

クロックジッタの定義と測定方法

1 はじめに

ジッタとは、信号の遷移するタイミングが理想とする値から時間的にどれだけずれたかを表します。一般的にクロック信号のジッタは、システム内のノイズやその他の攪乱要素によって生じます。その要因として、熱雑音や電源変動、負荷条件、デバイス雑音、隣接する回路からの干渉等が挙げられます。

2 ジッタの種類

ジッタは様々な方法で測定する事ができ、その主な種類として下記があります。

- 周期ジッタ
- サイクル・トゥ・サイクル・ジッタ
- ロング・ターム・ジッタ
- 位相ジッタ
- タイム・インターバル・エラー (TIE)

2.1 周期ジッタ

周期ジッタとは、任意の取得データから抽出された基準周期に対し、実際に得られる各周期のズレを示したものです。各周期からそれぞれのジッタ量が測定され、平均周期や標準偏差、ピーク・トゥ・ピークの値が求められます。一般的にこれらの標準偏差やピーク・トゥ・ピークの値は、RMS や Pk-Pk と呼ばれます。

周期ジッタは多くの文献で「測定された周期と理想値の差」と定義されます。しかし、実際の用途では周期の理想値を定量化するのは簡単ではありません。100MHz に設定した発振器の出力をオシロスコープで観測した場合、測定された周期の平均値は 10 nS の代わりに 9.998 nS となるかもしれません。そのため、平均周期を理想値として扱う方がより現実的と言えるでしょう。

2.1.1 周期ジッタの使い方

周期ジッタは、デジタル系のシステムでタイミングマージンを計算する時に役立ちます。クロックの立ち上がりエッジの前に $1\ \mu\text{s}$ のデータセットアップを必要とする、マイクロプロセッサを含んだシステムを考えてみましょう。クロックの周期ジッタが $-1.5\ \text{nS}$ の場合、データが有効になる前にクロックの立ち上がりエッジが来てしまう可能性があります。そのため、マイクロプロセッサは間違っただータを受け取るかもしれません。この例を図 1 に示します。

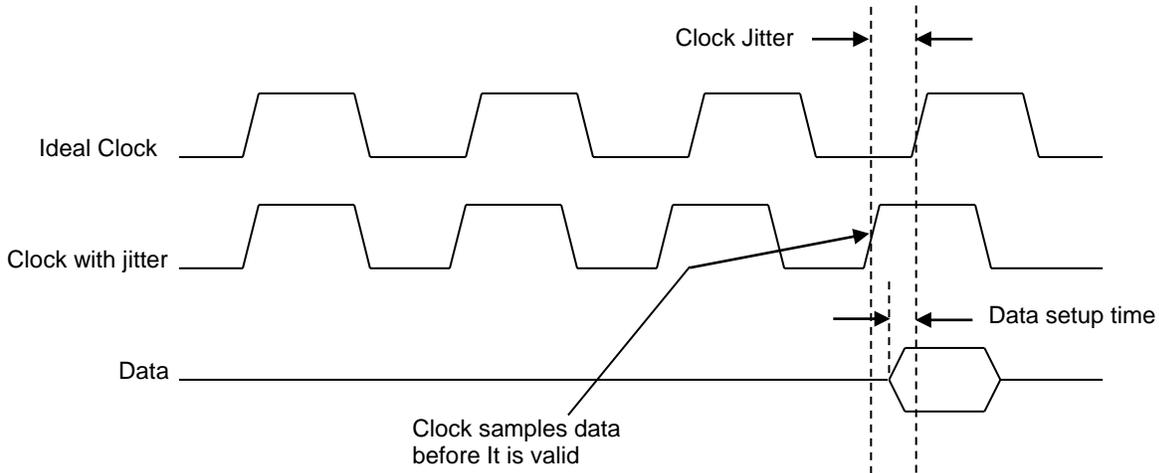


Figure 1. Data setup violation caused by clock jitter

似たような事例として、 $2\ \text{nS}$ のデータ保持時間を必要とするマイクロプロセッサを考えてみましょう。クロックにジッタが $+1.5\ \text{nS}$ 載ってしまうと、実際のデータ保持時間は $0.5\ \text{nS}$ へ短縮されてしまいます。前回と同様に、マイクロプロセッサは間違っただータを受けることになります。この状況を図 2 に示します。

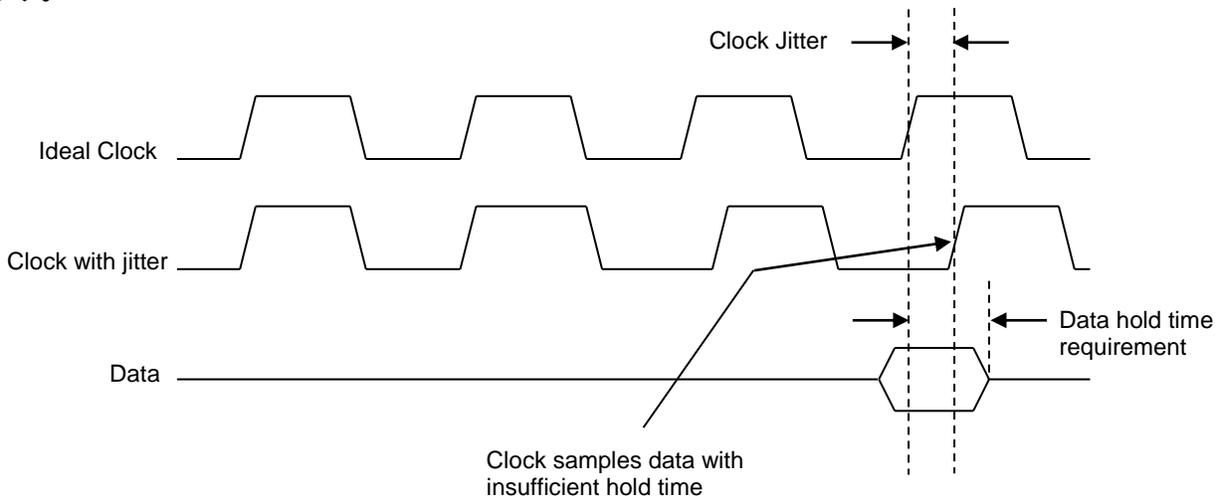


Figure 2. Data hold time violation caused by clock jitter

2.1.2 RMS ジッタからピーク・トゥ・ピークジッタの計算

クロックの周期ジッタはランダムに発生するためガウス分布に従い、RMS ジッタは pS を単位とし、二乗平均平方根により一意的に決まります。しかし、ピーク・トゥ・ピークの値は時間と共に広がりを持つため、セットアップやホールドタイムの余裕量を見積もる時により問題となります。例えば、10,000 サンプルのデータがあった場合、RMS 値からピーク・トゥ・ピークへの変換には下記の式を用いる事ができます。

$$\text{Peak-to-peak period jitter} = 7.44 \times (\text{RMS jitter}) \quad \text{式 1}$$

