

# Agilent Technologies 広帯域信号の差動測定

## アプリケーション・ノート 1221-J



### 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

## はじめに

このアプリケーション・ノートでは、差動ECLのような高速差動信号の差動波形測定を行う最も高確度な方法について説明します。例として **Agilent Technologies 54720A** オシロスコープと **54701A** アクティブ・プローブをとりあげていますが、一般的な原理は他のさまざまなディжитाइジング・オシロスコープとプローブにもあてはまるものです。ただし、第一の要件として、測定者はオシロスコープ・チャンネルのスキュー補正ができる人でなければなりません。また信号を正確に再現するだけの帯域幅をもつプローブとオシロスコープを使うことが決定的に重要な条件です。14 ページの「帯域幅と確度」の項を参照してください。

高速ECL回路の多くは差動ECLの原理を採用しています。オシロスコープでこれらの差動ECL信号を測定する場合、有効な結果が得られるように差動測定を行わなければなりません。一方のサイドで信号を測定した結果だけに頼って他方のサイドの信号はその鏡像のようになっていると想定することは危険です。コモン・モード信号が存在するような場合、または2つの信号が時間的に調整されていない場合、このような想定が問題の原因を覆い隠すことになりかねません。図1を参照してください。

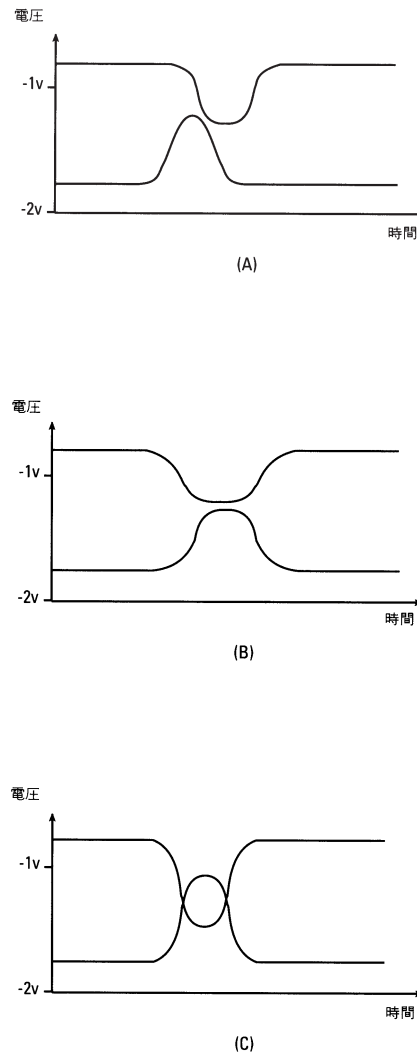


図1 差動ECLのゲートまたはフリップフロップの入力(a)または(b)のような波形を印加しても、出力のステートは変わりません。一方、(c)のような波形を印加するとゲート出力のステートが変わることがあります。

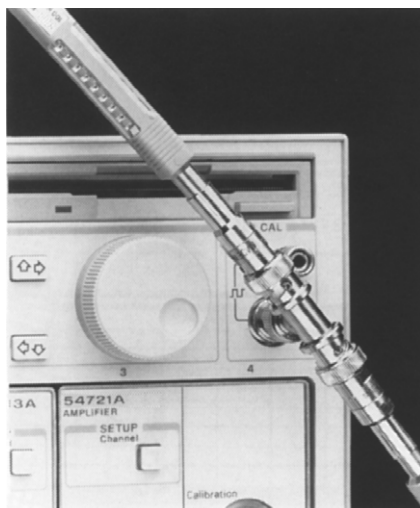
## 手順

### プローブの校正とスキュー補正 プローブとチャンネル・ゲインの校正

1. 54701A プローブを 54720A 2チャンネル・オシロスコープに接続する。  
〔2つのプラグインは同じモデル番号でなければなりません。〕
2. 54720A のユーザーズ・ガイドを参考にしながら各プローブ・チップの正確な校正を行う。  
〔校正時は、ECL 測定に対しては垂直スケール (Channel メニューにあります) を 200mV/div に設定してください。それ以外の信号の場合には、垂直軸は実際の測定に使用する設定にしてください。〕

