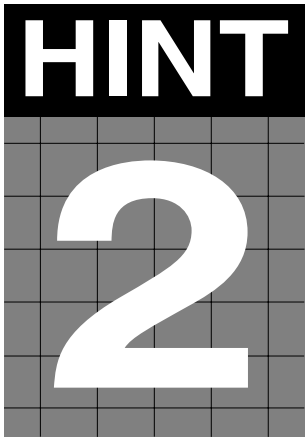


図4： 10桁/秒のレシプロカル・カウンタで、それぞれの分解能を得るのに必要なゲート時間

分解能と確度との違いの確認



これだけの桁数があるのだから、とても正確な測定に違いない...

いえ、必ずしもそうとは限りません。分解能と確度を同じに考えるのは、よくある誤解の1つです。これらは関連していますが、はっきりとした別の概念です。

分解能は、どこまで近接した周波数を区別できるかの、カウンタの性能をいいます(図1)。他のパラメータ(測定時間、製造コストなど)がすべて等しければ、桁数が多いほど有利といえます。しかしいくら桁数が多くても、確度による裏打ちがなくてはなりません。他の誤差によりカウンタの分解能力が実際の周波数から遠ざかっていれば、桁数は正確さの証しではありません。つまりカウンタが、正しくない周波数の非常に正確な読み取り値を示すこともある訳です。

測定確度は、ランダム誤差とシステム誤差の関数です。分解能不確実さの原因であるランダム誤差には、量子化誤差(ゲート・タイム・ウィンドウでのファイナル・カウント周辺の不確実さ)、トリガ・エラー(ノイズ・スパイクでのトリガなど)、タイムベースの短期不安定度などがあります。システム誤差は、実際の信号周波数から表示値を離れさせてしまう、測定システムが持つバイアスです。

経年変化、温度、電源電圧の変動など、タイムベース・クリスタルに対する影響もこれに含まれます。

ここで、図2で示す2つのカウンタを比較します。カウンタAは分解能は高いが大きなバイアス誤差を持ち、カウンタBは分解能は劣っているがシステムのバイアス誤差は大きくありません。この結果、ほとんどの場合でカウンタBの表示値は、カウンタAよりも正確となります。

数学者John Tukeyの言葉を借りると、間違った問題に対する正確な答えよりも、正しい問題に対するおよその答えのほうがずっと価値が高いことになります。これが、Hint3で説明するように、確度ニーズに合ったカウンタの校正が大切な理由です。

