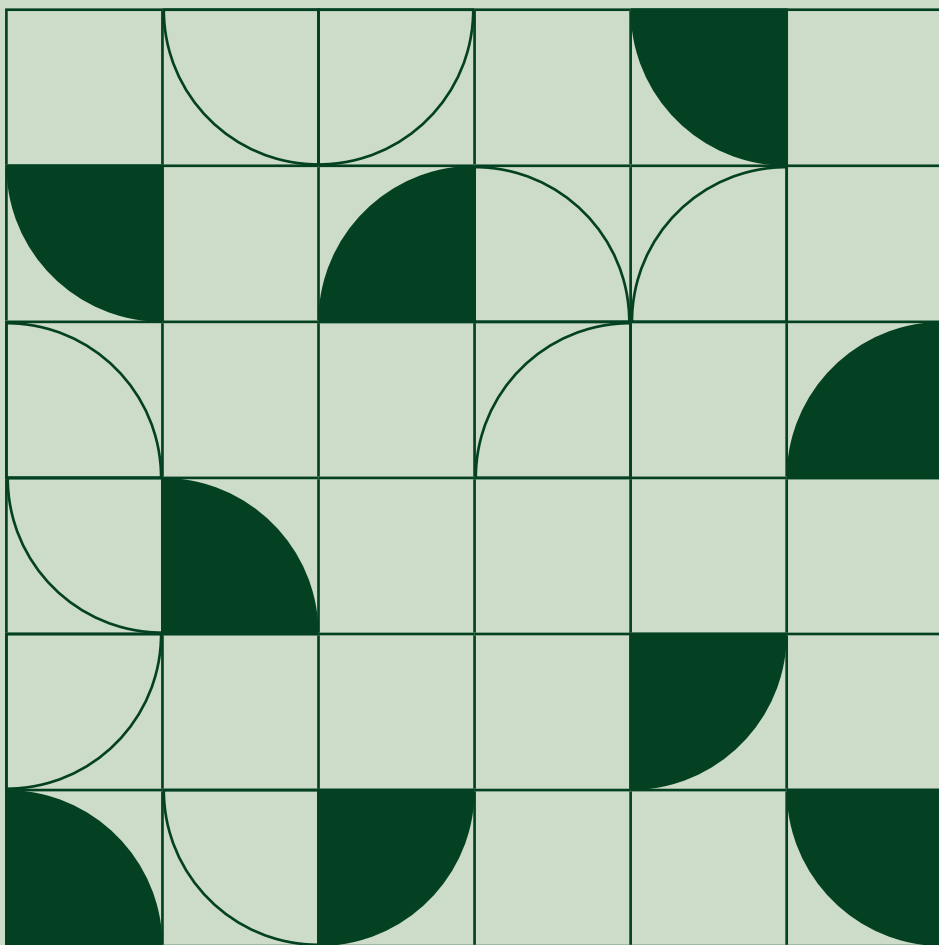


スイッチと マルチプレクサ



02 概要

03 スイッチングアーキテクチャ

スイッチングなし
テストラックのみでのスイッチング
テストフィクスチャのみでのスイッチング
テストフィクスチャとテストラックでのスイッチング

08 アプリケーションに最適なスイッチを選択する方法

一般的なスイッチトポロジ
汎用リレー
リレータイプ
スイッチの拡張
スイッチングの主な仕様
スイッチングに関するヒントとテクニック

24 次のステップ

NIのスイッチ製品
Switch Executive
NI スイッチヘルスセンター

概要

多くの自動テストアプリケーションでは、さまざまな計測器やDUT (検査対象デバイス) に対して信号経路設定が必要です。多くの場合、計測器とDUTとの間で信号経路設定を容易に行えるようにするためにスイッチネットワークが構築されています。スイッチを有効に活用すれば、信号経路設定を実現するだけでなく、測定の柔軟性を高めたり、同じ測定を繰り返し行えるようにしたりすることができます。さらに、高価な計測器を数多く購入することなく、低コストで測定チャンネル数を増やすことも可能になるのです。

自動テストシステムにスイッチを追加する場合、主に3つのオプションとして、カスタムのスイッチネットワークを社内で設計および構築するか、GPIBまたはイーサネットを介して制御可能なスタンドアロンのボックス型スイッチ製品を使用するか、デジタルマルチメータ (DMM) をはじめとする各種計測器を複数台組み込むことが可能なモジュール式のプラットフォームを採用することができます。ほとんどの場合、スイッチ製品は他の計測器とともに使用します。そのため、各種計測器と緊密に統合できることが前提になります。モジュール式でCOTS (商用オフザシェルフ) のスイッチ製品は、最も一般的なテストシステムに内在するこうした統合上の課題に対応することができます。このガイドには、スイッチとマルチプレクサの機能をテストシステムに統合する際のベストプラクティスがまとめられています。

スイッチングアーキテクチャ

スイッチは、費用対効果が高く、計測器のチャンネル数を増やす効率的な手段です。ただし常に最適なオプションというわけではありません。

スイッチングアーキテクチャには、主に4つのタイプがあります。

- スwitchingなし
- テストラックのみでのswitching
- テストフィクスチャのみでのswitching
- テストラックとテストフィクスチャでのswitching

以下の表は、4つのswitchingアーキテクチャすべての長所と短所をまとめたものです。

平均を下回る ○ 平均 ◐ 平均を上回る ●

	柔軟性	スループット	コスト	低レベル測定 (MV, MA, MΩ)
switchingなし	○	●	○	●
テストラックでのswitching	●	◐	●	○
テストフィクスチャでのswitching	○	◐	◐	◐
テストラックとテストフィクスチャでのswitching	●	◐	◐	◐

表 1 | さまざまなswitchingアーキテクチャの長所と短所

switchingなし

1つ目のアーキテクチャでは、検査対象デバイス (DUT) とテストシステム内の計測器との間の信号経路設定にスイッチを使用しません。このようなシステムには通常、すべてのテストポイントに専用の計測器チャンネルが1つあります。

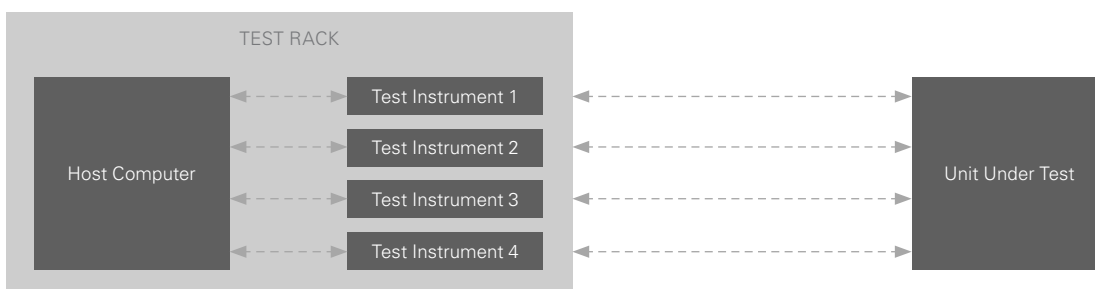


図 1 | switchingなしのテストシステムは各計測器から検査対象デバイスに直接接続されている

テストラックのみでのスイッチング

2つ目のスイッチングアーキテクチャでは、計測器とDUT間の信号経路設定に市販のCOTS (商用オフザシェルフ) スwitchのみを使用します。テストラックでのスイッチングでは、既存のSwitch製品を使用することができ、拡張も簡単です。COTSスイッチプラットフォームには、幅広い機能と拡張の容易なオプションを提供しているものを選ぶことが重要です。そうしないと、テストのライフサイクル全体にわたってテストシステムを設計し直すことになるため、コストが増える可能性があります。