### プローブおよびチャンネルの スキュー補正

1. 54701A プローブ 2 本を次のようにして 54720A 校正出力に接続する。
  - A. BNCT 字型アダプタ (部品番号 1250-0781) を校正出力に接続する。
  - B. プローブ・チップー BNC アダプタ (10218A) を BNCT 字型アダプタの各メス型ポートに接続する。
  - C. 54701A プローブの先端をこれらのアダプタに挿入する。
2. Acquisition メニューで Averaging を ON にしてアベレーシング回数を 16 に設定します。



3. 両チャンネルをオンにします。  
〔これで 2 チャンネルのいずれか一方のスキューを調整することができます。いずれか一方のチャンネルをトリガ・ソースとして使用するときは、もう一方のチャンネルのスキューを調節しておく必要があります。〕
4. Utility ハードキーを押す。
5. Calibrate ソフトキーを押す。
6. Output ソフトキーを押す。
7. 500kHz 出力を選択する。
8. タイム・ベース・スケールを 500ps/div に設定する。
9. 各チャンネルの垂直スケールを 500mV/div に設定するか。
10. 各チャンネルの垂直オフセットを 1V に設定する。

11. チャンネルの 1 つをトリガ・ソースとして選択する。エッジ・トリガ・モードを選択する。画面が安定した、トリガ表示 (約 1V dc) になるようにトリガ・レベルを調節する。
12. 必要があれば一方のチャンネルの垂直オフセットをわずかにだけ調節し、2 つのトレースが垂直方向に揃うようにする。
13. 手順 11 でトリガ・ソースに選択しなかった方のチャンネルに対応するプラグインの Channel キーを押す。
14. Calibrate ソフトキーを押す。
15. Skew ソフトキーを押す。
16. ノブを調節して、2 つのトレースが信号の立ち上がり部分でできるだけ重なるようにする。

信号が重なると表示の色が 3 番目の色に変わるのでご注意ください。これは正確なオーバーラップがひとめでわかる簡単なインジケータです。図 3 を参照してください。

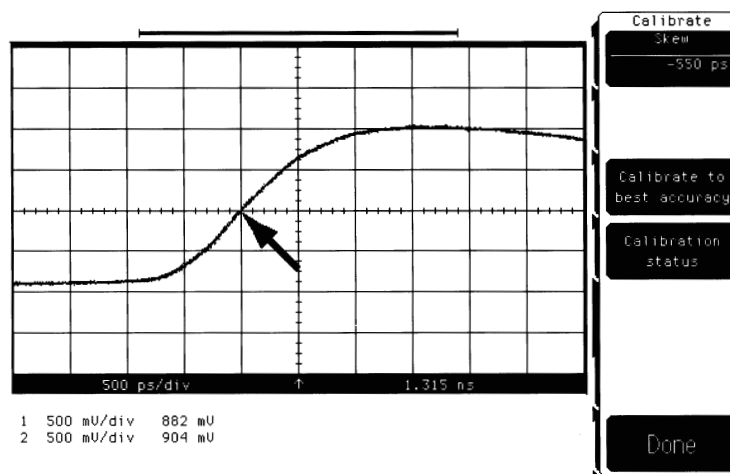


図 3 2 つの信号が最大 dV/dt (立ち上がり部分、矢印参照) で重なるようにスキューを調整する。

## CMRR (同相除去比) が最良になるようにプローブ・ゲインを一致させる

1. 両方のプローブを実際に測定しようとする差動信号の1つだけに接続する。

プローブを両方ともキャリブレータの出力に接触したまま（前項のように）以下の手順を実行し、それからその手順を測定対象の信号に対して繰り返すこともできます。

2. 両チャンネルのスケールとオフセットを、同じように設定し、かつ信号が画面に表示されるように設定する。
3. 2つの信号がうまく重ならない時には、一方のチャンネルのオフセットをわずかに調節する。
4. 一方のチャンネルの Channel メニューを選択する。
5. Probe ソフトキーを押す。
6. Probe Atten ソフトキーを押す。

