

高速デジタル信号測定時のツール選定

シグナル クオリティ アナライザ-R MP1900A シグナル クオリティ アナライザ MP1800A BERTWave シリーズ MP2110A/MP2100B

1. はじめに

近年、Smart Phone, Cloud computing, FTTx 等の普及,動画等のリッチコンテンツの増加により、 伝送装置やサーバ,ストレージ等で扱うデータ量が増加し、今後より一層の高速化が進むことが予想され ます。

最近では、これら装置内部では、Gbit/s帯を超えるデジタル信号を扱っています。このような高速信号を扱う場合には、信号のデジタル的な側面だけでなく、アナログ的な振る舞いに注意を払う必要があり、信号を観測するためのツールにも注意が必要です。

ここでは、測定ツールという側面から、10Gbit/s を超えるデジタル信号を扱う際の注意点について記載します。

2. デジタル信号の特長

一般に、Duty が 50%の矩形波すなわち基本的なデジタル信号は、基本となる周波数の他に、3 倍, 5 倍, 7 倍…のように、奇数整数倍の高調波が合波されてできています。

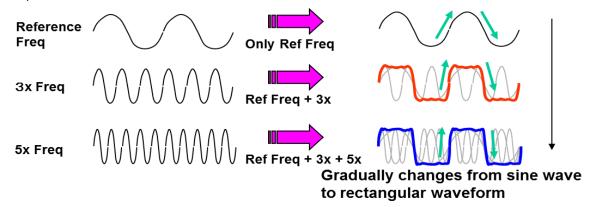


図 2.1: 矩形波の構成

実際の信号には、様々な要因から Duty が 50%ではなかったり、反射等の影響で歪みが生じていたりしますので、基本周波数の奇数倍高調波だけでなく、偶数倍の高調波も重畳されていますが、ここでは理想的な 50%の矩形波の信号について記載しています。

また、矩形波をフーリエ級数展開すると、以下の式になり、高調波になるほどパワーが小さくなっていきますが、図 2.1 の例では単純化のため、パワーは一定であるものとして記載しています。

$$f(x) = \frac{\pi}{4}(\sin(x) + \frac{1}{3}\sin(3x) + \frac{1}{5}\sin(5x) + \frac{1}{7}\sin(7x) + \cdots)$$

デジタル信号は、通常プリント板上で送信回路から次段の受信回路へと伝送していきます。その際、伝送路上では、一般的に周波数の高い成分の方が周波数の低い成分と比較して大きい損失になります。

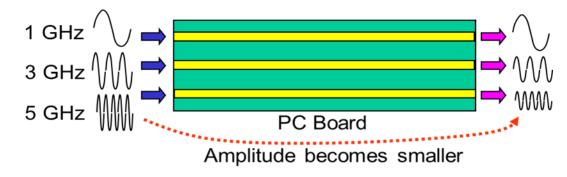


図 2.2: 伝送路の損失

Network Analyzer で S21 というパラメータを測定することで、詳細にこれらの特性を把握することができます。

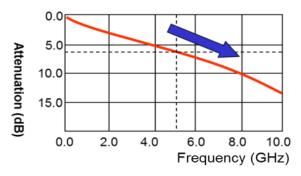


図 2.3: 周波数と減衰量

これらの複数の周波数成分で構成されるデジタル信号の特性を踏まえた上で、次章以降、測定系が測定結果 に及ぼす影響について記載していきます。

3. Sampling Scope の性能による波形の違い

ここでは、Gbit/s 帯のデジタル信号測定時に、Sampling Scope の性能差が測定結果に及ぼす影響を記載します。

3.1 帯域による波形の違い

Gbit/s 帯の信号を測定する際には、通常 Sampling Scope を使用しますが、2 章で述べたような基本特性を考慮すると、測定する信号の速度に応じた必要な帯域が見えてきます。

たとえば、NRZ の 10Gbit/s の電気信号を測定する場合に必要となる Sampling scope の帯域を考えます。 NRZ 10Gbit/s のデジタル信号の場合、基本となる信号は 5GHz です。矩形波で伝送される信号の立ち上がり、立下りを測定する場合には、5GHz 帯域の Sampling Scope では、帯域が不足します。3 倍, 5 倍といった高調波信号が、通過しないからです。

5倍の高調波について、もう一度矩形波をフーリエ級数展開した場合の式を確認してみます。

$$f(x) = \frac{\pi}{4}(\sin(x) + \frac{1}{3}\sin(3x) + \frac{1}{5}\sin(5x) + \frac{1}{7}\sin(7x) + \cdots)$$