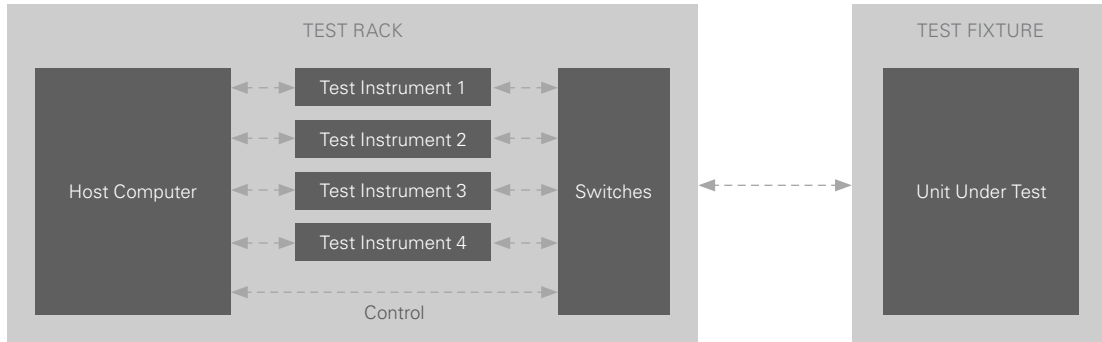


図 2 一部のテストシステムでは、拡張を容易にするためにテストラック内にスイッチが統合されている

たとえば、PXIプラットフォームには、最大600 V、40 A、および40 GHzの信号を経路設定できる600種類以上のスイッチモジュールがあります。NIだけでも100種類のPXIスイッチモジュールを製造しており、200種類を超えるスイッチトポロジ構成が可能です。

テストラックでのスイッチングのメリット

COTSスイッチソリューションを採用することで、プリント基板 (PCB) の設計やドライバの開発などを含む開発時間を大幅に節約できます。また、COTSスイッチを利用すれば、スイッチベンダからモジュールを追加購入してスイッチを追加でき、テストフィクスチャ全体を設計し直す必要がないため、テストシステムの拡張性が高まります。

さらに、スイッチベンダ各社は独自のメリットを持たせたソリューションを提供しています。たとえば、NIのスイッチは、モジュール上の各リレーがアクティブ化されているインスタンス数を追跡するオンボードEEPROMや、リレーの状態を監視するその他の機能 (機能テスト、抵抗リレーテストなど) を搭載しています。これらの機能を活用することで、特定のリレーの機械的寿命を予測し、予知保全を行うことができます。こうした機能は、手動でのデバッグが極めて困難な多チャンネルスイッチシステムを維持する場合や、製造現場において予期せぬダウンタイムにより長時間の高コストな遅延が生じる可能性がある場合に、特に役立ちます。

また、NIのスイッチモジュールを使用すると、スイッチモジュールのオンボードメモリにスイッチ接続のリストをダウンロードし、ホストプロセッサを中断せずにスイッチと計測器間で双方向トリガを使用してリストを循環させることで、テストアプリケーションのスループットを向上させることもできます。

テストラックでのスイッチングのデメリット

前述したように、任意のDUTのテストポイントからの測定は並列ではなく逐次行う必要があるため、スイッチを使用するとテストプロセスの速度が低下することがよくあります。また、すべてのスイッチをテストラック内に配置すると、ケーブルの総量も増加します。スイッチと計測器間にケーブルを使用するだけでなく、DUTとスイッチ間にもケーブルが必要です。このため、漏れ電流や低抵抗測定などの高感度測定で誤差が生じる可能性があります。

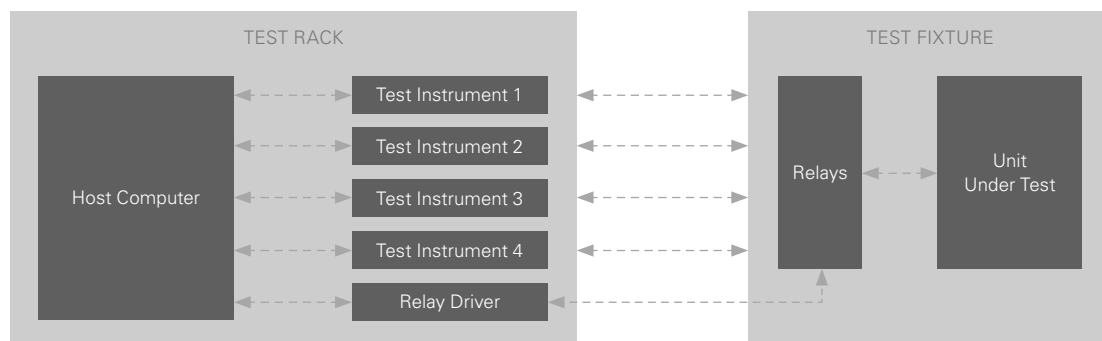


図 3 | テストフィクスチャ内にスイッチがあるテストシステムではリレードライバが必要

テストフィクスチャのみでのスイッチング

3つ目のスイッチングアーキテクチャでは、テストフィクスチャのみでスイッチを使用します。この場合、フィクスチャの近くまたはフィクスチャ自体のPCBに搭載された個々のリレーを使用して、計測器からの信号をDUTのさまざまなテストポイントに切り替えます。このアーキテクチャを採用する場合は、テストプログラムから個々のリレーを制御するリレードライバがテストステーションに必要です。COTSリレードライバのよい例として、PXI-2567があります。PXI-2567は64チャンネルのリレードライバモジュールで、NI-SWITCHドライバを使用して標準APIを介して外部リレーを制御できるため、カスタムプログラミングは必要ありません。別の方法として、リレーを駆動する外部回路を設計することもできますが、これには追加の設計作業が必要です。

テストフィクスチャでのスイッチングのメリット

すでに述べたように、スイッチングは配置位置に関係なくテストのコスト削減に役立ちます。さらに、テストフィクスチャにスイッチを組み込むことで、DUTとスイッチ自体との間のケーブルが不要になります。ケーブルが減ることで、測定誤差の低減にもつながります。