7. 2つの信号ができるだけ重なるプローブ減衰比を調節する。

プローブ減衰比を少しずつ変化させていくには、キーパッドと Enter ハードキーを使わなければなりません。スロープがゼロまたは最小になる2つの信号領域（すなわち信号が正の最大レベルにある領域と、信号が負の最大レベルにある領域）が見えるように、タイム・ベース・スケールを設定します。信号が急激に変化する領域は無視して、この2つのレベルでゲインを一致させることだけに集中します。図4を参照してください。

信号が重なるとその部分は、3番目の色に切り換わります。

8. 54720A で Math メニューを選択する。
9. Define ファンクション・ソフトキーを押す。

10. 演算子として “subtract” を選択する。

11. 2つのチャンネルをオペランドとして指定する。

12. Done ソフトキーを押す。

13. ファンクション表示をオンにする。

オシロスコープの画面に差信号が表示されるはずですが。信号が画面に出るようにファンクションの Offset を調節する必要があるかもしれません。その場合は演算メニューでファンクション・スケーリング・ソフトキーを押し、手動垂直スケーリングを選択します。

14. ファンクションの Scale factor（同じメニューに入っている）を調節して2つのチャンネルのスケール・ファクタが1/10になるようにする。

15. 前にプローブ減衰比を微調整した場合と同じチャンネル・メニューを選択する。

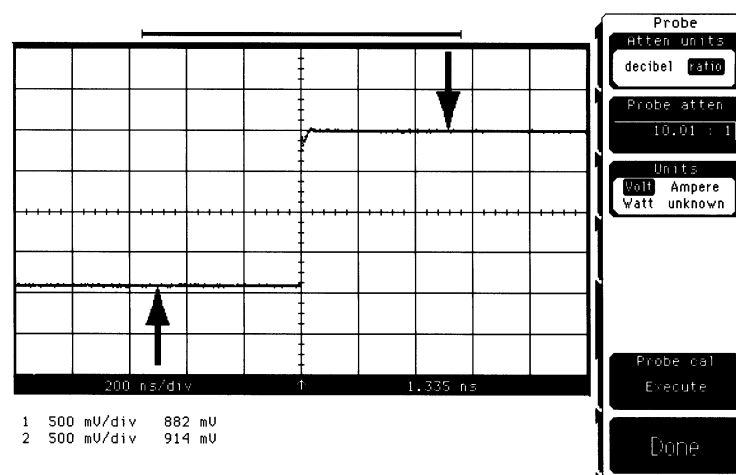


図4 プローブ減衰比を調節し、dV/dt が最小になる領域（信号の平滑なところ→矢印部分参照）で2つの信号が重なるようにする。

16. プローブ減衰比を再度調節し、ファンクション表示の偏向が最小になるようにする。信号が急激に変化する領域は無視し、平滑な部分(信号の微分係数がゼロになる領域)に集中する。

