# 広帯域アクティブ・プローブのユーザビリティと性能の向上

Application Note 1419-02

目次


はじめに . . . . . 1
従来のアクティブ・プローブ. . . . . 2
幻の「仕様帯域幅」の実現 . . . . . 2
悪い応答をさらに悪くする方法 . . . . . 4
従来のプローブの改良版 . . . . . 5
あらゆる使用に最適化されたプローブ. . . . . 5
シングルエンド信号のブラウズ . . . . . 6
差動／シングルエンド信号のブラウズ. . . . . 7
ハンズフリーのソケット接続による差動／シングルエンド信号の測定 . . . . . 8
ハンズフリーのはんだ付け接続による差動／シングルエンド信号の測定 . . . . . 8
ハンズフリーのはんだ付け接続を使ったシングルエンド信号の測定 . . . . . 9
まとめ. . . . . 9
用語集 . . . . . 10
関連カタログ . . . . . 11


## はじめに

広帯域アクティブ・プローブをお使いの方なら、回路内の測定しにくいノードにプローブをつなぐために、いろいろ工夫した経験をお持ちのはずです。狭いプローブ・ポイントに届くようにプローブの入力に比較的短いワイヤを接続し、はんだ付けした方もおられるかもしれません。針のような長いピンをプローブの信号入力に使用することで、プローブの先端を見やすくし、目的のノードに接触させやすくした方もおられるかもしれません。あるいは、ボード上の適当な位置に専用のヘッダ・ピンを設けて、それにプローブを接続した方もおられるかもしれません。

このような工夫は、開発段階で多く見られます。開発エンジニアは目的を達成するために手段を選ばない傾向があるからです。しかし、このような方法でプローブのユーザビリティを改善すると、電気的性能が犠牲になることがあります。

このアプリケーション・ノートでは、広帯域アクティブ・プローブのアーキテクチャに関する3つの異なるアプローチを調べます。最初に、従来のプローブ・アーキテクチャの性能とユーザビリティに関する問題について説明します。次に、これらの問題の一部を解決するための従来のアーキテクチャに対する改良について説明します。最後に、従来のアーキテクチャのプローブに見られる問題をほぼ完全に解決した革新的なプローブ・アーキテクチャについて詳細に説明します。

この文書では、広帯域アクティブ・プローブのユーザの基本的な電気的要件が以下の3つであると仮定します。

1. 回路に対するプローブの負荷がすべての周波数でできるだけ小さいこと。
2. プローブ中の信号をできるだけ正確に再現できること。負荷の影響がオシロスコープ画面に正確に再現されれば、負荷を評価して問題があるかどうかを判断できます。
3. 信号を最高の性能で再現できること。

Agilent Technologies

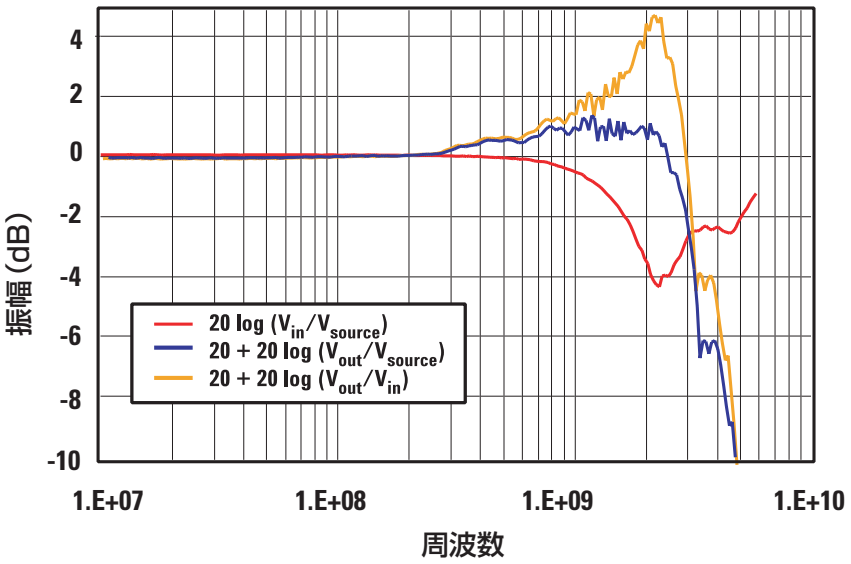


図1. 従来の形状の4 GHzプローブ。信号ソケットにピン、グランドにポゴ・ピンを挿入。2.25 GHzで$V_{out}/V_{in}$に+4 dB以上のピーク、$V_{in}$に4 dBの減衰が見られます。

## 従来のアクティブ・プローブ

従来のオシロスコープ・プローブは、「ブラウザ」としてデザインされています。これらのデバイスは、トラブルシューティングやデバッグの際に、手で保持していろいろな場所に移動することを前提に最適化されています。

シングルエンド・プローブの場合、ブラウザには通常2つのソケットがあります。1つは信号用アクセサリ、もう1つはグランド用アクセサリを挿入するためです。これらのソケットには2つの目的があります。1つは、消耗したアクセサリを交換できるようにすることです。もう1つは、ブラウザ以外の目的でプローブが用いられる場合があることをメーカが認識しているからです。ソケットを使えば、ソケット・プロービングやはんだ付けプロービングといったハンズフリーの使用も可能になります。