テストフィクスチャでのスイッチングのデメリット

すでに説明したように、スイッチを使用するとテストプロセスの速度が低下することがよくあります。また、カスタムのスイッチをテストフィクスチャに組み込むにはPCB設計の経験が必要なため、すべてのユーザが選択できるとは限りません。また、テストフィクスチャでのスイッチングでは、より多くのテストポイントに対応できるようにテストシステムを拡張する際に問題が生じます。

スイッチングなしのメリット

ケーブルやスイッチを使用すると、信号の整合性が低下することがよくあります。スイッチを使用しないことで、計測器へのより直接的な経路を信号に提供することができ、測定確度が向上します。また、測定確度だけでなく、テストのスピードも向上します。テストポイントごとに専用の計測器を用意することで、逐次測定ではなく並列測定が可能になり、テストスループットが向上します。

スイッチングなしのデメリット

テストポイントごとに専用の計測器を用意するため、非常にコストがかかります。また、拡張性にもデメリットがあります。スイッチングなしでテストシステムを構築すると、テストトラックのスペースが不足しやすくなる可能性があります。このため、テストシステムを完全に設計し直すことになり、ハードウェアの変更、ソフトウェアの更新、再検証のための追加コストが発生する可能性があります。たとえば、20台のPXIe-4081デジタルマルチメータ (DMM) を使用して20個の測温抵抗体 (RTD) を並列でテストするテストシステムがあるとします。このシステムを、40個のRTDセンサをテストできるように拡張する必要が生じたとします。そのためには、さらに20台のDMMを追加する必要があり、さらに20

個のPXIスロットが必要になります。別の方法として、1台のPXIe-4081 7½桁DMMをスイッチと併用すると、わずか2つのPXIスロットで40個すべてのRTDセンサを逐次テストすることもできます。

スイッチングなしでテストシステムを構築すべき場合

ケーブルやスイッチを追加すると歪みを生じるような非常に高感度の測定を行う場合や、テスト時間を最小限に抑える必要がある場合には、通常はスイッチなしでテストシステムを構築することをお勧めします。たとえば、半導体テストアプリケーションには、チップ上の各ピン専用により単一のパラメトリック測定ユニットまたはソースメジャーユニットを使用しているものがあります。この理由は、半導体は大量生産の事業であり、テストコストがチップの製造コスト全体のうちかなりの部分を占めることが多いためです。専用の計測器チャンネルを使用して並列測定を行い、テスト時間を最小限に抑えることで、テストコストを大幅に削減できます。また、半導体業界においては、特殊なチップセットまたはチップセットファミリー用にテストを作成することが多いため、通常はテストがその寿命にわたって拡張されることはありません。

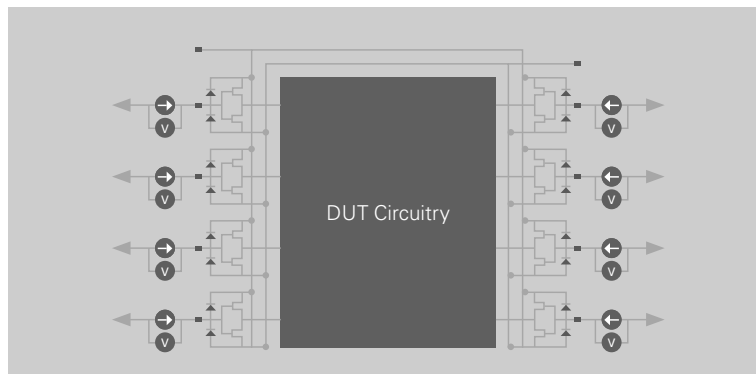


図 4 | 一部の半導体アプリケーションでは、専用の計測器を使用して対象のチップ上の各ピンを並列テストする

このオプションのもう1つのデメリットは、特定の安全性と準拠規格に対応したカスタムボードの設計に伴うコストです。高電圧デバイスをテストする場合、通常は、UL、CE、VDEなどのさまざまな規制に準拠したスイッチング装置を作成する必要があります。これらのさまざまな基準では沿面距離や間隔の要件が定められていますが、そうした要件に適合するリレーを搭載したPCBの設計は容易ではありません。そのような場合に、COTSスイッチを採用するとコストの削減に役立ちます。COTSベンダの多くは、自社のモジュールが幅広い安全基準に適合することを認定しています。たとえば、NIのスイッチモジュールのうち、電圧定格が60 VDCまたは30 VACおよび42.2 Vpkを超えるものはすべて高電圧デバイスとみなされているため、下に示す安全基準に準拠するように設計されています。

テストフィクスチャとテストラックでのスイッチング

最後のスイッチングアーキテクチャには、テストステーション内にスイッチだけでなくテストフィクスチャも含まれています。この方式を採用すると、両方のCOTSスイッチングソリューションのメリットを活用できると同時に、スイッチをDUTの近くとテストフィクスチャに配置することで、特定の高感度な測定における誤差を最小限に抑えることができます。PXI-2567リレードライバを他のPXIベースのスイッチと併用することで、サポートの充実した標準のドライバAPI

を使用して、テストラックのCOTSスイッチとテストフィクスチャ内のカスタムリレーの両方を含むスイッチシステム全体をプログラミングできます。

テストフィクスチャとテストラックでのスイッチングのメリット

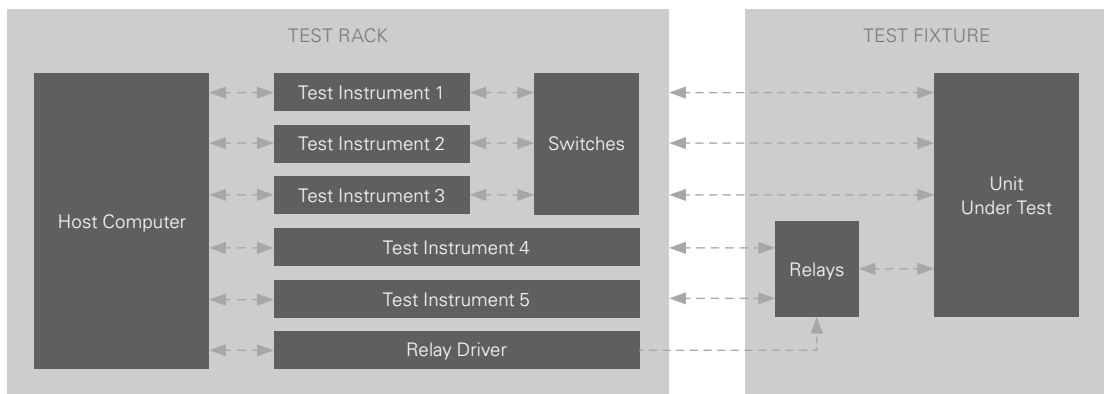
テストラックにCOTSスイッチを配置し、テストフィクスチャにリレーを配置することで、重要な測定や低レベルの測定を簡単に拡張しつつ誤差を最小限に抑えるスイッチシステムを構築できます。このアーキテクチャでは、高感度信号の経路設定に使用するスイッチをテストフィクスチャに、残りのすべてのスイッチをテストラックにそれぞれ配置することができます。COTSスイッチを使用することで、拡張性に加えて、NI PXIスイッチモジュールが備えるリレーカウントの追跡機能やハードウェアトリガ機能などのベンダ固有の機能を活用できるようになります。