例えば、RMS ジッタが 3 pS の場合には、ピーク・トゥ・ピーク・ジッタは ±11.16 pS となります。

式 1 は表 1 に示されるガウス分布の発生確率から求められます。例えば、サンプル数が 100 個あった場合、99 個は分布の平均値から ±2.327σ の範囲内に入り、1 個のサンプルのみがその範囲から外れます。SiTime では、RMS ジッタを JEDEC 規格に従って測定しており、10,000 周期分のデータを取得して値を求めています。

| Sample Size | Sigma (σ) |
|-------------------|-----------|
| 10 | ±1.282 |
| 100 | ±2.327 |
| 1,000 | ±3.090 |
| 10,000 | ±3.719 |
| 100,000 | ±4.265 |
| 1,000,000 | ±4.754 |
| 10,000,000 | ±5.200 |
| 100,000,000 | ±5.612 |
| 1,000,000,000 | ±5.998 |
| 10,000,000,000 | ±6.362 |
| 100,000,000,000 | ±6.706 |
| 1,000,000,000,000 | ±7.035 |

Table 1. Gaussian probability density function (PDF)

2.1.3 周期ジッタの測定方法

周期ジッタは、任意の複数データから求められた基準周期と、実際に観測された周期の誤差と、JEDEC 65B で規定されています。また、条件として 10,000 周期分のデータを測定する必要があると定められています。SiTime では、以下の手順で周期ジッタを測定する事を推奨しています。

1. 1クロック分の周期（立ち上がりエッジから立ち上がりエッジまで）を測定する。
2. 任意のクロック周期分の時間をおく。
3. 上記の手順を10,000回繰り返す。
4. 得られた10,000回のデータから、平均値、標準偏差（σ）、ピーク・トゥ・ピーク値を計算する。
5. 上記の測定を25回繰り返して、ピーク・トゥ・ピークの平均値を算出する。

上記の手順に従い、無作為に抽出された 10,000 回分のデータを基に求められた標準偏差 (σ) や RMS 値は十分な精度があります。また、RMS 値の誤差は下記の式から計算されます。

$$\text{Error}_{\text{RMS}} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{2N}} \quad \text{式2}$$

式中の N は抽出されたデータ数、 σ_n はそのデータから得られた RMS 値または標準偏差を示します。10,000 回のデータがあった場合、 $\text{Error}_{\text{RMS}}$ は $0.0071 \sigma_n$ となります。この誤差はランダムであり、ガウス分布に従います。ワーストケースの誤差は、 $\pm 3 \text{Error}_{\text{RMS}}$ として計算されます。

例を挙げると、無作為に抽出された 10,000 回のデータから計算された RMS 値が 10 pS の場合、 $\text{Error}_{\text{RMS}}$ は 0.071 pS となります。しかし得られた RMS 値のほとんどは、 10 ± 0.213 pS の狭い範囲内に収まります。実際の用途においては、10,000 回のデータから計算された $\text{Error}_{\text{RMS}}$ は、十分に小さく無視できるレベルとなります。

無作為に抽出された 10,000 回のデータがあれば精度良く RMS 値を求める事ができますが、ピーク・トゥ・ピーク値の測定はより難しくなります。周期ジッタはランダムに発生する事象のため、時間と共に揺らぎは広がる性質があり、抽出するデータ量が増えると分布曲線の裾野のポイントを拾う確率が高くなります。つまり、データの標本母数が増加するとピーク・トゥ・ピーク値は収束せずに発散してしまいます。このような理由からピーク・トゥ・ピーク値の測定には 5 番の手順を追加しており、25 回の平均によって高い整合性と再現性が得られます。

手順 4 の、無作為に抽出された 10,000 回のデータから各 1 個の標準偏差とピーク・トゥ・ピーク値が得られます。更にこの手順を無作為に 25 回繰り返す事で、十分な精度を持ったピーク・トゥ・ピークの平均値が得られます。RMS 値も同じデータから平均値を求める事ができますが、個々に得られた測定値と差異はほとんどありません。

図 3 は、SiT8102 発振器を 125MHz/3.3V 出力で動作させ、その周期ジッタのヒストグラムを Wavecrest 社製オシロスコープ SIA-4000C で測定した結果です。手順 4 の通り 10,000 回のデータから人一組の標準偏差とピーク・トゥ・ピーク値が得られています。