ヒント：マニュアル・マーカをオンにすると、偏差が最小になるように目でチェックできるので便利です。図5を参照してください。

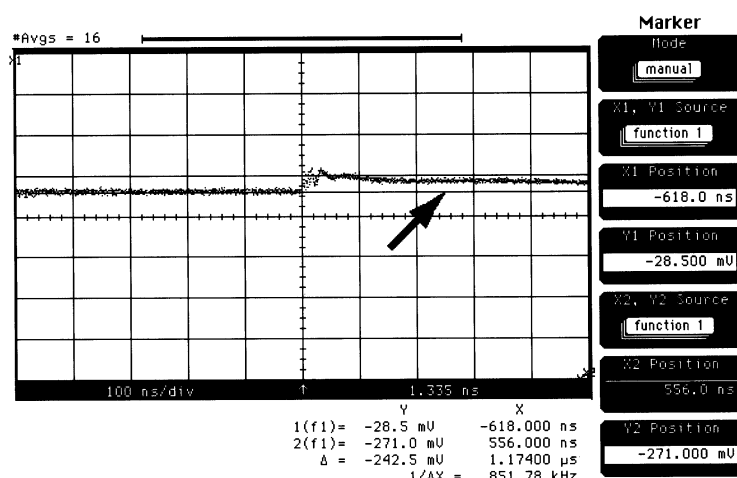


図5 電圧マーカ(矢印)を使用すると、眼で見ながらゲインを一致させることができる。この場合、垂直方向の偏向が最小になるようにプローブ減衰比を調節する。

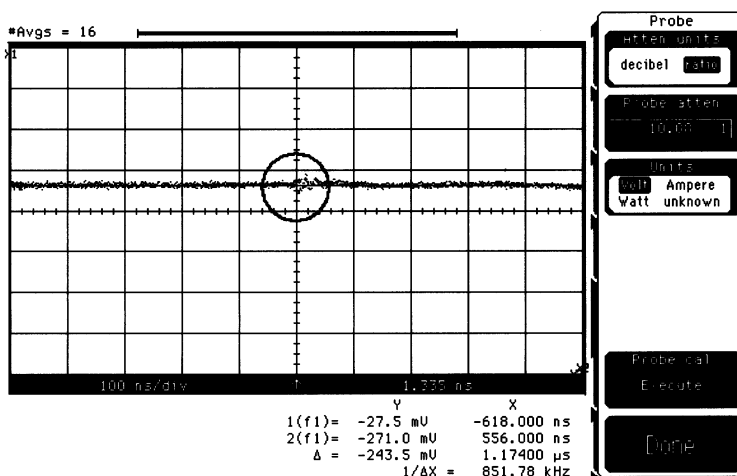


図6 プローブ減衰比が調節されて差信号が最小まで減少した。この場合、急激に変化する部分(円部分)は無視されている。

## 測定の実施 プローブの接続

1. 図7のように、2本の54701A プローブを差動信号の2つのサイドに接続する。

信号が伝搬するには時間がかかります。その伝搬速度は、真空中の光の速度を絶縁体の比誘電率の平方根で割った値になります。FR4エポキシガラス製のPCボードの場合、およそ75ps/cmの遅延が生じます。したがって、プローブ・チップを置く位置には注意しなければなりません。図8を参照してください。

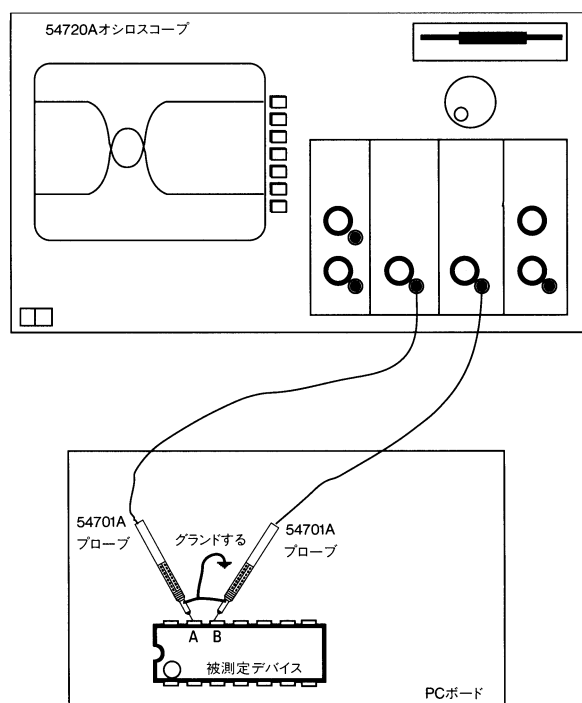


図7 ポイントA、Bは差動ECL信号の出力(Q)および反転出力(Q)である。

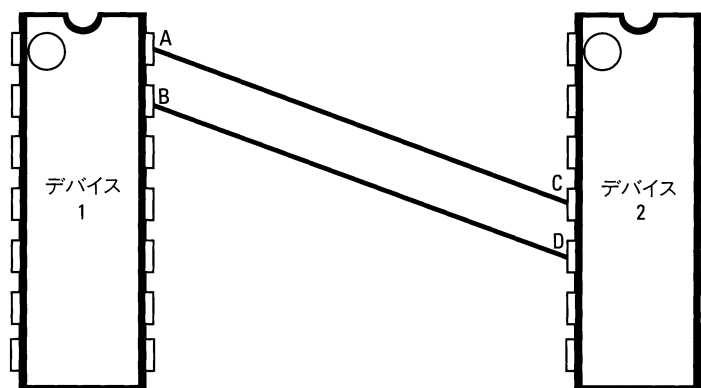


図8A 差動ECL信号がデバイス1の出力ポイントA、Bからデバイス2の入力ポイントC、Dまで伝搬する場合。ポイントAとポイントCの間には時間的遅延が生じます。ポイントBとポイントDの間も同じです。したがって、デバイス1の出力信号を観測する場合はプローブをポイントAとBに接続し、デバイス2の入力信号を観察する場合は、プローブをポイントCとDに接続しなければなりません。