テストフィクスチャとテストラックでのスイッチングのデメリット

スイッチを使用すると、テストポイントを並列ではなく逐次測定する必要があるため、テストプロセスの速度が低下することがよくあります。また、カスタムスイッチをテストフィクスチャに組み込むには時間がかかり、特に高電圧信号や高周波信号の場合、PCB設計に関する相当量の専門知識が必要になります。



5 NIのスイッチモジュールは幅広い安全性と準拠基準を満たしている



6 テストラックとテストフィクスチャにスイッチを備えたテストシステムは柔軟性に優れているものの、追加の設計作業が必要

アプリケーションに最適なスイッチを選択する方法

スイッチの配置位置に加えて、さまざまなスイッチトポロジやリレータイプを比較して、信号要件とテスト目標を満たすスイッチングサブシステムを確保する必要があります。自動テストアプリケーションにおいては、スイッチという用語は、リレーを使用して複数のDUTと計測器間で信号を切り替えるCOTSデバイスを示すものとして頻繁に用いられます。スイッチを通じてさまざまな方法でリレーを編成し、汎用リレー、マルチプレクサ、マトリクスといったさまざまなスイッチトポロジを作成します。リレーはそのタイプごとに、サイズ、信号定格、寿命などの面でさまざまなトレードオフがあります。このセクションでは、一般的なスイッチトポロジ、一般的なリレータイプ、スイッチングの主な仕様、および自動テストシステムにおけるスイッチングに関する一般的なヒントとテクニックについて説明します。

一般的なスイッチトポロジ

アプリケーションに最適なスイッチングを決定したら、次のステップとして、最適なスイッチトポロジ、つまりリレーを編成して大規模なスイッチネットワークを構築する方法を選択します。ほとんどのスイッチベンダでは、スイッチを汎用リレー、マルチプレクサ、マトリクスの3つの主要カテゴリに分類しています。PXIe-2524など、一部のスイッチは複数のトポロジに対応しており、ソフトウェアでトポロジを構成することが可能です。要件の変化に合わせて、5つの異なるトポロジから選択できます。トポロジを検討する際は、必要な接続の総数と、同時接続の最大数、および、将来のテストシステムの変更に備えて拡張性を持たせる必要があるかどうかを考慮することが重要になります。

汎用リレー

汎用スイッチは、互いに独立して使用されることを想定した、複数の独立したリレーで構成されています。汎用リレーは、単純に回路内で接続を導通/切断したり、2つの可能な入力または出力を切り替えたりする場合に最適です。多くの場合、個々のリレーは極と接点の数によって分類されます。リレーの極は、すべてのパスに共通するコモン端子であり、極の接続先となるそれぞれの位置を接点と呼びます。

単極単投 (SPST) リレーは、オン/オフの状態を持つ標準的な照明スイッチに似ています。SPSTリレーにはA接点式とB接点式の2つの形式があります。A接点式のSPSTリレーは、リレーが作動するまでノーマルオープンであり、作動するとリレーの接点が接触して回路が導通します。逆に、B接点式のSPSTは、リレーが作動するまでノーマルクローズであり、作動するとリレーの接点の接続が離れて回路が開きます。

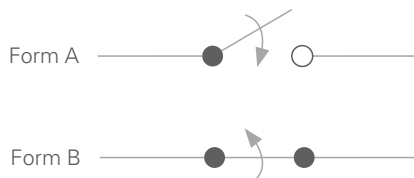


図 7 | SPSTリレーにはノーマルオープン (A接点式) とノーマルクローズ (B接点式) の2つの形式がある

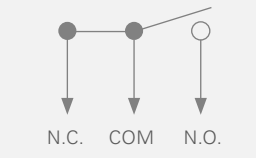
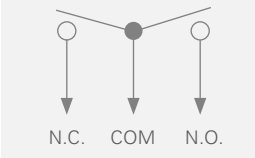
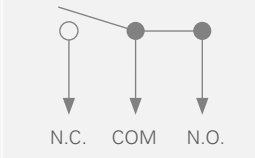
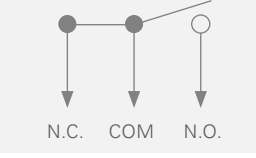
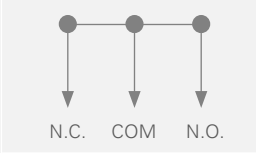
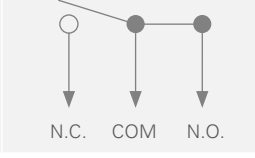
TASK	OPEN	DURING OPERATION	OPERATION COMPLETE
Form C			
Form D			

図 8 SPDTリレーにもC接点式とD接点式の2つの形式がある

単極双投 (SPDT) リレーには、単一の極 (コモン接続) があり、1つのノーマルオープン接点と1つのノーマルクローズ接点を交互に切り替えることができます。すべてのSPDTは、C接点式リレーまたはD接点式リレーのどちらかに分類されます。C接点式SPDTは、作動すると、ノーマルクローズ信号パスが開いた後、リレーがノーマルオープン接点に接続します。こうしたSPDTリレーの操作のことを、BBM (break before make) と呼びます。逆に、D接点式リレーは、作動すると、ノーマルオープン信号パスに接続した後、ノーマルクローズ信号パスが開きます。こうしたSPDTリレーの操作のことを、MBB (make before break) と呼びます。

双極単投 (DPST) リレーは、2つのA接点式SPSTリレーが同時に作動するもので、通常は同じコイルを用いて一緒にパッケージ化されます。DPSTは、2本の信号パスを同時に開閉する必要がある場合に最適です。DPSTは個別に制御される2つのA接点式SPSTリレーから作成できますが、2つのリレーが作動する合間に多少の時間差が生じる可能性があります。