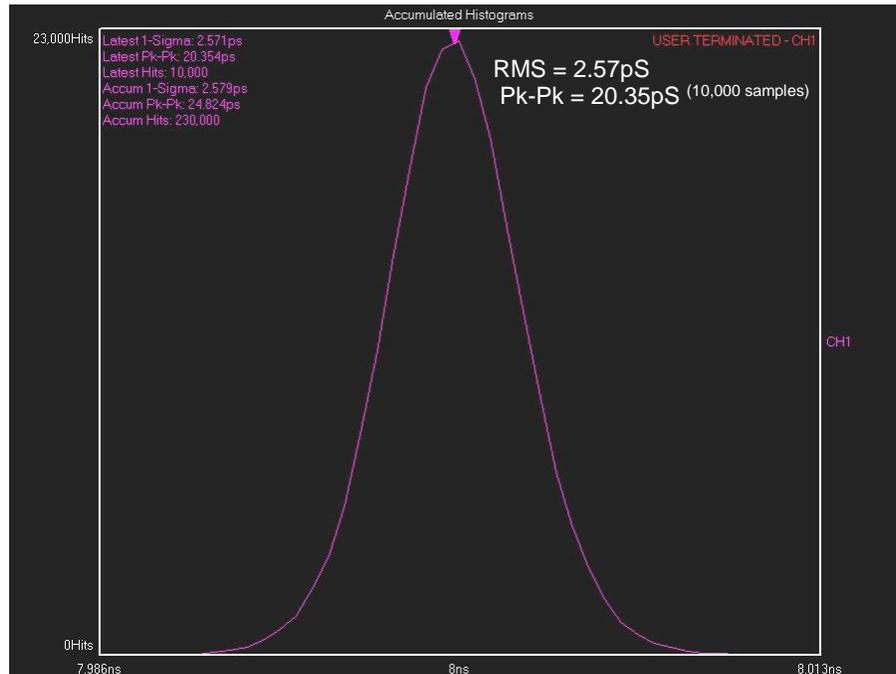


Figure 3. Histogram of 10,000 period jitter measurements

2.2 サイクル・トゥ・サイクル・ジッタ

サイクル・トゥ・サイクル・ジッタ (C2C ジッタ) は、隣接する周期の変動を表しており、JEDEC 65B で規定されています。条件として 1,000 回以上のデータを測定する必要があると定められています。サイクル・トゥ・サイクル・ジッタは連続する周期間の差異であり、基準クロックと関連性は無い事に注意して下さい。

サイクル・トゥ・サイクル・ジッタは、連続する 2 個のクロックにおける立ち上がりエッジ間の最大偏差であり、pS 単位のピーク値として示されます。

周期ジッタは周波数変調を印加したクロックに過度に反応してしまう短所があります。そのため、サイクル・トゥ・サイクル・ジッタは、スペクトラム変調拡散したクロックの安定性を調べるのに良く用いられます。サイクル・トゥ・サイクル・ジッタは、pS 単位の RMS 値として表される場合もあります。

2.2.1 サイクル・トゥ・サイクル・ジッタの測定方法

SiTime では、以下の手順でサイクル・トゥ・サイクル・ジッタを測定する事を推奨しています。

1. 隣接する2個のクロックの周期、T1とT2を測定する。
2. T1とT2の差分を計算し、絶対値を記録する。
3. 任意のクロック周期分の時間をおく。
4. 上記の手順を1,000回繰り返す。
5. 得られた1,000回のデータから、標準偏差 (σ) と値を計算する。ピーク値は、2で記録された1,000個の絶対値の中の最大値となる。

6. 上記の測定を25回繰り返して、ピーク値の平均を算出する。

周期ジッタのピーク・トゥ・ピーク値と同様に、サイクル・トゥ・サイクル・ジッタのピーク値はデータの標本母数が増加すると収束せずに発散してしまいます。このため、サイクル・トゥ・サイクル・ジッタのピーク値の測定には6番の手順を追加しており、25回の測定を繰り返して平均値を求めます。

より多くのサンプルを採取すれば、サイクル間ジッタのピーク値も収束せず発散します。そのため、手順6のとおり25のサンプル集合から平均ピークサイクル間ジッタを求める処理を追加しています。

図4はサイクル・トゥ・サイクル・ジッタのヒストグラム測定の結果です。この場合、ピークジ値は25.66 pSとなります（赤丸で囲まれた箇所に最大21.22 pS、最小-25.66 pSとありますが、この内絶対値が大きいほうが該当します）。