上式から、高調波になるほどパワーが小さくなり、波形全体に与える影響が少なくなっていくことがわかります。理想的な波形を見るためには、より高い高調波を観測する必要があります。しかし、工学的な観点から見た場合、観測信号が 28Gbit/s の場合、7 倍高調波で 98GHz, 9 倍高調波では 126GHz と現実的に入手できる測定器が少なくなっていくという事実もあります。そこで、数学的に影響が少ないと思われる領域にどこまで投資するか、という判断が必要になります。

以上から、矩形波の波形品質を測定する場合には、一般的には、5 倍程度の高調波をカバーする帯域の Sampling Scope を使用するのが適切と考えます。つまり、10Gbit/s の信号の場合、5GHz の 5 倍高調波、 すなわち 25GHz 以上の帯域の Sampling Scope が必要になります。

同様に、昨今活発に研究開発が行われている 100G PHY で使用される 28Gbit/s のデータ信号を測定する場合には、14GHz の基本周波数と 5 倍の高調波を考慮し、70GHz の帯域が必要ということになります。

なお、一般に光通信用デバイスを評価する場合には、Bit rate の 75%程度のフィルタ(10Gbit/s で 7.5GHz

の LPF)を通過させて測定することが規定されていることが多いため、電気信号の測定とは必要となる帯域が異なります。

以下に、28Gbit/s の信号を 50GHz 帯域と 70GHz 帯域の Sampling Scope で観測した波形を示します。 70GHz 帯域で観測した立ち上がり、立下り(10%-90%)は、約 14.2ps、50GHz 帯域で観測した場合には、約 1.2-1.3 倍の 17-18ps になっています。このように、50GHz 帯域で観測した波形は、5 倍高調波が通過しないために、立ち上がり立下りが 70GHz 帯域の結果と比較して遅くなることが観測できます。

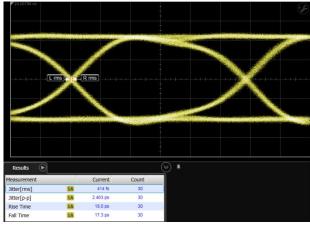


図 3.1.1: 50GHz 帯域 Scope の波形

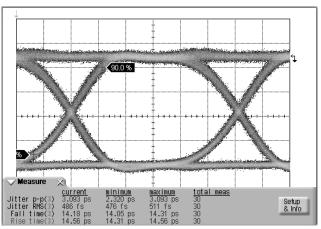


図 3.1.2: 70GHz 帯域 Scope の波形

3.2 Trigger による波形の違い

Sampling Scope を使用して Gbit/s 帯の信号を観測する場合に、注意が必要なもう一つの点は、Trigger の精度です。Sampling Scope では、入力信号と非同期な Trigger 信号を基準に、入力信号を一定の間隔で Sampling し、波形を描画していきます。この波形描画の基準となる Trigger 信号の Jitter が多くなると、描画された波形の Jitter も実際の入力信号より多く観測されます。信号が高速になるほど、1bit の時間が短くなるため、20Gbit/s 帯の高速信号を観測するような場合には、このような測定系に内在する Jitter は無視できない量になります。

以下に 70GHz 帯域の Sampling Scope で 28Gbit/s の信号を、高精度 Trigger を使用した場合と使用しなかった場合の両方で観測した波形を示します。高精度 Trigger を用いた波形では、Jitter 値が 486fs (RMS)であるのに対し、使用しなかった場合は、1.062ps (RMS)に増加していることがわかります。

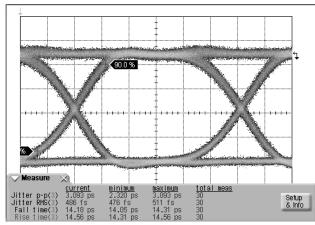


図 3.2.1: 高精度 Trigger 使用時

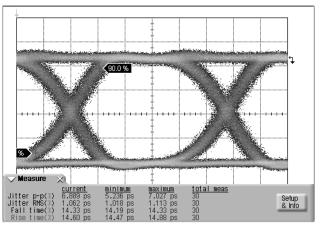


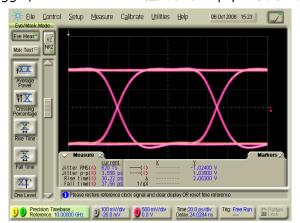
図 3.2.2: 高精度 Trigger 未使用時

このように、同じ波形を入力しても、Scope の Trigger 精度や帯域によって観測できる波形が異なり、信号評価の判断を誤ってしまう危険性があるため、測定対象の特性に合わせた測定ツールの選定が必要です。