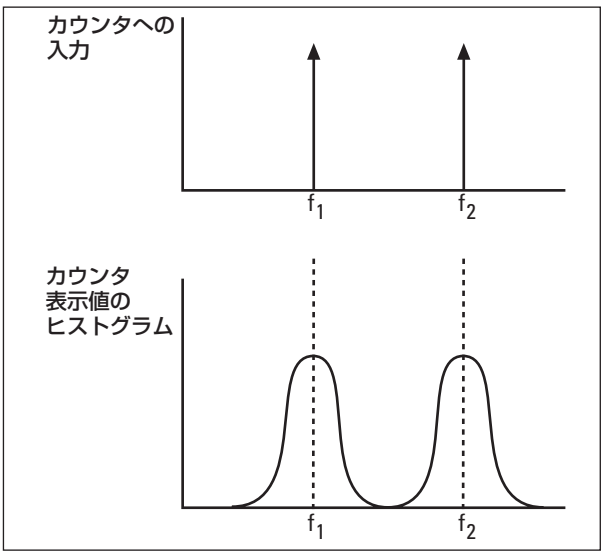


図1： 分解能は、近接した周波数をどこまで区別できるかのカウンタの性能をいう。しかし、分解能自体は確度の保証ではない。

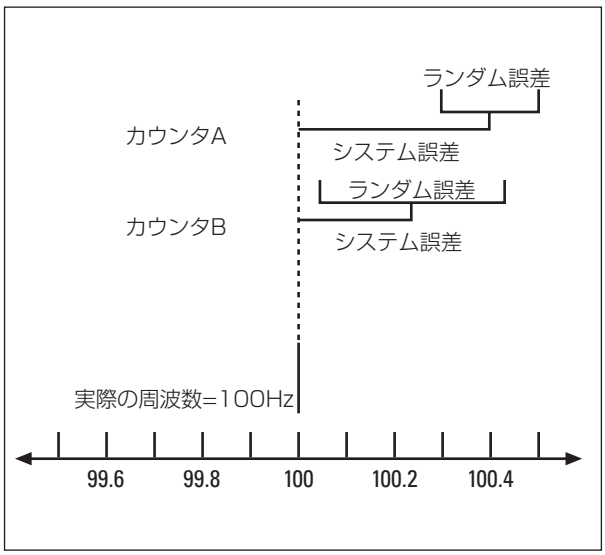


図2： 簡略化した分解能と確度との関係。タイムベースに関係するシステム誤差は、表示周波数を実際の周波数から離れたものとし、ランダム誤差は、カウンタが周波数を区別できない一定の周波数範囲を生む。

HINT 3

要求される性能に合った校正周期

カウンタの校正周期はどれくらいが適当か?

最も正確な答えは、場合によるでしょう。これは、カウンタの持つタイムベースの種類、測定でのカウンタの状態、そして最も重要なこととして、測定でどれだけの確度を必要とするかに依存します。

校正がなぜ簡単な問題でないかを理解するため、カウンタ確度の一般的な性格についてもう一度考えてみましょう。ディスプレイで表示される値の質は、次の4グループの要因に依ります。

1. カウンタのタイムベースの温度安定度など、カウンタ自体に関係した、経時変化のない性能要素(Hint4で詳述)
2. クリスタル・タイムベースのエージング・レートなど、カウンタ自体に関係した、経時変化のある性能要素
3. ノイズの存在など、入力信号の性格
4. ゲート時間などの設定パラメータ

これが、カウンタのデータ・シートで確度仕様を見たときに、1つの値でなく複雑な式が与えられていることの理由です。上記のうち、校正が問題となる2番目の事項について考えましょう。

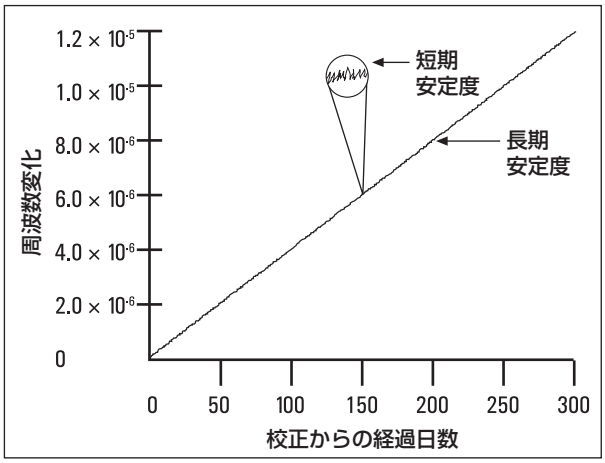


図1： 校正により、クリスタルの長期安定度に影響を与えるクリスタル・エージングの効果を補正。この例では、エージング・レートは1日に4×10^{-5}(短期安定度は、位相ノイズなどの要因の結果)。

カウンタが電気信号を測定する電子機器であるのに対して、どのカウンタもそのタイムベースの中心に持っているクォーツ・クリスタルは、基本的に機械装置です。機械装置として、クリスタルは発振周波数が変わってしまうような物理障害を受けやすく、これがカウンタの確度にも影響します。このような種々の障害が累積した効果をクリスタル・エージングといい、カウンタの校正ではこのクリスタル・エージングを補正します(図1)。

お客様の観点からすると、詳細はともかくクリスタル・エージングが生ずるということが重要です。しかし幸いなことに、このエージングも予測は非常に簡単であり、校正による補正も非常に簡単です。

クリスタル・エージングの働きの次はカウンタのデータ・シートでエージング・レートの仕様を見て、校正の必要性を調べます。例えばレートが1日に4×10^{-8}とします。前の校正から300日が経っていれば、エージングによる1.2×10^{-5}のタイムベース誤差が全体の確度計算に加えられます。この不確実さ(1MHz信号における±12Hz)プラス、カウンタ測定に伴うその他の不確実さが、必要とする測定に対して許容される場合には校正は必要ありません。許容できないなら、校正しなくてはなりません。このように、校正は結局それほど複雑な問題ではありませんでした(ただしエージングは、全体の確度に影響するいくつかの要因の1つでしかありません)。