残念ながら、市場に出回っているブラウザは、必ずしも理想的とは言えません。プローブの入力の寄生成分を最小化するために、プローブはできる限り小さくデザインされていて、広帯域の伝送応答を実現しています。従来のアクティブ・プローブのデザインでは、プローブの手で保持する部分の中にアクティブ電子回路があります。この回路は非常に小さいですが、50 mm×6 mm×13 mm程度の大きさがあるので、狭いスペースに入り込むには大きすぎ、何時間ものプロービングを快適に行うには小さすぎます。

## 幻の「仕様帯域幅」の実現

広帯域のシングルエンド・アクティブ・プローブを実現するために、メーカは2つの方法を採用してきました。1つは、信号およびグランドをソケットでプローブと一体化する方法です。この場合の問題は、これらのソケットとそれに挿入されるアクセサリに起因する寄生インダクタンスおよびキャパシタンスのために、入力インピーダンスの共振が生じることです。後で説明する共振を防ぐための適切なデザイン手法をメーカが採用しない限り、ソケット付きのプローブはどこかの周波数で必ず信号に大きな負荷を与えます（図1参照）。

従来のソケット付きプローブの場合、共振周波数をプローブの仕様帯域幅の外に追い出すために、通常メーカが提供する信号およびグランド・ソケット用のアクセサリの長さは短く（インダクタンスが小さく）なっています。

しかし、市販されている2.5～4 GHzのソケット付きプローブの場合、ユーザビリティを確保するために十分な長さのアクセサリを使いながら、共振を帯域外に追い出すことは不可能になりつつあります。使用可能な程度の長さのアクセサリをソケットに挿入すると、共振が帯域内に入ることが避けられないのです。アクセサリを挿入しないソケットでさえ、かなりの帯域内共振を生じる可能性があります。信号ソケットにピン、グランド・ソケットにポゴ・ピンを挿入すると、図1のように帯域内の忠実度にさらに大きい問題が生じます。

このような電気的な動作が理由で、プローブの帯域幅は、しばしば共振周波数を最大化するための特殊なフィクスチャを使って仕様化されています。ソケット付きプローブの仕様帯域幅（20 log（$V_{OUT}/V_{IN}$）がDCの値に対して−3 dBになる周波数で定義）の実現は、日常的に利用可能な構成では通常不可能です（このカタログのプロットは、Agilent 8720ES 50 MHz～20 GHzベクトル・ネットワーク・アナライザを使って作成されています。$V_{SOURCE}$（Vs）は50 MHzから20 GHzまで0 dB（1 V）で、プロットには示されていません。$V_{IN}$はプローブ中の信号のプロットで、信号に対するプローブ負荷の影響を示します。$V_{OUT}$はプローブの出力での信号です。$V_{OUT}/V_{IN}$がプローブの伝達関数です）。

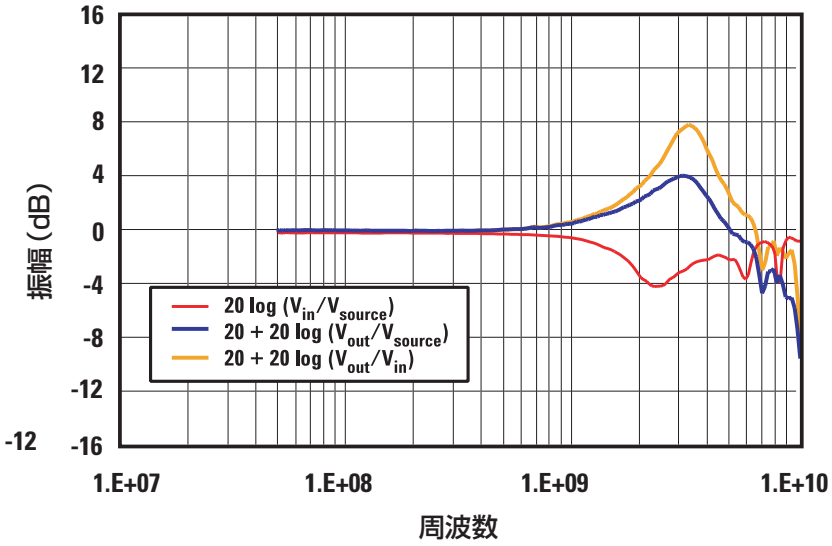


図2. ソケット・アクセサリ付きの6 GHzのブラウザ・プローブ。3.3 GHzに+8 dBのピークが見られます。

従来のプローブでメーカが採用しているもう1つのアプローチは、ソケットの代わりに一体化された固定ピンを使用するものです。これにより信号のインダクタンスが小さくなり、ダンピング抵抗をこの短い信号ピンの直後に配置することができます。この方法では、プローブの仕様帯域幅で測定を実際に行うことが可能です。この場合の問題は、目的のプローブ・ポイントまでの距離が常に一定と仮定していることです。この方法では信号とグランドの距離を変えられないのです。この制限のために、プローブのユーザビリティは大幅に低下します。あるメーカでは、可変ピッチを実現するために、入力信号ピンの末端にソケットを付加するアクセサリを用意しています。このソケットに別のアクセサリを挿入することで、可変のスパンを実現できます。しかし、プローブとプローブ・ポイントとの間にこのように金属線を追加することで共振が悪化し、伝送応答に8 dBものピークが生じます（図2参照）。