4. 周辺デバイスの特性

ここでは、波形品質とその観測に必要なコネクタ, フィルタ, ケーブル等の特性が波形観測に与える影響について記載します。

以下に、波形品質の異なる二つの 10Gbit/s 信号の観測結果を示します。両方とも 50GHz 帯域, 高精度 Trigger, 80cm ケーブルを経由して 2Vp-p の信号を観測したものです。



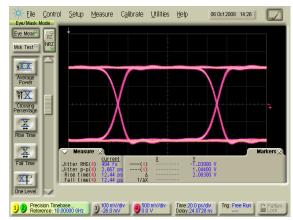
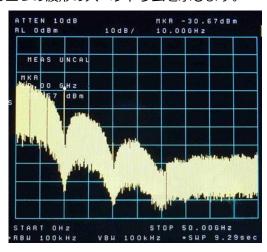
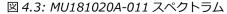


図 4.1: MU181020A-011 波形

図 4.2: MU181020A-012 波形

次に、MU181020A-011 の立ち上がり, 立下りは 28ps 程度、MU181020A-012 は、12.5ps 程度です。これら二つの波形のスペクトラムを示します。





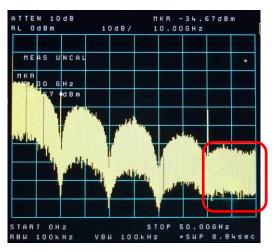


図 4.4: MU181020A-012 スペクトラム

低域でのスペクトラムは両方ともほぼ同一ですが、MU181020A-012の方は、35GHz付近のスペクトラムが増加しています。MU181020A-012の方は、立ち上がり、立下りが速くより矩形波に近い波形であり、7倍高調波がより多く含まれていることを意味しています。

これらを踏まえて、コネクタやフィルタ等を通過させた場合の振る舞いについて記載します。

まず、下記のように入力信号に対し、十分に帯域が延びている SMP-SMA Male / Female アダプタを経由させた場合の振る舞いを示します。



図 4.5: SMA-SMP アダプタ

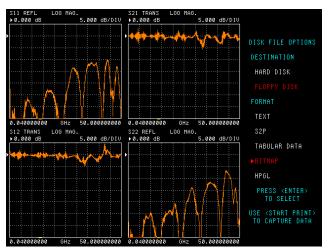


図 4.6: S Parameter

Vector Network Analyzer で取得した S Parameter を記載します。周波数特性 S21 はレベルの変動はありますが、50GHz 付近まで帯域が伸びていることがわかります。

このようなデバイスを通過させた場合、観測波形にはほぼ影響がありません。

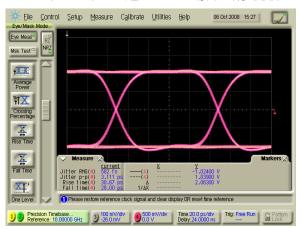


図 4.7: SMP アダプタ通過後 MU181020A-011 波形

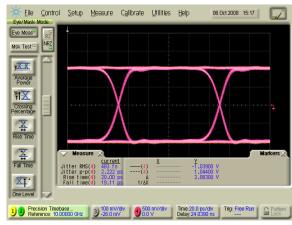


図 4.8: SMP アダプタ通過後 MU181020A-012 波形

次に、BNC-SMA Male / Female アダプタについて記載します。

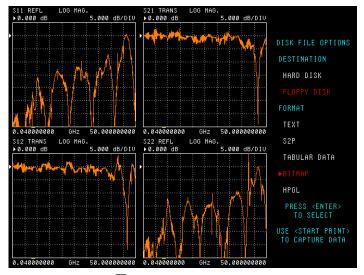




図 4.9: BNC アダプタ

図 4.10: S Parameter

同様に、S Parameter 測定結果をご覧ください。S21 からは、40GHz 付近で損失が大きくなることが、S11 からは、35GHz 以降反射が大きくなることがわかります。

以下に、BNC アダプタの特性が波形に及ぼす影響を示します。

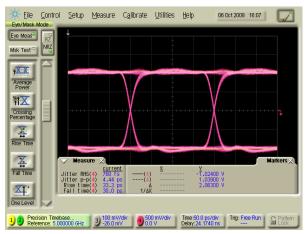


図 4.11 BNC アダプタ通過後 MU181020A-011 波形

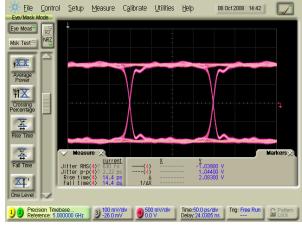


図 4.12 BNC アダプタ通過後 MU181020A-012 波形

両方共、ベースラインに波形の歪が観測されます。これは主に反射によるものと考えられますが、30GHz 以上の成分をより多く含む MU181020A-012 の方がより顕著な影響を受けていることがわかります。伝送路 の特性が信号の特性に対し十分でない場合、このように、立ち上がり,立下りの速い信号を入力すると、むし ろ波形を悪化させる結果を招く場合があります。