最適なタイムベースの選択

HINT 4

周波数カウンタの測定確度は、タイムベースとともに始まります。これは、タイムベースが入力信号を測定するための基準となるからです。タイムベースの品質が良ければ、それだけ測定の品質も良い可能性があります(可能性があるにご注目下さい－この他にも校正や、カウンタの性能を最大にするための注意が必要です)。

クォーツ・クリスタルが振動する周波数は、周囲温度によって大きく影響されます。これに対するタイムベース・テクノロジは、この温度動作にどう対処するかによって次の3つのカテゴリに分かれます。

- **標準。**標準または室温タイムベースは、温度の補正や制御を行うどのような方法もとっていません。これには安価というメリットがありますが、周波数誤差は最大になります。図1の曲線は、典型的なクリスタルの温度変化を示しています。周囲温度の変動につれて、周波数出力は5ppm以上変動しています。これは1MHzの信号では±5Hzに相当し、測定における重大な要素となり得ます。

- **温度補正。**クリスタルの温度変動に対処する1つの方法として、発振器回路中の他の電子コンポーネントに温度応答補正をさせることがあります。この方法によれば温度動作を安定させて、タイムベース誤差を1ppmくらい(1MHz信号での±1Hz)に抑えることができます。

- **オーブン制御。**発振器出力を安定させるための最も効果的な方法は、クリスタルをいわば温度のローラーコースタから降ろしてしまうことです。これは、温度応答曲線(図1)中のある温度に保ったオーブンの中に、クリスタルを分離することによって行います。その結果、例えば0.0025ppm(1MHz信号での±0.0025Hz)などの高度なタイムベース安定度が得られます。

このオーブン制御には、温度関連の確度向上以外のメリットもあります。オーブン制御のタイムベースではクリスタル・エージングの効果も抑えられるため、校正のためにカウンタを測定セットアップから外す回数が減ります。例えば、標準Agilent Techonologies 53181A RFカウンタの月当りのエージング・レートは<0.3ppmです(1MHz信号での±0.3Hz)。これにオプションの高安定度オーブンを付加すると、月当りのエージング・レートは<0.015ppmにまで抑えられます(1MHz信号での±0.015Hz)。言い換えると、標準モデルは高安定度モデルに比べて20倍も速く歳をとることになります。したがって、必要な測定確度の維持のためには校正もより度々必要です(Hint3を参照)。

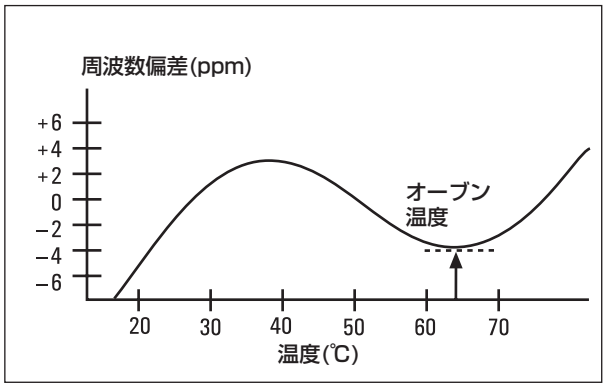


図1：　保護のないクリスタルの周波数出力は、周囲温度の影響を受けて大きく変動することがある。クリスタルを制御された温度環境(オーブン)に置くことによって、安定度の高い出力周波数が得られる。

HINT 5

ノイズ・トリガを防ぐ感度調整

感度の高い入力回路を持った広帯域測定器という高性能カウンタのメリットは、同時にデメリットとなることもあります。

カウンタにとっては、信号は基本的にすべて同じに見えます。正弦波、方形波、高調波、ランダム・ノイズーカウンタの関知する限り、これらはすべて一連のゼロ交差です。カウンタはこのようなゼロ交差でトリガすることによって、信号の周波数を測定します。信号がクリーンで乱れていなければ、このプロセスは非常によく働きます。しかしノイズのある信号では、カウンタはスプリアスのゼロ交差でトリガしてしまうことも起ります。これが発生すると、カウンタは必要のないカウントをすることになります。