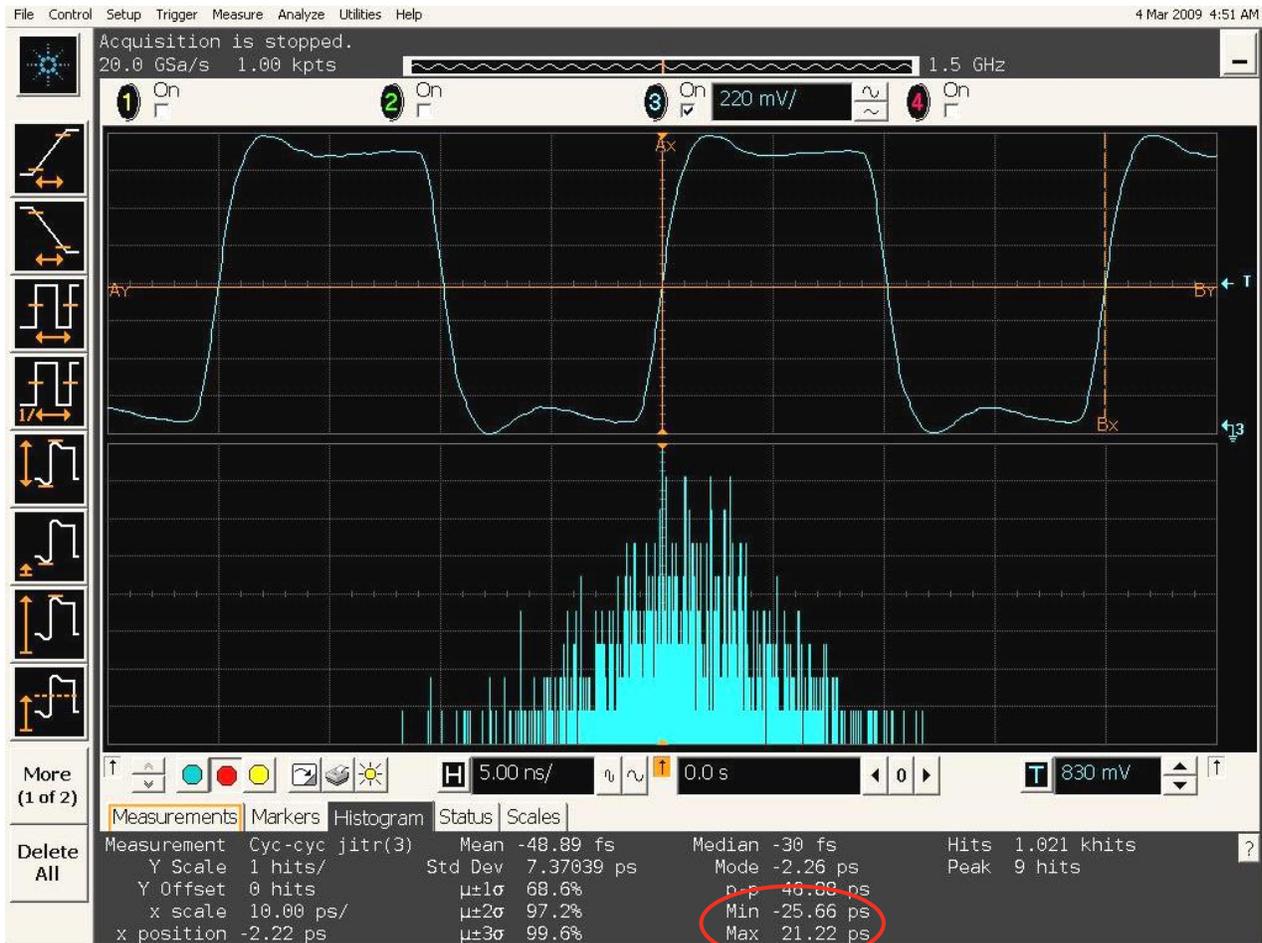


Figure 4. Cycle to cycle jitter histogram

2.3 ロング・ターム・ジッタ

ロング・ターム・ジッタは、クロック出力の理想値からの変移を扱ったものですが、ある連続した周期に渡って観測する特徴があります。実際の測定周期数は使われる用途によって異なります。ロング・ターム・ジッタは、何周期にも渡って連続したクロックを扱うため、累積したジッタの影響を表しています。そのため、ある一瞬を捉える周期ジッタやサイクル・トゥ・サイクル・ジッタとは異なります。このような理由から、ロング・ターム・ジッタは蓄積ジッタと呼ばれる事があります。ロング・ターム・ジッタは、画像や動画の表示や、距離計などの遠隔測定用途で用いられます。

SiTime では、以下の手順でロング・ターム・ジッタを測定する事を推奨しています。この例では、10,000 周期分に渡るロング・ターム・ジッタを測定しています。

1. 図5に示されるように、連続した10,000周期分の時間間隔を測定する。
2. 任意のクロック周期分の時間をおく。
3. 上記の手順を1,000回繰り返す。
4. 得られた1,000回のデータから、平均値、標準偏差 (σ)、ピーク・トゥ・ピーク値を計算する。
5. 上記の測定を25回繰り返して、ピーク・トゥ・ピークの平均値を算出する。

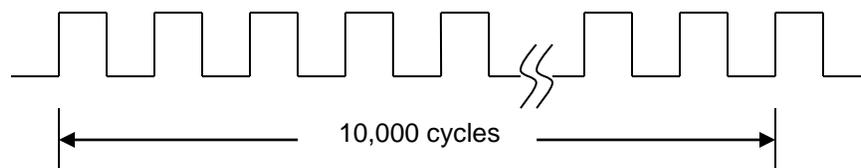


Figure 5. Measuring a 10,000 clock-cycle time interval

繰り返しになりますが、ピーク・トゥ・ピーク値は無限の広がりを持つため、標本母数の増加に応じて発散してしまいます。これを抑制するために手順 5 を用いる事で必要な整合性と再現性を得ています。

2.4 位相ジッタ

位相ノイズは、キャリア信号からオフセットを掛けた複数の周波数でのノイズ量（例えば、20kHz オフセットで-60dBc/Hz、10MHz オフセットで-95dBc/Hz）や、ある周波数範囲における連続したノイズをプロットする事で示されます。位相ジッタは、ある周波数範囲での位相ノイズの積分値であり、秒を単位として表されます。

方形波において、エネルギー成分の大部分はキャリア周波数が持ちます。しかし、いくらかのエネルギーはキャリア周波数の両側の領域に漏れ出でます。位相ジッタは、キャリア周波数 (f_c) を基準としてオフセットを掛けた 2 つの周波数を設けた場合、これらの周波数間に含まれる位相ノイズを合計した値です。図 6 はフィルター処理をしていない位相ノイズのプロットを示しており、斜線部分は周波数 f_1 と f_2 の間の位相ジッタを表しています。

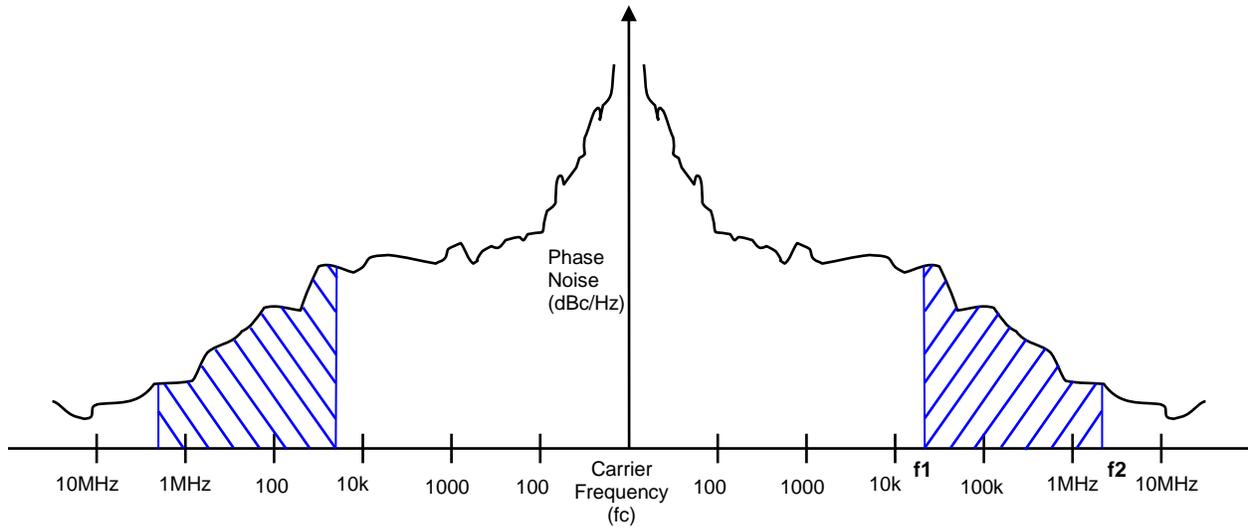


Figure 6. Phase noise plot

f1 と f2 の間の位相ジッタの RMS 値は、式 3 で定義されます。

$$\text{RMS Phase Jitter} = \frac{\sqrt{2 \int_{f1}^{f2} 10^{\frac{PN(f)}{10}} df}}{2\pi f_c} \quad \text{式 3}$$