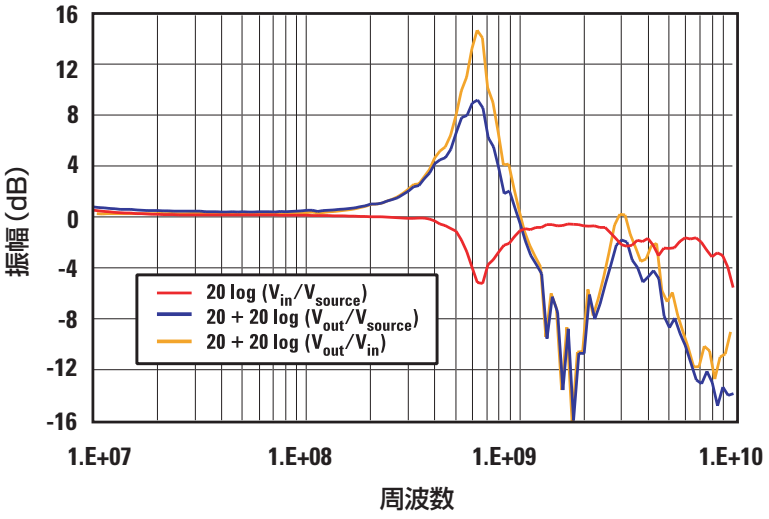


図3. ソケット・アクセサリとワイヤ・アクセサリ付きの6 GHzのブラウザ・プローブ。800 MHzに＋14 dBのピークが見られます。

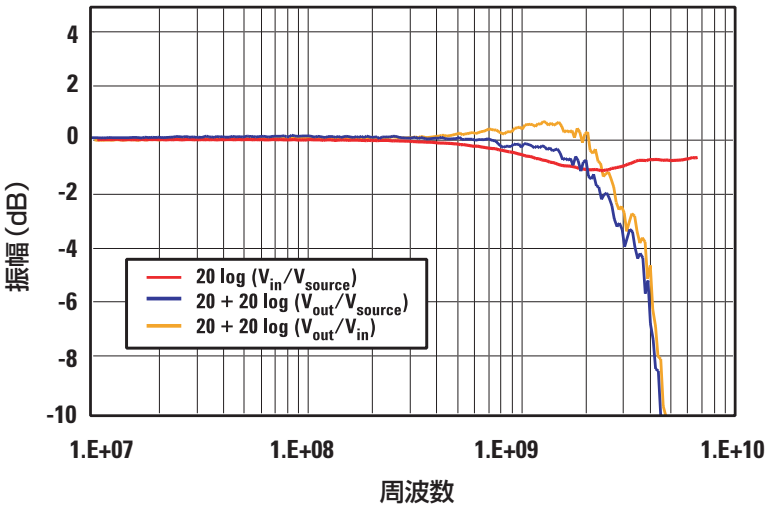


図4. 信号ソケット内のダンピング抵抗とグランド・ポゴ・アクセサリ付きのAgilent 1158A 4 GHzプローブ

### 悪い応答をさらに悪くする方法

測定しにくいプローブ・ポイントにワイヤや長くて細い針のようなアクセサリを付けるとします。これは、入力と直列にインダクタンスを追加することと同じです。前述の共振は、入力の直列インダクタンスが大きくなるほど低い周波数に現れます。したがって、このようなアクセサリを使うと、目的の周波数スペクトラム内に低インピーダンス共振を持ってくる結果になることがあります。

この問題を防ぐための適切なデザイン上の対策をメーカが講じていない限り、このようなアクセサリを使えば、帯域内共振のために測定結果が不正確になることは避けられません。比較的高速な信号をプローブするために51 mmのワイヤを使った場合の結果を図3に示します。