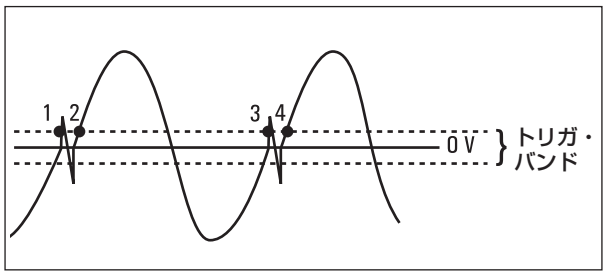


図1： トリガ・バンドが狭すぎるため、小さな2つのピーク(この例ではスプリアス信号)により、ポイント1と3で必要のないトリガが発生している。

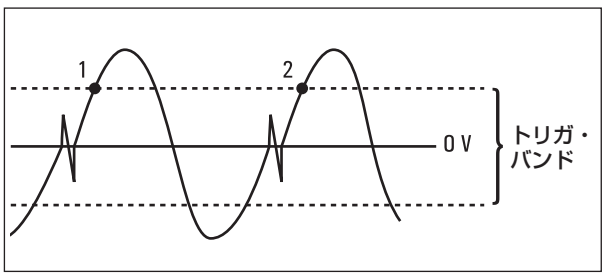


図2： トリガ・バンドを広げてトリガ感度を下げることにより、必要なカウントが発生。

幸いにも、高性能のカウンタはこの問題を防ぐ方法を装備しています。第1に、信号はゼロ交差を示す前に高および低ヒステリシス・スレッショルドを通過しなければなりません。この高～低レベル間の間隔は、**トリガ感度、ヒステリシス・バンド、トリガ・バンド**などと呼ばれています。

第2に、高性能のカウンタではこのバンドを調整して、不必要なトリガを最少に抑えることが可能です。図1に示しているのはスプリアス成分を持った信号で、カウントの障害を起しています。つまりここではトリガ・バンドが狭すぎるため、不必要なノイズ(ポイント1および3)と実際の信号(ポイント2および4)の両方でトリガが起っています。信号の2周期でしかないものが、4周期としてカウントされています。

トリガ・バンドを調整してカウンタの感度を下げることにより、これらのスプリアス・トリガを回避することができます。図2ではトリガ・バンドが十分に広い(つまり感度が十分に低い)ため、スプリアスはゼロ交差としてカウントされていません。カウンタは有効な2つのゼロ交差を測定して、適正な周波数の計算を行えます。

もし信号にノイズ問題がありそうなときは、カウンタを低感度モードに切り替えてみます。表示周波数が変れば、ノイズでトリガしていた可能性があります。

低周波数測定のためのカウンタ設定

HINT 6

Hint5では、信号の不必要成分でトリガする問題について述べました。低周波の信号(だいたい100Hz以下)では、関係のない高周波成分においてスプリアス・トリガが起る確率がそれだけ高いために、この問題がさらに大きくなることがあります。また信号のスルー・レートも、トリガ確度に影響します。スルー・レートが低いほど、誤差の確率も高くなります。

これに対して、低周波信号のカウンタ測定品質を向上させるために、次の3つの方法を使用できます。

ローパス・フィルタの起動

カウンタがローパス・フィルタを装備していれば、それを使用します。例えばAgilent 53181A RFカウンタは100kHzのローパス・フィルタを持っており、信号路にスイッチ・インすることができます。これを使用すれば、高調波や高周波ノイズでのトリガリングを低減できます。

手動トリガリングの使用

カウンタを自動トリガリングに設定していると、信号のp-pレベルが推定され、中間点が計算されてトリガ・ポイントが決まります。通常はこの方法でうまく行きますが、低周波数の信号では問題が起ることがあります。つまり信号がその最大～最小値間を遷移する前に、自動トリガ・アルゴリズムが終ってしまうことがあります。その結果、自動トリガは矛盾のない最大～最小値の推定に基づかずに、信号の上下を追うだけでシングル・トリガ・レベルを設定してしまいます。これに対処する方法としては自動トリガをオフにして、手動によってトリガ・レベルを設定します。