ここで $\int_{f1}^{f2} 10^{\frac{PN(f)}{10}} df$ はキャリア周波数 f_c の各側における f1 と f2 の間のノイズ量です。

通信用途では、トランシーバーとレシーバーに含まれる PLL 回路がバンドパスフィルターとして振舞うため、測定で得られたノイズ量にこの効果を掛け合わせてから実際の RMS 値を計算します。下記に、一般的なアプリケーションとそれに対するフィルターの帯域幅（コーナー周波数）を示します。

- ファイバーチャネル：637 kHz～10 MHz
- 10Gigabit Ethernet XAUI：1.875 MHz～20 MHz
- SATA/SAS：900 kHz～7.5 MHz

フィルター関数を $H(f)$ とすれば、下記の式を使用してフィルター処理した位相ジッタの RMS 値を計算できます。

$$\text{RMS Phase Jitter (filtered)} = \frac{\sqrt{2 \int_{f1}^{f2} 10^{\frac{PN(f)}{10}} * |H(f)|^2 df}}{2\pi f_c} \quad \text{式 4}$$

3 タイム・インターバル・エラー (TIE)

タイムインターバルエラー (TIE) は、ある基準点から見た、理想エッジ位置との時間的なずれを表します。TIE は、周波数を軸として示される位相ノイズを、時間ドメインに置き換えたものであり、S や pS を単位とします。図 7 は、TIE の基本的な概念を示しています。多くの場合、理想的なクロック信号は、ソフトウェア上でクロックをリカバリする事で得られます。

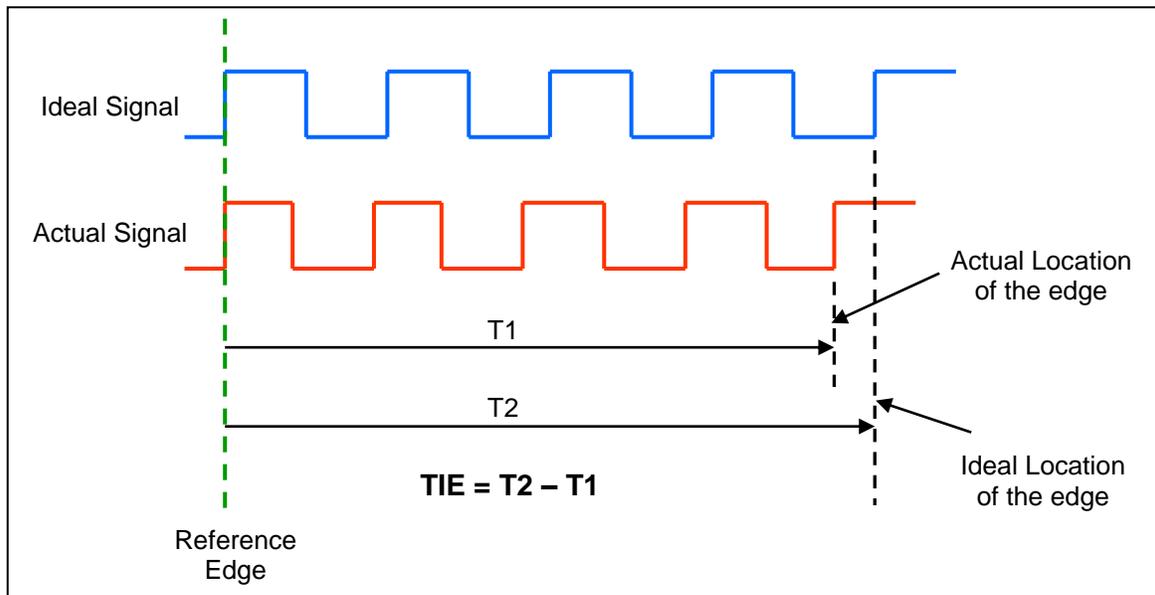


Figure 7. Measuring the TIE of an edge

3.1 TIE の時間プロット

クロック波形を図 8 の上部に示します。赤いパルスは 1000 pS の正確な周期を持つ理想クロックです。黒いパルスはジッターがあるクロック信号です。説明を分かりやすくするためクロックパルスの立下りエッジを省略しています。順番の最初の方は、赤と黒のクロックがお互いに揃っていますが、ジッターがあるために黒の信号は時間の経過と共に、赤のクロックエッジに対して前後にシフトし始めます。

「Clock Period」とラベル表示されたプロットは、黒いクロック信号の測定された周期を経時的に見たものです。この例では、黒いクロック信号の周期は 990 pS か 1010 pS かのどちらかです。「Period Change」とラベル表示されたプロットは、各周期について前回の周期からの変化分を表しています。連続した前後のクロック周期が同じであれば、このグラフのプロットは横ばいになります。しかし、周期の差が検出されるとプロットに変化が記録されます。例として、最初の 4 クロックの周期は 990 pS で一定なので「Period Change」プロットは横ばいになりますが、5 番目のクロック周期が 990 pS から 1010 pS へ伸びたため、+20 pS の位置にプロットがジャンプします。言い換えると、このプロットは「Clock Period」プロットの周期の変化を示しています。

「Time Interval Error」とラベル表示されたプロットは理想的なエッジ（赤いクロック）から実際得られたエッジ（黒いクロック）の間の累積誤差を示しています。この例では、TIE プロットは最初の4クロックが理想周期より10 pS 短いためマイナス方向へ動き始めます。ジッタエラーの累積値が-40 pS となった後に、理想周期より10 pS 長いため、5番目のクロックからプラス側に向きを変えます。

クロック/データリカバリー（CDR）回路を使って、基準クロックをデータ信号から再生して作る事ができるため、TIE の測定はトランシーバーから出力されたデータストリームの挙動を調べるに適しています。TIE の値が大きい場合、CDR 回路内の PLL の追従性が悪く、データストリームのビットレートの変化についていけない可能性があります。