このような方法は広く用いられてきましたが、信号が十分正確であることを祈るしかありません。実際にはそうでない場合が多いのです。

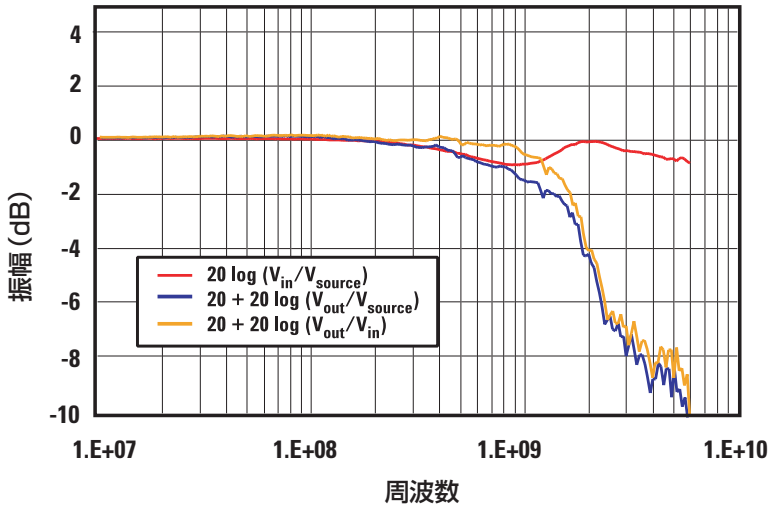


図5. 適切にダンピングされたワイヤを使用したAgilent 1158Aプローブ

## 従来のプローブの改良版

すでに述べたように、従来のシングルエンド・アクティブ・プローブとアクセサリの組合わせでは、メーカが適切な処置をして防止しない限り、帯域内共振が生じます。

Agilent Teachnologiesの1150シリーズ・シングルエンド・プローブには、このような適切な方法が採用されています。1150シリーズ用のアクセサリには、プローブ・チップの近くにダンピング抵抗が配置されているので、プローブ・ポイントでの最小インピーダンスがダンピング抵抗の値より小さくなることはありません。図4に示すように、プローブ対象の信号はプローブを接続してもわずかしか変化しません。しかも、プローブの出力信号はプローブ中の対象信号を正確に再現しています。

特に測定が難しいプローブ・ポイントに接続するために長いワイヤが必要な場合、あるいは測定中にプローブを手で保持できない場合のために、Agilentではダンピングしたワイヤ・アクセサリを用意しています。これらのアクセサリを使った場合、図5に示すように、プローブ対象の信号はほとんど変化せず、$V_{OUT}$は入力信号をローパス・フィルタに通したものを正確に再現します。この方法では帯域幅の大幅な減少は避けられませんが、忠実度は保たれます。ブラウジングに最適化された製品で実現できる結果としては、これが最善です。

## あらゆる使用に最適化されたプローブ

Agilentの1134A InfiniiMaxアクティブ・プロービング・システムの登場によって、アクティブ・プローブのアーキテクチャに革命が起きました。InfiniiMaxシステムは54850シリーズ・オシロスコープと組み合わせて用いられ、前述の電気的制限の多くを克服しています。

Agilentは、プローブのあらゆる使用に最適化された54850シリーズ・オシロスコープを設計しました。InfiniiMaxプロービング・システムはプローブ・ヘッドとプローブ・アンプの間に高性能のRFコネクタを採用しており、測定のタイプに合わせて最適化された高性能プローブ・ヘッドを選択できます。各タイプのプローブ・ヘッドに対して、適切にダンピングされたアクセサリが用意されています。

このアーキテクチャが性能とユーザビリティを高いレベルでバランスさせていることを示すため、さまざまな使用モデルと、それぞれのモデルで達成できる性能について見てみましょう。