DC結合の使用

多くのカウンタでは、主入力チャネルでAC結合かDC結合かを選択できるようになっています。この設定は、オシロスコープの場合と同じように働きます。つまりAC結合は信号からDCオフセットを除去し、これに対してDC結合では信号の全体、オフセットおよびすべてが含まれます。AC結合の問題は、これが低周波数を減衰してしまうところにあります。実際、AC結合を使用する場合には、ある周波数以下ではおそらくカウンタの性能は仕様されていないはずです。したがって小数点以下のHzでも良い測定結果を得たい場合には、DC結合を使用します。

HINT 7

表示値の変化が激しいときの対処

下位の何桁かで表示値の変化が激しいとき、リアルタイムで回路を調整したり、カウンタの表示値に基づいて何かを行いたいときには困ります。これに対してはカウンタの機能によって、表示を安定させるためのいくつかの方法があります。

- **表示桁数を減らす。**第1の方法としては、"Fewer Digits"ボタンあるいは同様の機能のボタンを使用して、表示する桁数を減らします。ただしこれによって表示は安定しても、測定での判断に必要な情報を隠してしまうこともあります。ただし、この機能は表示について限定され、実際の測定には何の影響も持ちません。
- **リミット・テストの使用。**信号がある周波数の帯域内にあるかどうかを知りたい場合には、ビジュアル・インジケータを伴ったリミット・テストを使用できます。もちろんそのためには、カウンタがこの機能を持っていなければなりません。
- **信号アベレージングの使用。**アベレージング(多くのカウンタで"mean"とラベルされている)は、信号が不安定な多くの場合に使用できます。もちろん単に表示桁数を減らすだけと異なり、アベレージングは実際の測定品質を向上させます。信号中のランダムな変動を減らすことによって、表示変化の数が減ります。

HINT 8

統計を使用した信号の特性評価

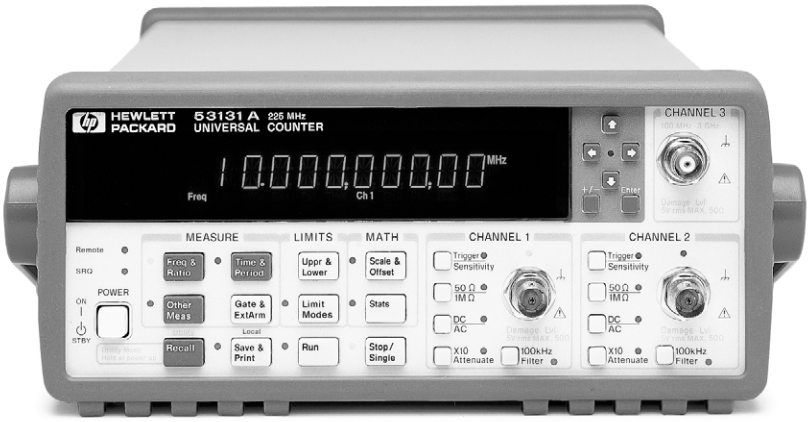
高性能のカウンタは、ただカウントする以上の機能を持っています。例えば内蔵の統計機能を使用して、信号の特性評価やトレンド認識を行えます。これらは、カウンタにその機能がなければPCで行うようなタスクです。統計機能の基本セットとしては、演算平均、最小、最大、標準偏差などがあります。

例えば変動搬送波信号は、カウンタ統計を適用できる良い例です。最小、最大、平均、標準偏差によって、スペクトラム・アナライザを使用することなく搬送波の動作を明確に知ることができます。さらにカウンタでは、スペクトラム・アナライザの場合よりも高い周波数分解能が得られます。

これらの基本的統計よりもさらに進むには、測定データをポスト処理するAgilent BenchLink、Agilent VEE、National Instruments LabVIEW®などのソフトウェア・パッケージ製品を使用できます。ソフトウェアによって、ドキュメントやグラフの付加、アーカイブ、強力な解析機能、テスト自動化などが可能になります。