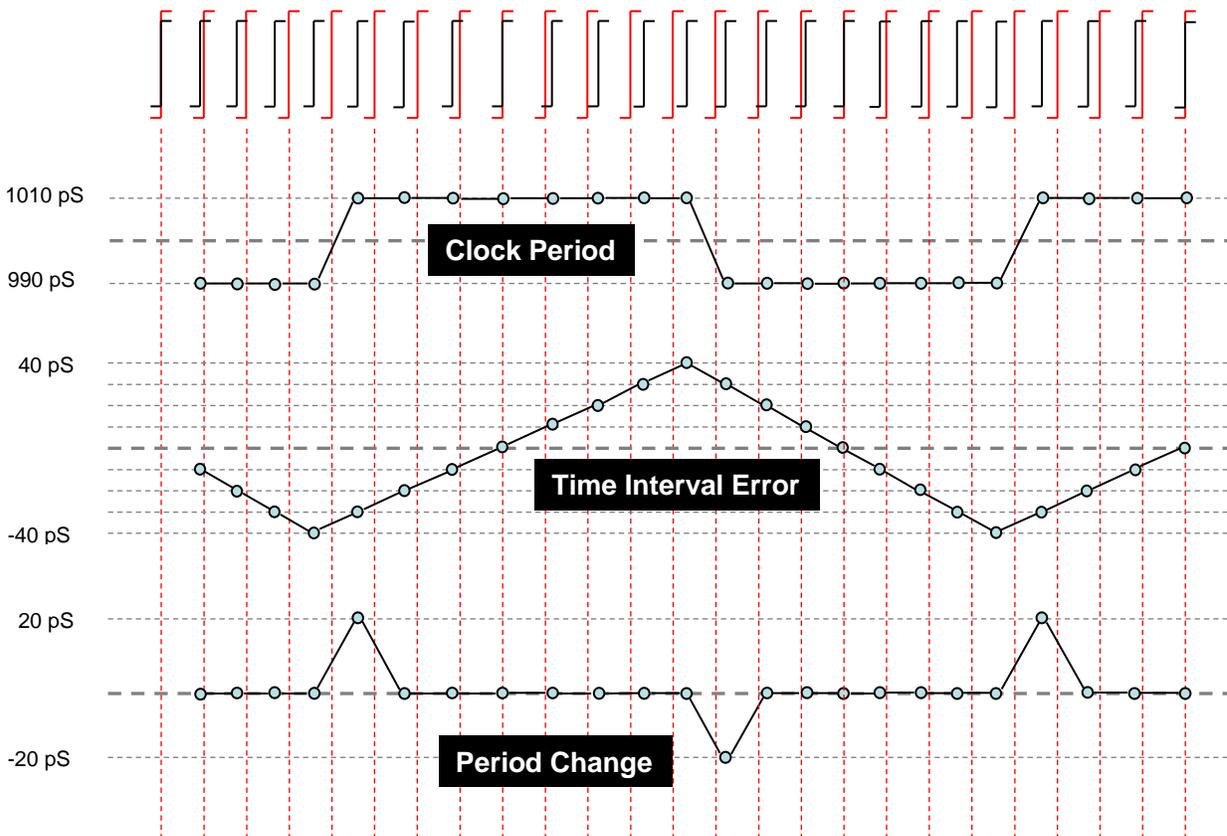


Figure 8. Time interval error (TIE) plot

4 リアルタイム・デジタル・オシロスコープによるジッタ測定

4.1 オシロスコープの設定ガイドライン

クロックジッタはリアルタイム・デジタル・オシロスコープ（スコープ）を使って測定するのが一般的です。このセクションでは、ジッターの測定精度をより良くするために必要なスコープの設定方法について解説します。

デジタル・オシロスコープは、一定間隔で入力をサンプリングするために内部にタイムベースと呼ばれる基準クロック源を持っています。サンプリングレートは、1Gbps（毎秒ギガサンプル）から始まり、ハイエンド機種では40Gbpsにもなります。図9は、デジタルスコープが入力された信号をどのようにサンプリングし、どのように表示するかを示しています。図の下部にある矢印はサンプリングポイントを表します。実線は実際の信号を、黒点はサンプリングされた値を示しています。点線で示される信号はスコープが表示する信号であり、実際にサンプルされた測定点にフィットしたカーブを描きます。サンプルされた測定点が実際の信号と必ずしも一致しないと気付かれたかもしれません。これらの不一致はスコープが持つ量子化誤差によって生じます。その多くはスコープを設計する難易度と掛かる費用のトレードオフの関係で決まりますが、スコープを適切に設定する事で誤差を軽減する事ができます。次のセクションでは、これらの誤差の主な要因を調べ、ジッタ測定への影響を緩和するために推奨される手順を説明します。