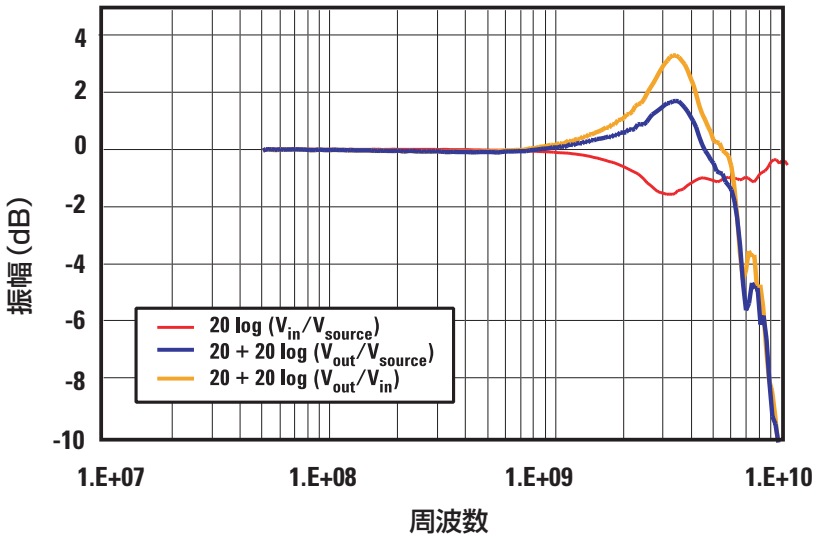


図6a. 固定ピンとポゴ・グランド・アクセサリ付きの6 GHzプローブ。ごく短い固定ピンでさえ3.5 GHz付近で+3 dBのピークが生じます。

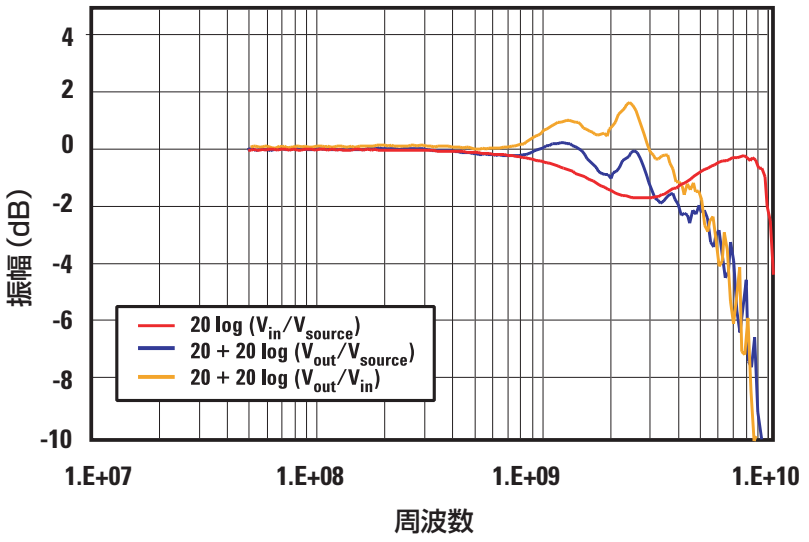


図6b. ダンピングされた信号ピンとポゴ・グランド・アクセサリ付きのInfiniiMaxシングルエンド・ブラウザ・プローブ・ヘッド

## シングルエンド信号のブラウズ

シングルエンド・プローブ・ヘッドは、アクティブ・プローブの最も一般的なシングルエンド信号のブラウズに最適化されています。従来のブラウザには、アクセサリをチップに挿入するために、0.64 mmの方形ピンまたは0.84 mmの円形ピン用のソケットが信号用とグランド用に用意されていました。Agilentのブラウザの信号ソケットは、従来のプローブのソケットよりもはるかに短く、直径が小さくなっています。グランド・ソケットの代わりに、このプローブにはグランド・カラーおよびポゴ・ピン・アクセサリが付いています。抵抗チップ・アクセサリは、ブラウザの入力の寄生成分のダンピングに適した抵抗を備えています。信号ピンには角度が付いているので、グランド・カラーを回転させることで、信号ピンとグランド・ポゴ・ピンとの間のスパンを変えることができます。これらの特長により、このブラウザは優れた測定忠実度と帯域幅を維持しながら可変スパンを実現しており、固定スパンのプローブに比べてユーザビリティを大幅に高めています。

図6aと6bは、ブラウジングに最適化され、信号に固定金属ピン、グランドにポゴ・ピンを使用した従来の6 GHzプローブと、InfiniiMaxアーキテクチャの適切にダンピングされた抵抗ピン付きのシングルエンド・ブラウザ・プローブ・ヘッドとを比較したものです。

Agilentのブラウザは、入力の寄生成分を最小化するためにできるだけ小さくデザインされています。ブラウザ内部には最小限の回路しかないので、市販されている従来のプローブよりも小さくなっています。このデザインのおかげで、狭い場所にある測定しにくいノードにプローブを当てることが容易になっています。しかし、このプローブは小さすぎて、多くのエンジニアが行っているような何時間ものブラウジングには向きません。この問題を解決するため、ブラウザをはめ込むためのペンシル型アクセサリがプローブに付属しています。このアクセサリを使えば、長時間保持することがずっと容易になります。