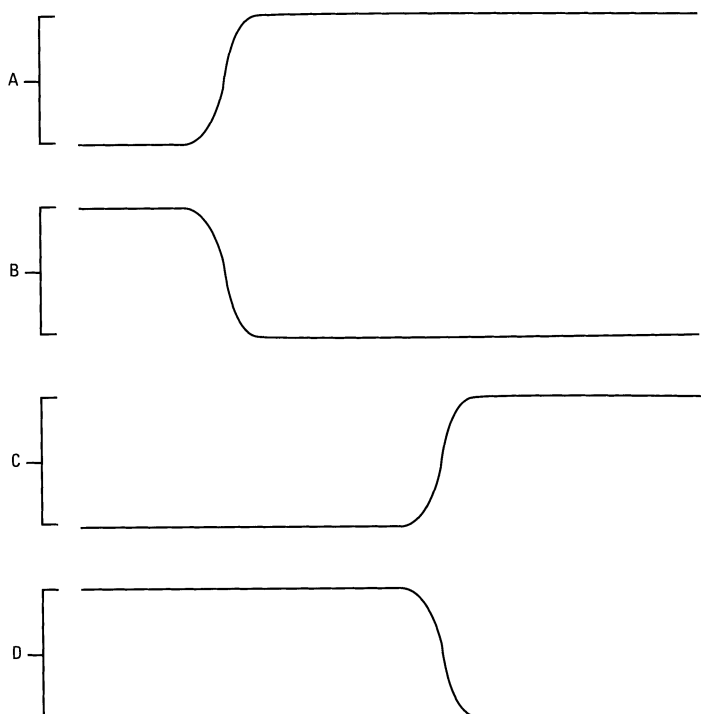


図8B 図8AのポイントA、B、C、Dにおける波形

2. 2つのプローブのグラウンドをできるだけ短いリード線で接続する。被測定デバイスに1か所だけでグラウンド接続する。図9を参照してください。

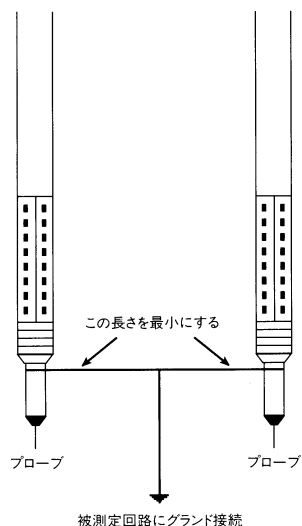


図9 2つのプローブのグラウンドを接続する。これを被測定回路の1ポイントでグラウンド接続する。すべてのグラウンド接続、特に2つのプローブのグラウンド間の接続はできるだけ短くしておく。

1つの方法としてプローブ・グラウンディング・リード線（部品番号01123-61302、54701Aプローブに付属）2本とワニ口クリップ付きリード線1本を使う方法があります。この方法ではワニ口クリップ・リード線をかなり短くカットします。カットした端部を絶縁体をはがします。プローブ・グラウンディング・リード線の両方のワニ口クリップを、ワニ口クリップ・リード線のむき出した一端に取り付けます。プローブのクリップ・リード線他端をプローブのグラウンド・スリーブに取り付けます。ワニ口クリップ・リード線を都合のよいポイントでグラウンド接続します。図10を参照してください。

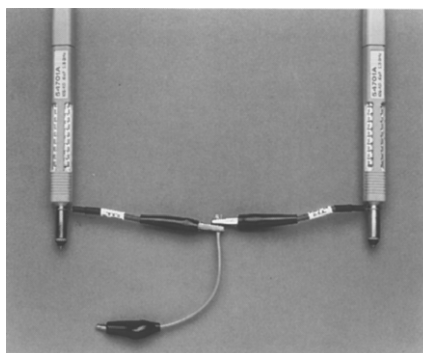


図10 推奨のグラウンド・リード線構成方法と取り付け部品

## オシロスコープを設定して2つのチャンネルを減算する

1. 信号ができるだけ大きくしかも端が切れないように、各チャンネルの垂直スケールとオフセットを設定する。

各チャンネルのスケールは同じでなければなりません。最良の確度を得るためには、測定時のスケールとオフセットの設定を同じにして、コモン・モード・ノイズ除去比が最良になるようにチャンネル・ゲインを一致させます。4ページの「CMRRが最良になるようにプローブ・ゲインを一致させる」の項を参照してください。