LabVIEWは、National Instruments Incorporatedの登録商標です。

Agilent Technologies 53181A RFカウンタ



- 10桁/秒の分解能、最大12.4GHzの周波数レンジ
- 測定やさしくする内蔵リミット・テスト、統計機能
- 低価格、または高精度のタイムベースを選択可能

Agilent 53181A RFカウンタは、10桁/秒の分解能を第1チャネルでは225MHzまで、第2チャネルではオプションにより1.5、3、5、12.4GHzまで提供します。

また本カウンタのレシプロカル・アーキテクチャにより、入力周波数にかかわらない高分解能、必要なゲート時間を選べる柔軟性を有します。

リアルタイムのディジタル信号処理によって、データ解析と同時に次の測定を行うことができ、測定スループットが増大します。他のカウンタではデッド・タイム処理の間に、53181Aはすでに次の測定に移っています。また最大200測定/秒の連続GPIBデータ転送速度が、迅速な作業を可能にします。

自動リミット・テスト、テスト・セットアップの即時リコール、各機能へのワンボタン・アクセスが、さらに作業を簡素化します。また平均、最小/最大、標準偏差を同時に測定およびトラッキングできます。

アジレント・テクノロジーではその他にも53131Aや53132Aユニバーサル・カウンタ、およびマイクロ波周波数カウンタ、タイム・インターバル・アナライザ、モジュレーション・ドメイン・アナライザの広範なラインナップを用意しています。詳細は、計測お客様窓口にお問合わせください。また、アジレント・テクノロジーWebサイトwww.agilent.com/find/biにも詳細情報がございます。

ユニークなインリミット・インジケータを持つ内蔵リミット・テストが、リアルタイムの回路調整を容易にします。

HP 53181A 225MHz RFカウンタ	
測定機能	周波数、周波数比(オプションのチャネル2を使用)、周期、ピーク電圧
解析機能	自動リミット・テスト、演算機能(スケールとオフセット)、統計機能(最小、最大、平均、標準偏差)
測定特性	
周波数レンジ	チャネル1：DC～225MHz
周波数分解能	10桁/秒
測定速度	最大200測定/秒
入力コンディショニング	
インピーダンス、結合	1MΩまたは50Ω、ACまたはDC
ローパス・フィルタ	100kHz、スイッチ可能
減衰	×1または×10
外部タイムベース基準入力	1、5、10MHz
トリガ	立上がり/立下がりエッジでトリガ、レベルは信号レベルのパーセントまたは絶対電圧により設定、感度はLOW/MED/HIGHから選択可能
ゲートとアーム	自動、手動(ゲート時間または分解能の桁数を設定)外部、ディレイ
インタフェース	標準GPIB(IEEE 488.1および488.2)とSCPI、トーク・オンリRS-232
電源	100～120Vac±10% 50、60、400Hz±10% 220～240Vac±10% 50、60Hz±10%
質量	3kg
寸法(高さ×幅×奥行)	103.6×254.4×374mm
保証	3年

オーダ情報

53181A 10桁/秒 225MHz RFカウンタ
34812A BenchLInk Meterソフトウェア、Windows®用
34131A キャリング・ケース
34161A アクセサリ・ポーチ
オプションW50 2年の追加保証
オプション1CM ラック・マウント・キット
オプション001 中安定度タイムベース
オプション002 DC入力
オプション010 高安定度タイムベース
オプション015 1.5GHzチャネル2、BNCコネクタ
オプション030 3GHzチャネル2、BNCコネクタ
オプション050 5GHzチャネル2、N型コネクタ
オプション060 リアパネル端子
オプション124 12.4GHzチャネル2、N型コネクタ

Windows®は、Microsoft Corporationの登録商標です。

アジレント・テクノロジー株式会社
本社 〒192-8510 東京都八王子市高倉町9-1

計測
お客様窓口
受付時間 9:00～17:00
（土・日・祭日を除く）
※FAXは24時間受付け

TEL 0120-421-345
(0426-56-7832)
FAX 0120-421-678
(0426-56-7840)
E-mail:mac_support@agilent.com

電子計測ホームページ
http://www.agilent.co.jp/find/tm

● 記載事項は変更になる場合があります。
ご発注の際はご確認ください。

Agilent Technologies
Innovating the HP Way

5967-6038J
040005202-L/H