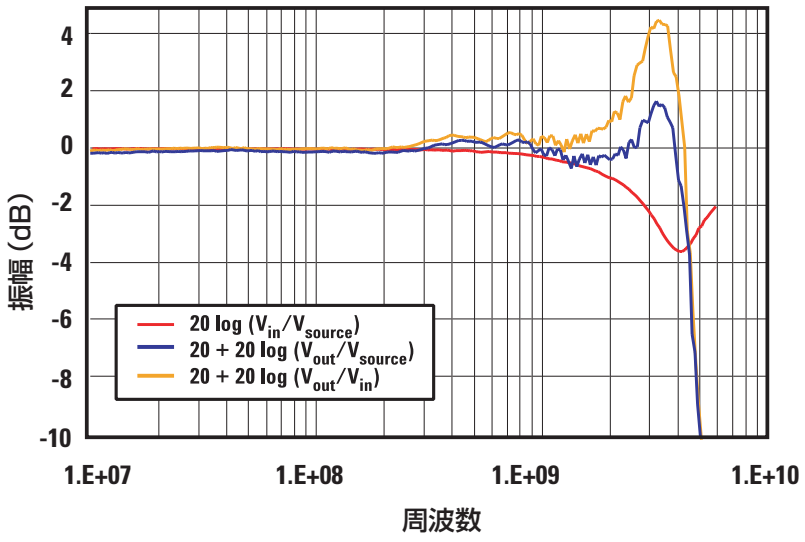


図7a. 可変スパン用アクセサリを使用した3.5 GHz差動プローブ。追加されたアクセサリのために、入力の共振と伝送応答のピークが生じています。

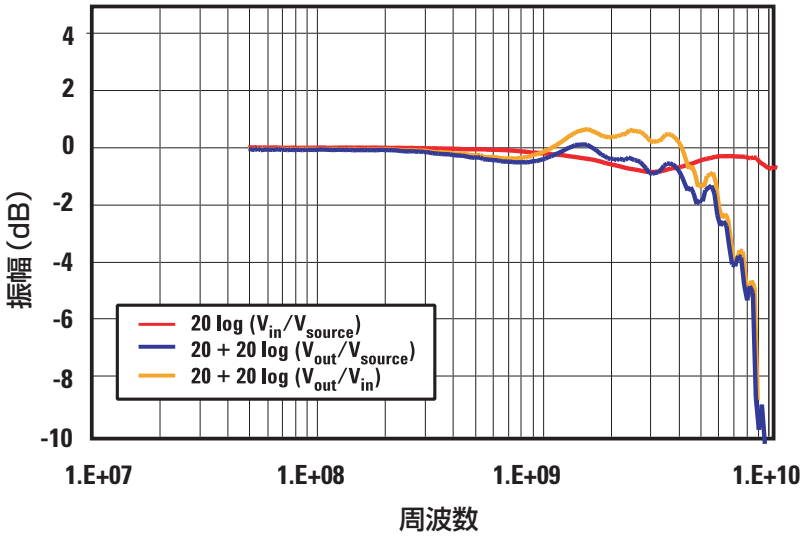


図7b. ダンピングされた信号ピン付きのInfiniiMax差動ブラウザ・プローブ。応答はフラットで、$V_{out}$が$V_{in}$に正しく追随しています。

## 差動／シングルエンド信号のブラウズ

InfiniiMaxアーキテクチャは柔軟性が高く、差動測定にもシングルエンド測定にも使用できます。シングルエンド・ブラウザの場合と同様、差動ブラウザ・プローブ・ヘッドのソケットも、付属のカスタム・ダンピング抵抗入力ピンがちょうどはいる大きさの小型ソケットです。差動プローブ・ヘッドには、可変スパンおよびZ軸調整機能が装備されています。このため、インダクタンスを増やすアクセサリ（ポゴ・ピンなど）を入力に追加しなくても、利用しやすいプローブ構成を実現できます。

このプローブの応答を、従来の差動プローブに可変スパンのためのアクセサリを使用したものと比較すると、大きな違いがあります（図7aおよび7bを参照）。なお、従来の差動プローブには、2つの信号に接続する際に信号ピンのスプリング動作がありません。

重要なこととして、高速信号のプロービングにはどんな場合でも差動プローブが最善のツールです。差動プローブは本質的に、シングルエンド・プローブよりも優れたコモン・モード除去と帯域幅を実現します。市販のシングルエンド・プローブの中には仕様帯域幅がきわめて大きいものもありますが、この帯域幅は通常、入力にアクセサリを使用せず、入力の寄生成分を最小化するための特殊なフィクスチャを使った状態でのものです。差動プローブは、入力の寄生成分がバランスしている限り、その影響を受けにくくなっています。これにより、広帯域接続が可能になります。InfiniiMax差動ブラウザは、可変スパンおよびZ軸調整機能を備えながら、6 GHzの帯域幅を実現しています。

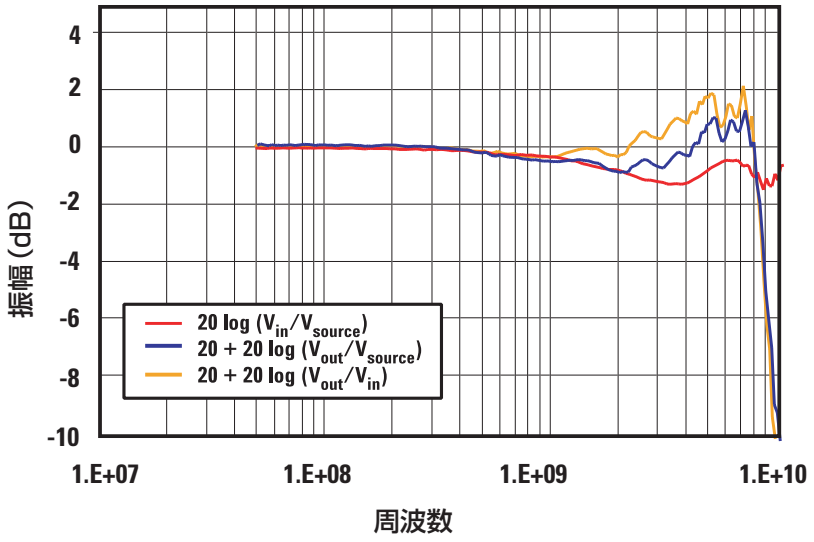


図8. InfiniiMax差動ソケット付きプローブ・ヘッド。$V_{out}$は$V_{in}$に追随しており、比較的フラットです。帯域幅は8 GHz以上。

## ハンズフリーのソケット接続による差動／シングルエンド信号の測定

従来、ハンズフリー測定を実現するには、プローブの長いソケットにワイヤ・アクセサリを挿入していました。これらのアクセサリには多くの場合ソケットがあり、0.64 mmの方形ヘッダ・ピンを介してプローブ・ポイントに接続するようになっていました。ダンピングされていないソケット付きワイヤを6 GHzプローブに接続した場合、大きな共振とピークを持つ応答が図3に示されています。この方法は、約400 MHz以上の信号の測定には明らかに使用できません。

InfiniiMaxプローブで同様の測定を行うには、ヘッダ・ピンの代わりに短い軸リード抵抗を介してソケット付き差動プローブ・ヘッドをプローブ・ポイントに接続します。これにより、忠実度と帯域幅が劇的に改善されます（図8参照）。これは、この革新的なプローブ・アーキテクチャと従来のアーキテクチャの違いを最も鮮明に示す例の1つです。