2. 54720AのMathハードキーを押す。
3. Define ファンクション・ソフトキーを押す。
4. 演算子として、"subtract"を選択する。
5. 2つのチャンネルをオペランドとして指定する。
6. Done ソフトキーを押す。
7. ファンクション表示をオンにする。

画面に差信号が表示されます。希望により各チャンネルの表示をオフにして画面のクラッタを減らすこともできます。

多ノイズまたは多値信号の  
差動測定

信号にノイズがあるときにそのノイズを測定する場合、または当該の信号がアイ・ダイヤグラムのようにあるトリガと次のトリガで違った値をとると思われる信号である場合は、リアルタイム・サンプリング法を利用するとよいでしょう。54720A でリアルタイム・サンプリングを選択するには、Acquisitionメニューを使います。

等価時間モードでは、1つのトリガから次のトリガまで信号が変化しない場合を除き、チャンネルをスキュー補正してからサンプルの減算を行うと結果は無効になります。というのは、オシロスコープが所定のタイム・バケット内で減算を行う2つのサンプルが異なるトリガ・イベントで捕捉されている可能性があるからです。この場合は、相互間での減算が無効となります。リアルタイム・サンプリング・モードではすべてのサンプルが同じトリガで捕捉されます。このため、同じタイム・バケットにあるサンプルは、同じ瞬間に補足されたものであることから、スキュー補正後の減算が有効になります。

信号がすべてのトリガ発生について同じ状態であれば、等価時間サンプリング・モードでチャンネルをスキュー補正してから減算を行っても有効です。

54120のように等価時間サンプリング・モードしか用意されていないオシロスコープをご使用の場合は、この一般的方式を使って差動測定が行えます。ただし信号が多値の場合は実際のケーブルまたはプローブの遅延を一致させなければなりません。そのためには以下の手順に従います。

ハードウェアのスキュー補正

- 1. チャンネルのスキューをすべてゼロに設定する。
- 2. 短い同軸ケーブルを一方のプローブに直列に挿入して一定量の遅延を加える。

必要な帯域幅に適合したケーブルを選ぶように注意を払ってください。54006A 6GHz抵抗ディバイダ・プローブを使用の場合は、定格が少なくとも10GHzまでのケーブルを使うことをお勧めします。54701A アクティブ・プローブを使用の場合は、ケーブルは動作時定格が少なくとも3GHzまでのものにするのが賢明です。

- 3. 可変の同軸ディレイ・ラインをもう一方のプローブと直列に挿入する。可変ディレイ・ラインの調節レンジを適切なレンジにするために、この可変ディレイ・ラインと直列に前より短い同軸ケーブルを挿入する必要があるかもしれません。

可変ディレイ・ライン（移相器とも呼ばれている）を提供しているメーカーを表1に挙げておきます。

表1 可変ディレイ・ライン提供メーカー名

社名	モデル番号
ARRA 18Harold Court Bay Shors, NY 11706 516-231-8400	6428E
Microlab/FXR 10 Micralab Rosd Livingston NU 07039 201-992-7700	ST シリーズ SR シリーズ
Sage Laborstataries 11 Huroa Drive Natick MA01780-1314 508-663-0844	8708-2

- 4. 2つのプローブを同じソースに接続する。8131A パルス・ジェネレータのように立ち上がり時間の速いステップが必要である。
- 5. 可変ディレイ・ラインを調節し、画面で2つのチャンネルの立ち上がりエッジができるだけ重なるようにする。
- 6. 2つのチャンネルの減算のために波形演算機能を使用し、前記の手順を進める。



## 測定事例

図11、12は代表的な差動ECL信号測定を示したものです。図11は54720Aに表示した2つの信号を示し、図12は54720Aの減算機能を使った場合の2つのサイド間の差を示しています。