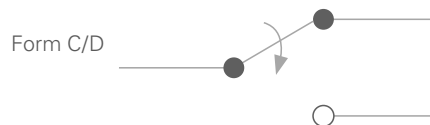


図 9 SPDTリレーは、2つの可能な接点 (接続) の間で1つのコモン極を共有

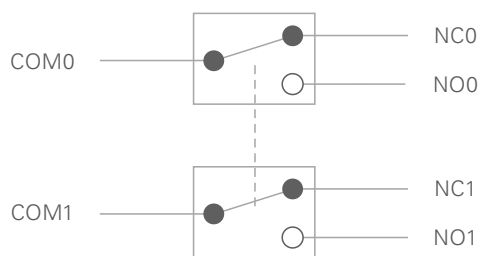


図 10 DPSTリレーは、2つのA接点式SPSTリレーを同時に制御

マルチプレクサ

マルチプレクサ (MUX) は、1つの入力を複数の出力に接続したり、1つの出力を複数の入力に接続したりするリレーの構成方法です。マルチプレクサを使用すると、複数のDUTを1つの計測器に効率的に接続できます。ただし、このスイッチングアーキテクチャでは、どのDUT接続からさまざまな計測器にアクセスする必要があるかについて、事前に詳しく把握しておく必要があります。

マルチプレクサは、終端をまとめて接続した複数のA接点式SPSTリレーで構成される場合があります。この構成方法によるマルチプレクサはシンプルで効率的ですが、未使用の信号パスがAC信号の反射を引き起こし、スイッチの帯域幅定格を低下させるという欠点があります。

別の方法として、AC信号の信号整合性を確保するために、C接点式SPDTリレーをカスケード接続してマルチプレクサを構築する場合があります。このタイプのマルチプレクサは、多くの場合、必要となるPCBのスペースは増えますが、スイッチの帯域幅を低下させる可能性のあるスタブや余分な非終端信号パスが減少します。

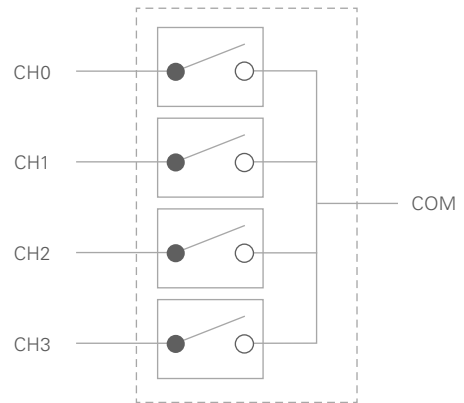


図 11 4 x 1マルチプレクサ (複数のA接点式SPSTリレーを連結して構成)

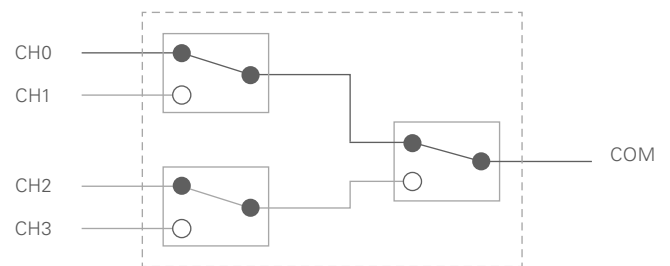


図 12 4 x 1マルチプレクサ (複数のA接点式SPSTリレーを連結して構成)

マトリクス

マトリクスは、最も柔軟性の高いスイッチ構成です。マルチプレクサとは異なり、マトリクスでは複数の信号パスを同時に接続できます。マトリクスには各交点にリレーを備える列と行があり、列と列、列と行、および行と行の信号パスを接続できます。マトリクスの柔軟性により、さまざまな信号パスを事前に決めておく必要がなく、それらのパスを介してすべてのスイッチチャンネルを相互に接続できます。スイッチ経路の計画はハードウェアの計画段階で行うことが推奨されますが、マトリクスを使用すれば、テスト要件の変化に応じてスイッチ経路を柔軟に変更できます。

マトリクスのサイズは通常、M行N列 ($M \times N$) 構成で表します。一般的な構成には、 4×64 、 8×32 、 16×16 があります。ただし、ほとんどの場合、行または列に関して特別な構成はありません。 4×64 ではなく 64×4 のマトリクスにするなど、列数よりも行数を多くした方がわかりやすいのであれば、スイッチマトリクスの行と列を入れ替える (転置する) ことができます。

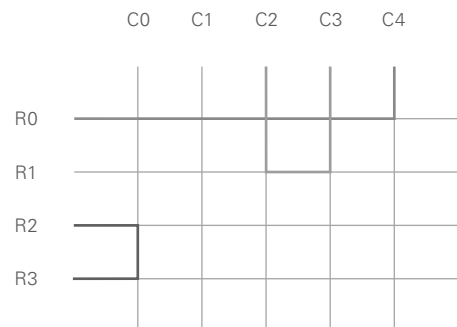


図 13 マトリクスは信号の経路設定に最大限の柔軟性をもたらす

その他のトポロジ

汎用、マトリクス、およびマルチプレクサがスイッチの大部分を占めますが、他にもスパースマトリクスやフォルト生成ユニット (FIU) といった特殊なスイッチトポロジがあります。

スパースマトリクスは、マトリクスとマルチプレクサの間に位置するハイブリッドな組み合わせで、一般にRFアプリケーションで使用されます。2つのマルチプレクサのCOMを接続することで、多数の行と列を持つ擬似マトリクスを作成できますが、接続できる信号パスは常に1本のみです。通常、マルチプレクサが提供するチャンネル密度はマトリクスよりも多くなります。これは、マトリクスでは行と列の交点ごとに少なくとも1つのリレーを必要とするためです。したがって、スパースマトリクスは通常、与えられたスペースにおいて、より多くのチャンネル密度を提供しますが、行と列の間の信号パスは1本に制限されます。また、スパースマトリク

スはACアプリケーションにおいて、従来型マトリクスの非終端の行と列によって生じるスタブによって信号帯域幅が損なわれる可能性がある場合にも役立ちます。

もう1つの特殊なスイッチングアーキテクチャとして、HIL (Hardware-In-the-Loop) テストシステムで一般的に使用されるFIUがあります。ハードウェアのフォルト生成はフォルトインジェクションとも呼ばれ、組込制御ユニットの信頼性を担うテストシステムにおいて重要な考慮事項となっています。組込制御ユニットでは、フォルト状態に対して既知の応答と許容可能な応答の両方を備えることが不可欠です。これを実現するには、テストシステムのI/OインタフェースとECUとの間にFIUを挿入して、テストシステムから正常動作とフォルト状態(バッテリー消耗、グラウンド短絡、ピン間短絡、開回路など)とを切り替えることができます。FIUの詳細については、ホワイトペーパー『[欠陥生成生成ユニット \(FIU\) を使用した電子機器テスト](#)』を参照してください。