## ハンズフリーのはんだ付け接続による差動／シングルエンド信号の測定

InfiniiMaxのはんだ付け差動プローブ・ヘッドがソケット版と異なる点は、プローブ・チップにソケットの代わりに小型の軸リード抵抗が使用されていることです。これらの抵抗のリードは、被試験回路上の小さいパッケージ・リードやビアにはんだ付けするのに理想的です。このプローブ・ヘッドのユーザビリティに関する利点は、上記のソケット版の場合と同様です。

このプローブとソケット版に共通する、ユーザビリティに関するもう1つの重要な利点は、そのサイズです。測定しにくいプローブ・ポイントを測定する場合、非常に狭い場所にプローブを入れなければならないことがあります。例えば、DIMMパッケージのRAMをそのソケットに挿入した状態で、パッケージのリードをプロービングすることは、従来のプローブでは不可能です。ブラウザ・プローブ・ヘッドを取り外して小型プローブ・ヘッド（6.4 mm×12.7 mm×2.5 mm）と交換することにより、狭い場所のプロービングが大幅に容易になります。従来のブラウザ・プローブの場合は、測定の性能と忠実度を犠牲にして、長いワイヤ・アクセサリを使わざるを得ませんでした。

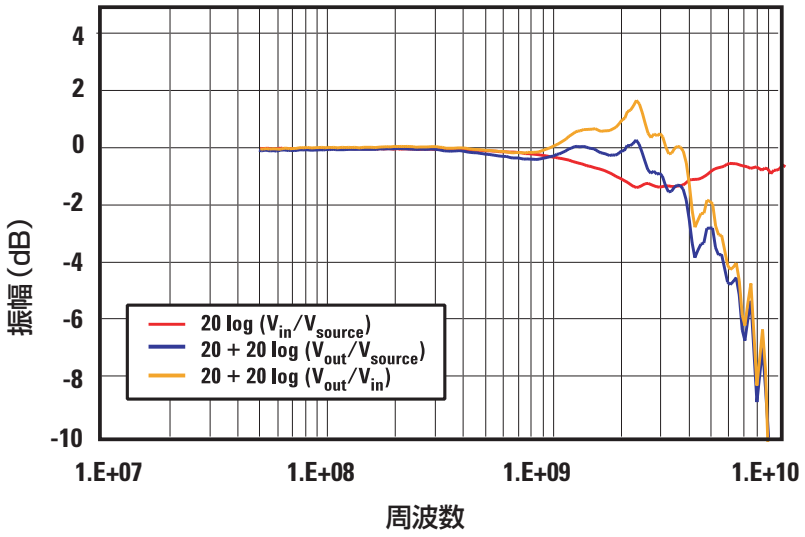


図9. InfiniiMaxシングルエンドはんだ付けプローブ・ヘッド。帯域幅は約5 GHz。

## ハンズフリーのはんだ付け接続を使ったシングルエンド信号の測定

さらに狭いスペースに接続するために、この新しいシステムにはシングルエンドはんだ付けプローブ・ヘッドが用意されています。このプローブ・ヘッドのプローブ・チップ側は非常に小さくなっています（3.8 mm×12.7 mm×2.5 mm）。このプローブ・ヘッドは、図9に示すような優れた測定性能と忠実度を実現します。従来のシングルエンド・アクティブ・プローブに付属するダンピングされたワイヤ・アクセサリよりもはるかに高性能の測定が可能です。

シングルエンド（図9）と差動（図8）のはんだ付けプローブ・ヘッドの測定性能の違いに注目してください。この比較によって、差動プローブとシングルエンド・プローブの性能の差が明確になります。シングルエンド版が用意されている理由は、最小のサイズで広帯域測定が可能になるからです。しかし、最高の帯域幅が必要な測定では、差動版の使用を推奨します。

## まとめ

AgilentのInfiniiMaxプローブ・アーキテクチャは、従来の広帯域プローブの重大な欠点を克服しています。従来のブラウザ・プローブのアーキテクチャはブラウザを取り付けるためだけに最適化されていますが、きわめて狭い場所の測定には大きすぎ、長時間の快適な使用には小さすぎます。しかも、ブラウザ・プローブをその他の用途に使おうとすると、性能と忠実度を犠牲にしてアクセサリを追加しなければなりません。

InfiniiMaxプローブのアーキテクチャは、さまざまな用途に最適化されたプローブ・ヘッドを特長としています。狭い場所への接続、長時間の接続、ハンズフリーのソケット・プロービング、ハンズフリーのはんだ付けプロービングのすべての用途に対応します。これらすべての使用に対して、最高の帯域幅と最高の測定忠実度を実現します。しかも、超小型のプローブ・ヘッドが用意されているため、きわめて測定の難しいプローブ・ポイントに対しても高性能の測定が可能です。さらに、このシステムは差動測定にもシングルエンド測定にも使用できる柔軟性を備えています。