このように、入力信号波形は、伝送路の特性に合わせる必要があることがわかります。

さらに次に、立ち上がり、立下りが速い信号を伝送路に合わせて LPF を通過させる場合の例を示します。ここでは、Cut off 6.8GHz の LPF を使用した例で説明します。この LPF で S Parameter を測定した結果を以下に示します。

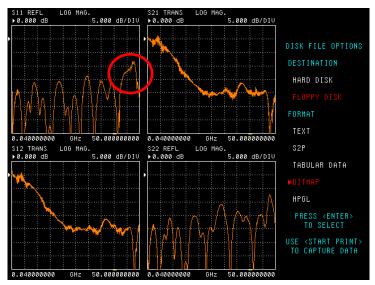
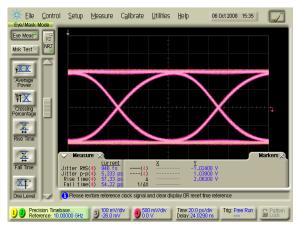


図 4.13: S Parameter

S21 を見ると、6.8GHz 以降 20GHz 付近までは、ほぼ 10dB/decade で減衰していますが、20GHz 以降は、一定の減衰量となっています。また、S11 から 40GHz 以降で反射が増加していることがわかります。この LPF を通過させた波形を以下に示します。



| Sept Meas | Note | No

<u> Eile Control Setup Measure Calibrate Utilities Help</u>

図 4.14: LPF 通過後 MU181020A-011 波形

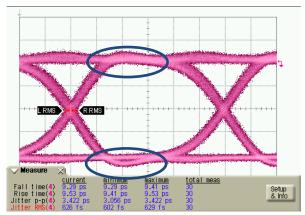
図 4.15: LPF 通過後 MU181020A-012 波形

LPF によって帯域が制限されているため、両波形共 ISI により Jitter が増加していますが、立ち上がり,立下りが速い MU181020A-012 の Jitter の方が多くなっています。

これは、MU181020A-012 の方が ISI の影響を受けやすい高調波成分を多く含んでいますが、この LPF では 20GHz 以上の領域の成分を十分に減衰させきれず、40GHz 付近で反射の影響が出ていることが原因と考えられます。

ここでもやはり、BNC アダプタの場合と同様に、帯域や反射特性が不十分な場合、より多くの高調波成分を含む信号、すなわち立ち上がり、立下りが速い方が影響を受けやすいことがわかります。Gbit/s 帯の信号を正確に測定するためには、測定系に使用するケーブル、アダプタ、フィルタ等も、その特性に十分注意して選定することが重要です。

最後に、32Gbit/s の信号を 27.5GHz 帯域と 40GHz 帯域の 80cm 同軸ケーブルで観測した波形を記載します。27.5GHz 帯域のケーブルを使った観測結果では、波形の下部にアンダーシュートが観測できますが、これは入力信号に対して、ケーブルの帯域が不足しているために発生した歪みと考えられます。



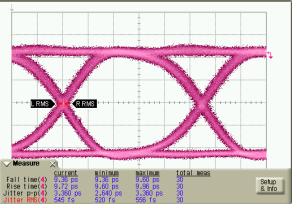


図 4.16 27.5GHz 帯域 Cable

図 4.17 40GHz 帯域 Cable

このように、Gbit/s 帯の高周波信号を正しく測定する場合には、信号源,ケーブル,アダプタ,観測用測定器すべての系が十分対象信号を測定する条件を満たしているか、十分に確認することが必要です。

5. まとめ

ここでは、デジタル信号の構成, Sampling Scope の帯域, Trigger による観測波形の違い, アダプタやフィルタ等測定に使用する周辺デバイスの特性の観測波形に及ぼす影響について述べました。

アンリツは今後も、お客様の製品品質と付加価値を高めるために、より良い測定方法を提案していきます。



■計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。

受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く)

お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。 記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

1602

アンリツ株式会社

計測サポートセンター

再生紙を使用しています。

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)

http://www.anritsu.com 本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111 ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。 厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5 TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239 計測器営業本部 計測器営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248 仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 住友生命仙台中央ビル 計測器営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529 名古屋〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485 計測器営業本部 大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル 計測器営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118 福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア 計測器営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699 ■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。 計測器営業本部 営業推進部 TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX: 046-296-1248 受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く) E-mail: SJPost@zy.anritsu.co.jp

E-mail: MDVPOST@anritsu.com ■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。 また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。

> 公知 2017-7 MG No. MP1800A/MP2100A-J-E-1-(1.01)