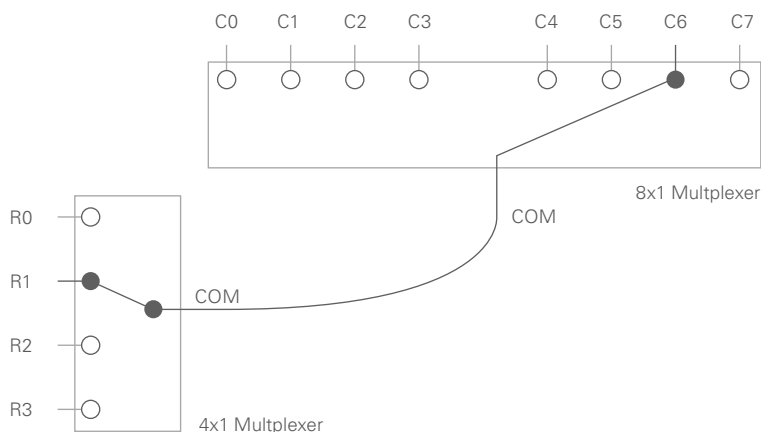


図 14 | スパースマトリクスは2つ以上のマルチプレクサのCOMを接続して作成され、一般にRF信号の切り替えに使用される

リレータイプ

リレーは、電気回路で接続の導通または切断を行うリモート制御デバイスです。リレーにはさまざまなタイプがありますが、最も一般的なリレータイプは、メカニカルリレー、リードリレー、ソリッドステートリレー、FET (電界効果トランジスタ) リレーの4つです。リレータイプごとにそれぞれトレードオフがあり、スイッチシステムの性能、コスト、寿命、密度に影響を与える可能性があります。そのため、アプリケーションのニーズに最も適したリレータイプを選ぶことが重要です。

ほとんどの場合、個々のリレーの仕様と完成品のスイッチ製品の仕様は異なることに注意してください。帯域幅、定格電力、接触抵抗といったリレーの仕様は、個々のリレーのみの仕様を指し、リレーをスイッチトポロジに接続するPCB経路や、スイッチトポロジへのインタフェースをユーザに提供するコネクタは含まれません。たとえば、単一のリレーの定格接点抵抗が $0.05\ \Omega$ 、定格電圧が $300\ \text{V}$ であっても、複数のリレーやPCBトレースを含む完成品のスイッチ製品ではパス抵抗が大きくなり ($1\ \Omega$ など)、スイッチ製品の $300\ \text{V}$ での安全な仕様に必要なPCB沿面および間隔が得られない場合があります。

メカニカルリレー

メカニカルリレー (EMR) またはアーマチュアリレーは、インダクタコイルを流れる電流を用いて磁界を誘導し、アーマチュアを開閉位置に動かすもので、これにより2つの接点が接触して回路が導通します。EMRにはラッチ型や非ラッチ型などさまざまなタイプがあり、動作にわずかな違いがあります。非ラッチ型EMRは1つのコイルを使用し、電流の流れが止まるとデフォルトの位置に戻ります。逆に、ラッチ型EMRは、電流の流れが止まっても切り替え後の位置にとどまります。ラッチ型EMRの中には、1つのコイルを使用して電流の流れを逆転させ、磁界の方向を反転させて、アーマチュアを目的の位置まで押したり引いたりするものがあります。また、アーマチュアの両側のコイルを使用してアーマチュアを押し開閉するラッチ型EMRもあります。

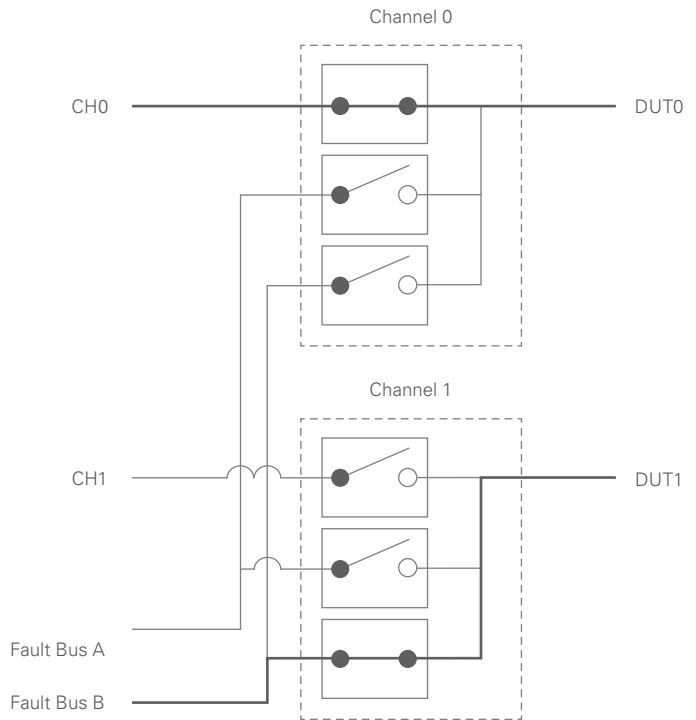


図 15 | FIUは自動フォルト状態テストを可能にする。自動フォルト状態テストは車載ECUなどの組込システムの信頼性テストに一般的に使用されている

EMRは、低電圧/電流から高電圧/電流、DC~GHz周波数まで、幅広い信号特性に対応します。また、EMRの接触抵抗は通常は $1\ \Omega$ 未満と小さく、予期しないサージ電流や最大 $300\ \text{W}$ の高電力にも対応できます。このため、ほとんどの場合において、テストシステムに必要な信号特性を満たすEMRを見つけることができます。しかし、EMRは多くのPCBスペースを占有し、他のオプションと比べると低速で (150 サイクル/s)、可動部品があるため短寿命です (最大 10^6 サイクル)。

こうしたトレードオフのため、EMRは、高電力、高電流、または広帯域幅の定格を持つ耐久性のあるリレーを必要としているが、リレーの速度はそれほど重要ではなく、時間が経って劣化したらリレーを交換してもよいという場合に、最適な選択肢となります。

リードリレー

また、リードリレーもインダクタを流れる電流を用いて磁界を誘導し、物理的な接点を接続します。ただし、リードリレーの接点はEMRと比べて非常に小さく軽量です。リードリレーは、2つの重なった強磁性ブレード（リードと呼ばれます）を、不活性ガスを充填したガラスまたはセラミックのカプセルで密閉し、周りにコイルを巻き付けたものです。コイルが励起されると、2つのリードが引き寄せられて接点が接続し、リレーの信号パスが導通します。リードのバネの力により、コイルの電流の流れが止まると接点が離れます。

リードリレーは小型化が可能のため、より小さな設置面積に収めることができ、切り替え時間も最大2,000サイクル/sとEMRよりも高速です。また、機械的な可動部品が限定されており、環境が隔離されているため、機械的寿命も最大 10^9 サイクルと長寿命です。

ただし、リードリレーは接点のサイズが小さいため、大きな電力には対応できません。また、自己発熱やアーク放電による破損の影響を受けやすく、リードの小さな部分が溶融する可能性があります。2つのリードが接続している状態で、溶融した部分が固ってしまうと、接点同士が溶接してしまう可能性があります。こうなるとリレーは閉じたままになり、バネの力が2つのリードを引き離すのに十分な場合は一方のリードが壊れてしまいます。破損を防止するに