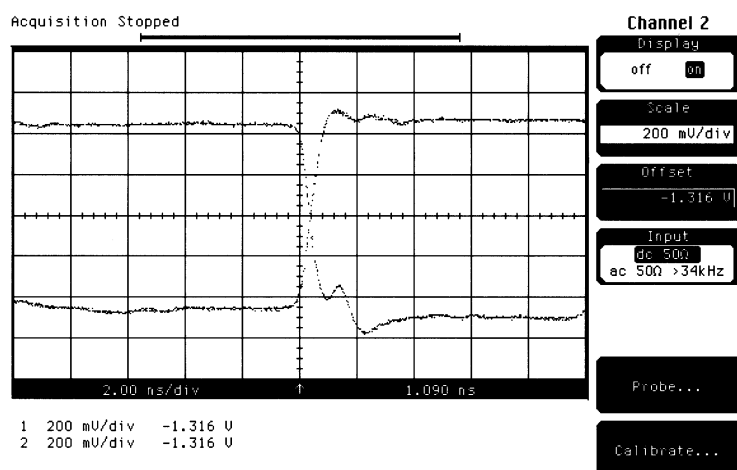


図 11 差動 ECL 出力の 2 つのサイドの信号

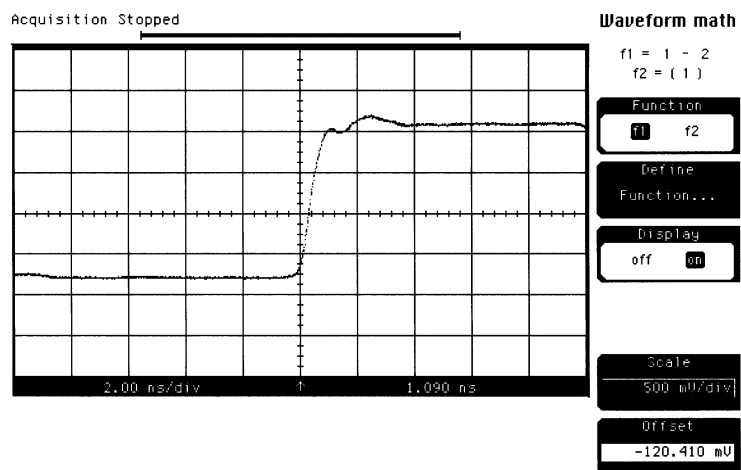


図 12 図 11 に表示された信号を減算し差動モード信号を表示したところ

## その他注意すべきこと

### 入力感度／オフセット

このアプリケーション・ノートで紹介した方法で、差動信号を測定する場合、それぞれのチャンネルの入力感度／オフセットは、そのチャンネルの信号全体が画面に表示されるように、設定しなければなりません。それは、A/D変換後にファームウェアで減算が実行されるからです。どちらかのチャンネルで信号がA/Dコンバータの入力ダイナミック・レンジを越えると、減算が無効になります。

### コモン・モード・ノイズ除去比に対する制約

この方法の場合、コモン・モード・ノイズ除去比例はA/Dコンバータの分解能によって制限されます。したがって、できるだけ高い分解能を得るには、表示される2つの信号が表示域を超えない範囲で最大限大きくなるように、2つのチャンネルのスケール・ファクタを設定するのが賢明です。54713A プラグインはハードウェア・ゲインが連続可変になっているので、どんな振幅の信号でも54720AにおけるA/Dコンバータのダイナミック・レンジに適合するようにスケール設定が可能です。注記：2つのチャンネルの入力感度は同じにしなければなりません。

### 1MΩや10MΩのプロローブは使えるか

高周波測定の場合、1MΩまたは10MΩの分圧プロローブを使用することはお勧めできません。これらのプロローブを使用した場合、すべての周波数でのゲインについて不確実な要素が多すぎるからです。2つのプロローブのフラットネスに少しでもミスマッチがあれば、周波数の関数としてのコモン・モード・ノイズ除去比が低下する結果になります。ふつうの帯域幅条件で差動測定を行う場合は、1MΩや10MΩのプロローブを2本使うよりも1141Aのような差動プロローブを使ったほうが、ずっと良好な結果が得られます。