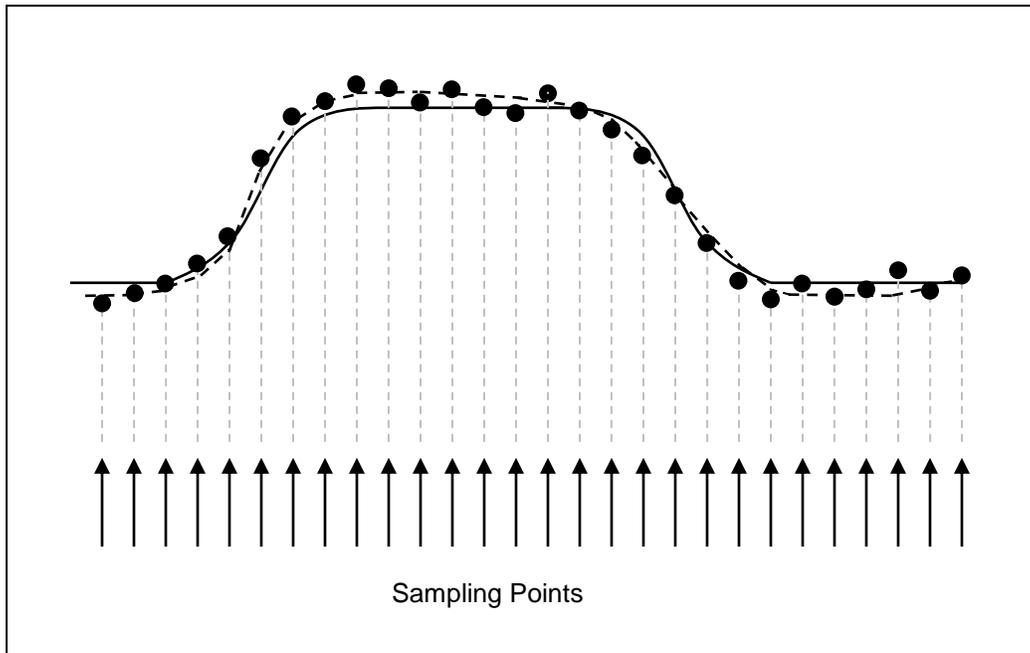


Figure 9. Sampling of a signal by a digital scope

4.1.1 フロント・エンド・アンプによるノイズ

デジタルスコープへ入力される信号は、アナログ・デジタル・コンバーター（ADC）でデジタル化される前に、アナログアンプを通過します。このアンプで発生したノイズはスコープの入力帯域幅に比例し、帯域幅が広いほどノイズは大きくなります。しかし、帯域幅を狭め過ぎるとサンプリングされた信号の立ち上がり立ち下がりの波形が鈍ってしまい、ジッタ測定に大きな誤差が生じてしまいます。立ち上がり／立ち下がり時間とスコープの帯域幅との関係は次式で示す事ができます。

$$\text{Bandwidth} = \frac{0.35}{\min(\text{risetime}, \text{falltime})} \quad \text{式 5}$$

デジタルスコープへ入力される信号は、アナログ・デジタル・コンバーター（ADC）でデジタル化される前に、アナログアンプを通過します。このアンプで発生したノイズはスコープの入力帯域幅に比例し、帯域幅が広いほどノイズは大きくなります。しかし、帯域幅を狭め過ぎるとサンプリングされた信号の立ち上がり立ち下がりの波形が鈍ってしまい、ジッタ測定に大きな誤差が生じてしまいます。立ち上がり／立ち下がり時間とスコープの帯域幅との関係は次式で示す事ができます。

4.1.2 垂直ゲイン設定による量子化ノイズ

量子化誤差は、サンプリングされた値とサンプリングポイントにおける実際の値との差分を示します。この様子を図9に示します。量子化誤差の一部は、表示画面の垂直ゲイン設定によって生じます。垂直ゲイン設定が小さすぎるとデジタル化するADCの分解能を十分に引き出せず、量子化誤差が大きくなります。SiTimeでは、入力信号が表示画面の高さ一杯になるように垂直ゲインを調整する事を推奨します。機種によっては、画面高さ一杯になった所から更に1目盛り分だけ垂直ゲインを上げ、画面上下に多少クリッピングさせた方が量子化ノイズを低減する場合があります。高い垂直ゲイン設定によって信号をデジタル化するADCの分解能を余分に高める事ができるためです。しかし、このような高分解能モードの有無は機種に依存しますので、スコープの取扱説明書を参照して下さい。

4.1.3 低いサンプリングレートによる量子化ノイズ

前述した量子化ノイズは、時間軸上のサンプリングポイント数が不足した場合にも増加します。SiTimeでは、立ち上がり・立ち下がり波形の20% - 80%の期間内に少なくとも3点以上のサンプリングポイントを刻む事を推奨します。この条件によってスコープの最小サンプリングレートが決まります。一例として、信号の立ち上がり時間（20% - 80%）が1 nSでこの期間内に4点のサンプリングポイントが必要な場合、スコープに求められるサンプリングレートは4 Gsps以上となります。手持ちのスコープがこれよりも高い速度で動作する場合、最大のサンプリング設定を選択して下さい。

4.1.4 タイムベースジッタ

デジタルスコープは、内部のタイムベースを基準として一定間隔にサンプリングします。クロック源としてタイムベースにはそれ自体がジッタ成分を持っており、ジッタ測定時の誤差の一因となります。一般的に、ジッタ測定で3%以上の精度を保つためには、タイムベースのジッタは測定対象となる信号を持つジッタと比べて25%以下に抑える必要があります。ハイエンドスコープには低ジッタのタイムベースが搭載される傾向があるので、SiTimeではジッタ測定時には実験室で使用できる最も良い機種を使う事を推奨します。

4.2 リアルタイム・デジタル・スコープを使用したジッタ測定手順

4.2.1 周期ジッタの測定

方法 A

1. 最初のクロックだけではなく、サンプリングされた全てのクロック周期を測定するようにスコープを設定します。
2. 画面上に 10,000 周期のデータをキャプチャーするようにスコープを設定します。100MHz クロックの場合、10,000 周期は 100 μ S になります。通常、画面には横方向に 10 個のマス目が並ぶので、マス目あたり 10 μ S となるように時間軸を調整します。
3. スコープから得られる、平均値、標準偏差、ピーク・トゥ・ピーク値を記録します。
4. 平均値と標準偏差値は十分な精度があります。しかし、ピーク・トゥ・ピーク値は無限の広がりを持つ性質があるため、それほど正確ではありません (2.1.3 を参照の事)。正確なピーク・トゥ・ピーク値を得るために、次のステップに従って下さい。
5. 手順の 2 から 3 までを 25 回繰り返して下さい。それぞれの測定でピーク・トゥ・ピーク値を記録した後に、25 回分のデータからピーク・トゥ・ピークの平均値を算出します。

方法 B (JEDEC の方法)

1. 最初のクロック周期を測定するようにスコープを設定し、可能であればヒストグラム機能をオンにします。
2. 画面上に 1 周期のデータをキャプチャーするようにスコープを設定します。
3. 上記の手順を 10,000 回繰り返します。
4. スコープから得られる、平均値、標準偏差、ピーク・トゥ・ピーク値を記録します。
6. 平均値と標準偏差値は十分な精度があります。しかし、ピーク・トゥ・ピーク値は無限の広がりを持つ性質があるため、それほど正確ではありません (2.1.3 を参照の事)。正確なピーク・トゥ・ピーク値を得るために、次のステップに従って下さい。
5. 手順の 2 から 4 までを 25 回繰り返して下さい。それぞれの測定でピーク・トゥ・ピーク値を記録した後に、25 回分のデータからピーク・トゥ・ピークの平均値を算出します。