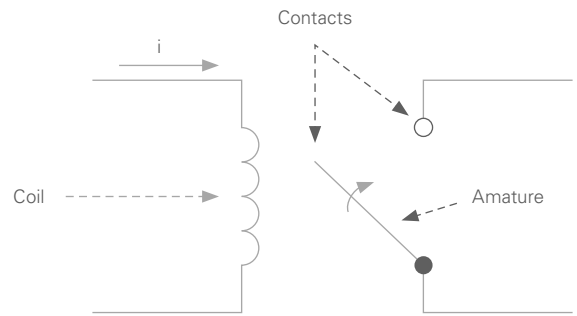


図 16 シングルコイルメカニカルリレーは磁界を用いてメカニカルスイッチを開閉

は、容量性負荷のホットスイッチングによって引き起こされるような大きな突入電流が信号に生じていないかを監視し、直列の保護抵抗を使用して電流スパイクのレベルと持続時間を減らします。リードリレーの保護の詳細については、ホワイトペーパー『[リードリレーの保護](#)』を参照してください。小型で高速なリードリレーは、多くのアプリケーションで優れた選択肢となります。リードリレーは汎用スイッチモジュールよりもマトリクスやマルチプレクサモジュールでよく利用されています。初めて導入する場合はPXI-2530Bがおすすめです。このCOTSスイッチは、さまざまなフロントマウント端子台を入れ替えることで13の固有のマトリクスまたはマルチプレクサトポロジとして構成することができます。

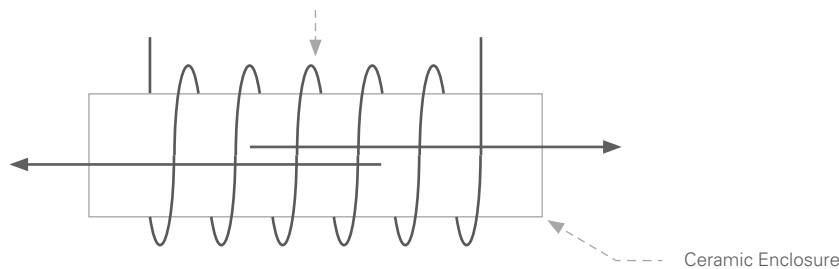


図 17 リードのバネの力により、コイルの電流の流れが止まると接点が離れる

ソリッドステートリレー

ソリッドステートリレー (SSR) は、入力に応答するセンサと、負荷回路への電力を切り替えるソリッドステート電子スイッチングデバイス、および機械部品なしで制御信号を作動させるためのカプリング機構で構成される電子リレーです。通常は、感光性の金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) デバイスと、デバイスを駆動するLEDで構成されています。

SSRのスイッチング時間はLEDのオン/オフに必要な時間に依存するため、最大300サイクル/sと、EMRよりもわずかに高速です。SSRには機械部品がないため、リレーを破損させる可能性のある物理的振動の影響を受けにくく、機械的寿命は無限です。

ただし、SSRには欠点もあります。まず、EMRほど堅牢ではなく、定格外の信号レベルで使用すると容易に破損します。また、高価であり、代替品よりも多くの熱が発生します。さらに、SSRのパス抵抗は1 Ω未満から100 Ω以上と大きくなる場合があります。これは、接続が物理的な金属接続ではなくトランジスタを介した接続であるためです。最近のほとんどのSSRはパス抵抗が改善されており、この影響が軽減されています。

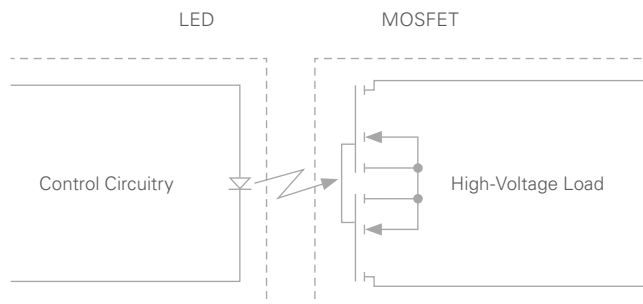


図 18 | SSRはLEDを搭載した感光性のMOSFETを用いてデバイスを作動させる

機械的寿命が無限であるSSRは、信号レベルが小～中程度で、多数のリレーサイクルまで長持ちするリレーを必要とする場合に優れた選択肢となります。COTS SSRスイッチの例としては、PXI-2533があります。PXI-2533は、定格スイッチング電力が55 Wの4 x 64マトリクスで、機械的寿命は無限です。

FETリレー

FETリレーもまた、SSRと同様に機械的なデバイスではなく、信号の経路設定にトランジスタを用いています。SSRと異なるのは、制御回路が、LEDではなくトランジスタのゲートを直接駆動させる点です。

トランジスタのゲートを直接駆動することで、前述のどのリレーよりも高速なスイッチング速度 (最大60,000サイクル/s) を実現できます。また、機械部品を持たないFETリレーは、メカニカルリレーやリードリレーよりもはるかに小型で、衝撃や振動の影響を受けにくく、動作寿命も無限です。ただし、FETリレーのパス抵抗は通常8~15 Ωの範囲と、他のリレーオプションよりもはるかに大きく、また物理的な絶縁がないために、用途が低レベルの信号に限られる場合があります。

平均を下回る ○ 平均 ◎ 平均を上回る ●

機能	アーマチュア	リード	FET	SSR
高電力	●	◎	○	◎
高速	○	◎	●	◎
小型のパッケージサイズ	◎	●	●	●
ローパス抵抗	●	◎	○	◎
低電圧オフセット	◎	○	◎	●
長寿命	○	◎	●	●

表 2 | リレーオプションの比較

FETリレーは、高速なリレー操作や無限の機械的寿命を必要とする低レベル信号およびアプリケーションに適しています。COTS FETスイッチの例としては、PXI-2535があります。PXI-2535は4 x 136マトリクスで、16 μs未満でリレー操作を実行できます。