## 用語集

帯域幅：周波数応答の大きさが、DCでの大きさに対して－3 dB（0.707倍）になる周波数。

コモン・モード除去：入力1－入力2という機能を実行する回路の場合、入力1と入力2に共通する成分（コモン・モード成分）は出力で生成されません。

ダンピング：測定において生じる発振を抑制する方法。

差動信号：2本の導線を使用する電気信号の伝送方式。1つの導線の信号はもう1つの導線の信号と大きさが同じで符号が逆になっています。

周波数応答：vo（s）を周波数の関数である出力信号、vi（s）を周波数の関数である入力信号としたときの、vo（s）/vi（s）のこと。

寄生成分：寄生インダクタンスと寄生キャパシタンスのこと。前者は通常導線の長さの関数であり、後者は通常導線の体積とグランドとの距離の関数です。

シングルエンド信号：1本の信号導線と共通グランド導線を使用する電気信号の伝送方式。名目上は、共通グランド導線には信号が存在せず、信号導線はグランド導線を基準として変化します。

Z軸調整機能：プローブをプローブ・ポイントに押しつける力が加わる方向に働くばね式の調整機能。「ポゴ」とも呼ばれ、シングルエンド・プローブの場合は信号ピンとグランド・ピン、差動プローブの場合は信号ピン同士のZ軸上の位置ずれをなくす働きをします。

## 関連カタログ

『Infiniium 54800シリーズ・オシロスコープ』
Product Overview　5988-3788JA

『Infiniium 54800シリーズオシロスコープのプローブ、アクセサリおよびオプション』
Selection Guide　5968-7141JA

『Infiniium 54850シリーズ・オシロスコープ
InfiniiMax 1130シリーズ・プローブ』
Data Sheet　5988-7976JA

『高速信号を正確に測定するためのプローブ性能の検証方法』
Application Note 1419-01　5988-7951JA

『Performance Comparision of Differential and Single-Ended Active Voltage Probes』
Application Note 1419-03　5988-8006EN

『Understanding Oscilloscope Frequency Response and Its Effect on Rise-Time Accuracy』
Application Note 1420　5988-8008EN

『広帯域プローブのシグナル・インテグリティに関する真実』
Application Note 1404　5988-6515JA

### サポート、サービス、およびアシスタンス

アジレント・テクノロジーが、サービスおよびサポートにおいてお約束できることは明確です。リスクを最小限に抑え、さまざまな問題の解決を図りながら、お客様の利益を最大限に高めることにあります。アジレント・テクノロジーは、お客様が納得できる計測機能の提供、お客様のニーズに応じたサポート体制の確立に努めています。アジレント・テクノロジーの多種多様なサポート・リソースとサービスを利用すれば、用途に合ったアジレント・テクノロジーの製品を選択し、製品を十分に活用することができます。アジレント・テクノロジーのすべての測定器およびシステムには、グローバル保証が付いています。製品の製造終了後、最低5年間はサポートを提供します。アジレント・テクノロジーのサポート政策全体を貫く2つの理念が、「アジレント・テクノロジーのプロミス」と「お客様のアドバンテージ」です。

### アジレント・テクノロジーのプロミス

お客様が新たに製品の購入をお考えの時、アジレント・テクノロジーの経験豊富なテスト・エンジニアが現実的な性能や実用的な製品の推奨を含む製品情報をお届けします。お客様がアジレント・テクノロジーの製品をお使いになる時、アジレント・テクノロジーは製品が約束どおりの性能を発揮することを保証します。それらは以下のようなことです。

- 機器が正しく動作するか動作確認を行います。
- 機器操作のサポートを行います。
- データシートに載っている基本的な測定に係わるアシストを提供します。
- セルフヘルプ・ツールの提供。
- 世界中のアジレント・テクノロジー・サービス・センタでサービスが受けられるグローバル保証。

### お客様のアドバンテージ

お客様は、アジレント・テクノロジーが提供する多様な専門的テストおよび測定サービスを利用することができます。こうしたサービスは、お客様それぞれの技術的ニーズおよびビジネス・ニーズに応じて購入することが可能です。お客様は、設計、システム統合、プロジェクト管理、その他の専門的なサービスのほか、校正、追加料金によるアップグレード、保証期間終了後の修理、オンサイトの教育およびトレーニングなどのサービスを購入することにより、問題を効率良く解決して、市場のきびしい競争に勝ち抜くことができます。世界各地の経験豊富なアジレント・テクノロジーのエンジニアが、お客様の生産性の向上、設備投資の回収率の最大化、製品の測定確度の維持をお手伝いします。


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 9:00～19:00
(12:00～13:00も受付中)
※土・日・祭日を除く

FAX、E-mail、Webは24時間受け付けています。

TEL 0120-421-345
(0426-56-7832)

FAX 0120-421-678
(0426-56-7840)

E-mail:contact_japan@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。


Copyright 2003
アジレント・テクノロジー株式会社


### 電子計測UPDATE

www.agilent.com/find/emailupdates-Japan

Agilentからの最新情報を記載した電子メールを無料でお送りします。

### Agilent 電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ製品

Agilentの電子計測ソフトウェアおよびコネクティビティ製品、ソリューション、デベロッパ・ネットワークは、PC標準に基づくツールによって測定器とコンピュータとの接続時間を短縮し、本来の仕事に集中することを可能にします。詳細については**www.agilent.com/find/connectivity**を参照してください。

Agilent Technologies


February 10, 2003
5988-8005JA
0000-00DEP