4.2.2 サイクル・トゥ・サイクル・ジッタの測定

1. 可能であれば、スコープのヒストグラム機能をオンにします。
2. スコープの C2C ジッタを測定する機能をオンにします。利用できない場合には、画面上に連続した 2 周期分のクロックをキャプチャーするようにスコープを設定します。最初のクロック周期から 2 番目のクロック周期を差し引き、その結果の絶対値を取って記録します。
3. 上記の手順を 1,000 回繰り返します。
4. スコープに C2C ジッタを測定する機能がある場合、標準偏差とピーク値を記録します。利用できない場合には、1,000 個のデータから標準偏差とピーク値を計算します。ピーク値は 1,000 個の中で連続したクロック周期の差分が最も大きい値を選択します。
5. 標準偏差値は十分な精度があります。しかし、ピーク値は無限の広がりを持つ性質があるため、それほど正確ではありません (2.1.3 を参照の事)。正確なピーク値を得るために、次のステップに従って下さい。
6. 手順の 2 から 5 までを 25 回繰り返して下さい。それぞれの測定でピーク・トゥ・ピーク値を記録した後に、25 回分のデータからピーク・トゥ・ピークの平均値を算出します。

4.2.3 ロング・ターム・ジッタの測定

方法 A

1. 画面上に N+1 周期のデータをキャプチャーするようにスコープを設定します。N は使用する用途で求められる、ロング・ターム・ジッタの測定に必要な周期数となります。
2. 1 回目と N+1 回目の立ち上がりクロックエッジ間の時間を測定するようにスコープを設定します。
3. 上記の手順を 1,000 回繰り返します。
4. 1,000 個のデータから平均値、標準偏差、ピーク・トゥ・ピーク値を記録します。
5. 平均値と標準偏差値は十分な精度があります。しかし、ピーク・トゥ・ピーク値は無限の広がりを持つ性質があるため、それほど正確ではありません (2.1.3 を参照の事)。正確なピーク・トゥ・ピーク値を得るために、次のステップに従って下さい。
6. 手順 1 から 4 までを 25 回繰り返して下さい。それぞれの測定でピーク・トゥ・ピーク値を記録した後に、25 回分のデータからピーク・トゥ・ピークの平均値を算出します。

方法 B

1. 画面上にクロックの立ち上がりエッジが表示されるようにスコープを設定します。
2. ロング・ターム・ジッタの測定位置を、各周期が T nS で N 番目にあると考えます。表示されているエッジより N*T nS 前でトリガーされるようにスコープを設定します。
3. ヒストグラム機能オンにして、最大振幅の 50% の位置で交差する箇所を、1,000 回や 10,000 回など使用する用途で求められる回数分、キャプチャーします。機種によっては、エッジ検出のため垂直方向や水平方向にスレッシュホールドを設ける必要がありますので、スコープの取扱説明書を参照して下さい。
4. ヒストグラムのヒット数が目標値に達するまで待ち、到達したら直ぐにデータの取得を停止します。
5. 立ち上がりエッジは、複数の線が帯状に重なり合って表示され (図 10 参照)、この帯の幅の部分がロング・ターム・ジッタに当たります。
6. スコープから得られる、平均値、標準偏差、ピーク・トゥ・ピーク値を記録します。
7. 平均値と標準偏差値は十分な精度があります。しかし、ピーク・トゥ・ピーク値は無限の広がりを持つ性質があるため、それほど正確ではありません (2.1.3 を参照の事)。正確なピーク・トゥ・ピーク値を得るために、次のステップに従って下さい。
8. 手順の 3 から 4 までを 25 回繰り返して下さい。それぞれの測定でピーク・トゥ・ピーク値を記録した後に、25 回分のデータからピーク・トゥ・ピークの平均値を算出します。

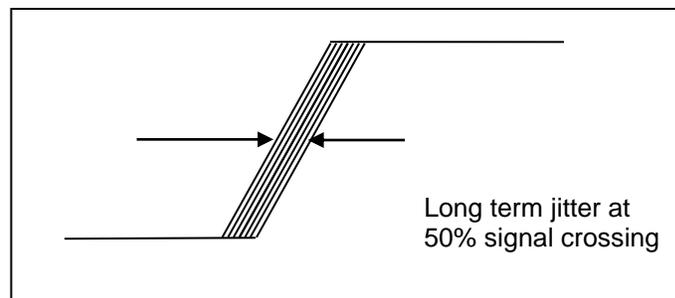


Figure 10. Long-term jitter

5 結論

このアプリケーションノートには、2つの目的があります。1つ目は、最近の高速システムで見受けられるジッタの種類について説明する事です。2つ目は、リアルタイム・デジタル・オシロスコープを使った各種ジッターを測定する手順をお知らせする事です。

SiTime Corporation
990 Almanor Avenue
Sunnyvale, CA 94085
USA
Phone: 408-328-4400
<http://www.sitime.com>

© SiTime Corporation, 2008-2014. The information contained herein is subject to change at any time without notice. SiTime assumes no responsibility or liability for any loss, damage or defect of a Product which is caused in whole or in part by (i) use of any circuitry other than circuitry embodied in a SiTime product, (ii) misuse or abuse including static discharge, neglect or accident, (iii) unauthorized modification or repairs which have been soldered or altered during assembly and are not capable of being tested by SiTime under its normal test conditions, or (iv) improper installation, storage, handling, warehousing or transportation, or (v) being subjected to unusual physical, thermal, or electrical stress.

Disclaimer: SiTime makes no warranty of any kind, express or implied, with regard to this material, and specifically disclaims any and all express or implied warranties, either in fact or by operation of law, statutory or otherwise, including the implied warranties of merchantability and fitness for use or a particular purpose, and any implied warranty arising from course of dealing or usage of trade, as well as any common-law duties relating to accuracy or lack of negligence, with respect to this material, any SiTime product and any product documentation. Products sold by SiTime are not suitable or intended to be used in a life support application or component, to operate nuclear facilities, or in other mission critical applications where human life may be involved or at stake.