### 差動トリガは不可能

この方法を使用する場合、オシロスコープでは2チャンネルの一方にしかトリガがかかりません。したがって、オシロスコープでは実際の差信号をトリガすることはできません。しかし差動ECLなどの信号のように、コモン・モード信号が差動信号に比べて小さい場合には、総じてこのことは問題になりません。

### 2プロローブ法と差動プロローブ法との比較

差動プロローブ、たとえば1141Aは100または200MHzまでの信号の差動測定に使用できます。1141A差動プロローブ法を2プロローブ法と比べた場合、次のような利点があります。

- ・コモン・モードのダイナミック・レンジがより広い
- ・コモン・モード・ノイズ除去の対象範囲がdc～約50MHzとより広い
- ・2つのプロローブのスキュー補正やゲインのマッチングが不要
- ・被測定回路への抵抗性負荷の低減
- ・測定感度がより高い——プロローブのゲインが1
- ・オシロスコープで差動信号にトリガをかけられる

このアプリケーション・ノートで説明した2プロローブ法は、差動プロローブ法と比べて次のような利点があります。

- ・帯域幅がより高い
- ・高周波域でコモン・モード・ノイズ除去比がより高い
- ・被測定回路への容量性負荷の低減

### 帯域幅と確度

オシロスコープとプロローブが測定信号に対して十分に広い帯域を持っていないければ、測定誤差が大きくなります。次のような簡単なルールを覚えておいてください。

1. 下記の方程式が示すように、帯域幅と立ち上がり時間は反比例する。

$$\text{帯域幅} = \frac{0.35}{\text{立ち上がり時間}}$$

$$\text{立ち上がり時間} = \frac{0.35}{\text{帯域幅}}$$

2. オシロスコープとプロローブの立ち上がり時間の間には、下記の方程式のような関係がある。

$$(\text{システムの立ち上がり時間})^2 = (\text{プロローブの立ち上がり時間})^2 + (\text{オシロスコープの立ち上がり時間})^2$$

3. 測定した立ち上がり時間は、実際の立ち上がり時間およびオシロスコープとプロローブを組み合わせた立ち上がり時間に対して次のような関係にある。

$$(\text{測定した立ち上がり時間})^2 = (\text{実際の立ち上がり時間})^2 + (\text{システムの立ち上がり時間})^2$$

4. ルール(3)で近似値に基づき、立ち上がり時間またはパルスの測定確度と、実際の信号の立ち上がり時間(またはパルス幅)対システムの立ち上がり時間の比との間に、下表のような関係がある。

表2 システムの立ち上がり時間の関数としての測定誤差

[実際の立ち上がり時間またはパルス幅] [システム立ち上がり時間]	立ち上がり時間またはパルス幅の測定における誤差
3	5%
4	3%
5	2%
6	1.4%
7	1%

5. 立ち上がり時間またはパルス幅の測定確度が3%より低い場合について、必要帯域幅および54701Aプローブ、54720Aオシロスコープと併用する推奨プラグインを次の表に示します。

**表3 所定の立ち上がり時間および帯域幅に対応する推奨プラグイン・モジュール**

信号の立ち上がり時間	必要帯域幅	54701A プローブ、54720A オシロスコープと併用する場合の推奨プラグイン
800ps	1.3GHz	54711A*
1ns	1GHz	54721A or 54721A*
2ns	500MHz	54713A

\* リアルタイム・サンプリングには推奨できない。エリアジングを防ぐため等価時間サンプリングを使うこと。

立ち上がり時間を速くするには、54121Tオシロスコープと54006A抵抗ディバイダ・プローブか、54701Aアクティブ・プローブのどちらかを併用することで達成できます。以下の表は、この組み合わせで測定した場合に5%以内の確度が得られるシステム帯域幅と最小立ち上がり時間の対応を示したものです。

**表4 所定の帯域幅、立ち上がり時間に対応する使用プローブ**

54121Tと併用するプローブ	システム帯域幅	推奨の最小立ち上がり時間
54701A	2.5GHz	400ps
54006A	6GHz	170ps

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時間受け付け

**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。  
ご注文の際はご確認ください。



**Agilent Technologies**

Innovating the HP Way

1A447  
070000003-H