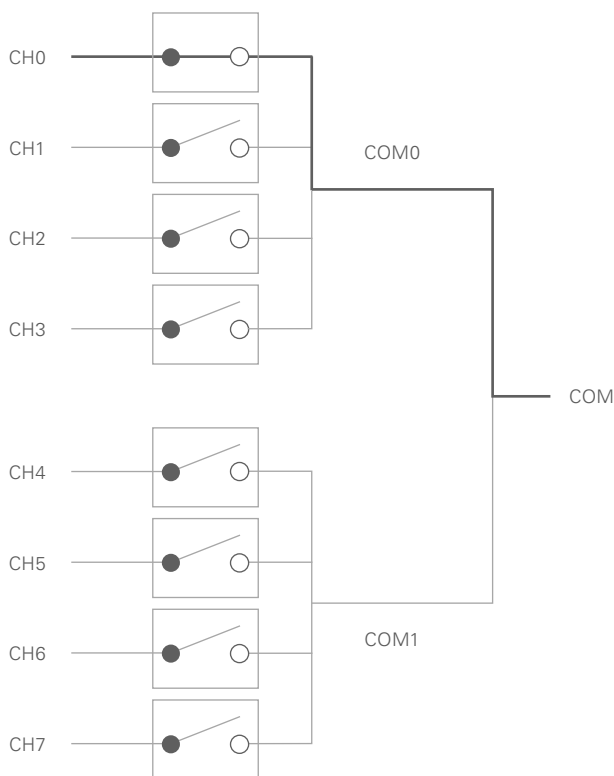
スイッチの拡張

スイッチトポロジを独自に構築する場合、アプリケーションの正確な次元を満たすマトリクスまたはマルチプレクサを作成できます。しかし、お客様の多くは開発作業を削減するためにCOTSスイッチを採用しており、ほとんどのCOTSスイッチは次元が固定されています。したがって、複数のマトリクスまたはマルチプレクサを組み合わせ、より大きなマトリクスまたはマルチプレクサを作成する方法を知っておくことが重要です。

別の方法として、複数のマルチプレクサのCOMを追加のマルチプレクサを介して接続することができます。この方法では特性上、使用できるCOMへのチャンネルパスが1本だけになりますが、より多くのマルチプレクサが必要になります。ただし、この方法でもPCBトレースのスタブが発生するため、帯域幅性能が低下する可能性があります。

マルチプレクサの拡張

マルチプレクサのチャンネル数を拡張するには、複数のマルチプレクサのCOMを直接連結するのが最も簡単です。この方法を用いる場合、入力チャンネルと一緒に短絡してハードウェアが破損する可能性があります。したがって、常にチャンネルの1つのみをCOMに接続する必要があります。Switch Executiveをはじめとする一部のスイッチングソフトウェアは、ソフトウェア除外を定義する機能を備えており、常に複数の入力パスがCOMに接続されないようにすることができます。この方法のもう1つの欠点は、未使用および非終端の経路がスタブとなり、キャパシタンスが増加して高周波性能が低下することです。



19 2つの4 x 1マルチプレクサのCOMを連結して8 x 1マルチプレクサを作成

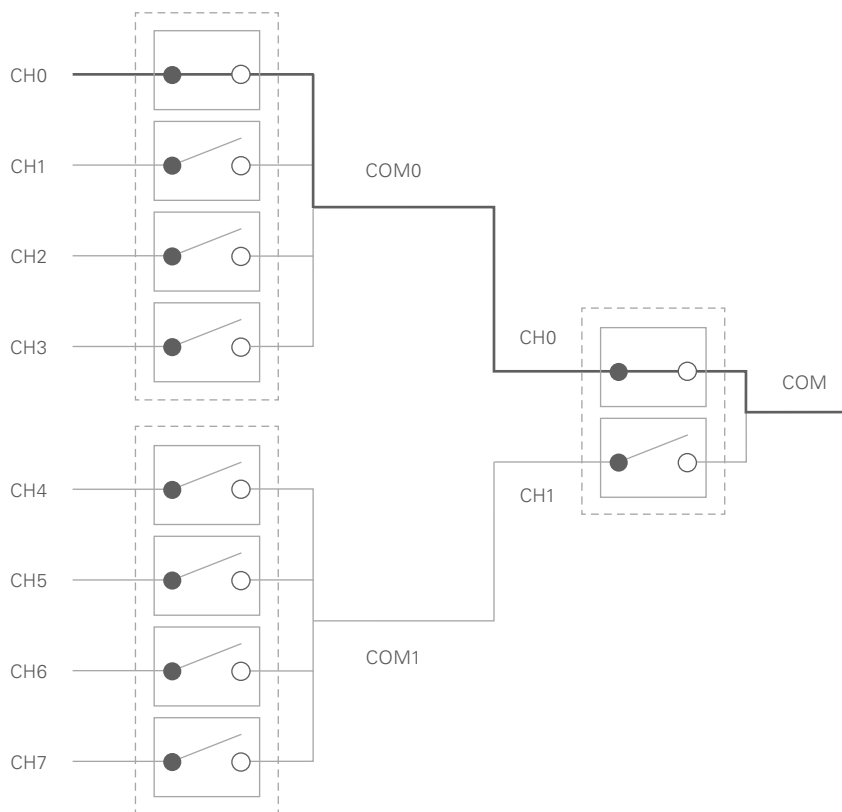


図 20 2つの4 x 1マルチプレクサの個々のCOMを追加のマルチプレクサを介して切り替えることで、8 x 1マルチプレクサを作成

高周波アプリケーションでは、C接点式SPDTリレーを使用して大きなマルチプレクサを作成します。このオプションでは、アクティブな信号パス上にスタブがないことが保証されるため、スイッチの帯域幅を増やすのに役立ちます。

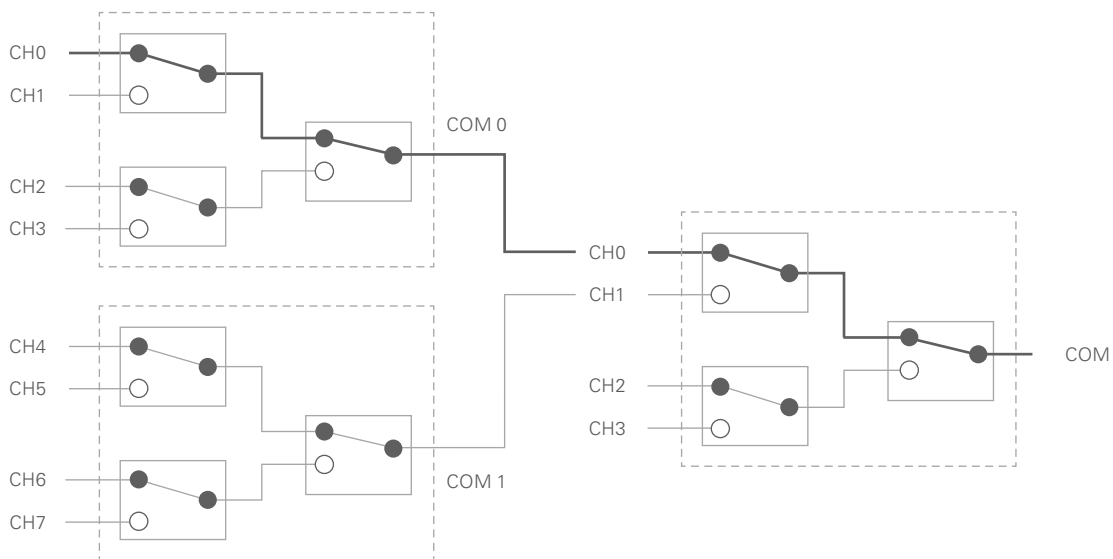
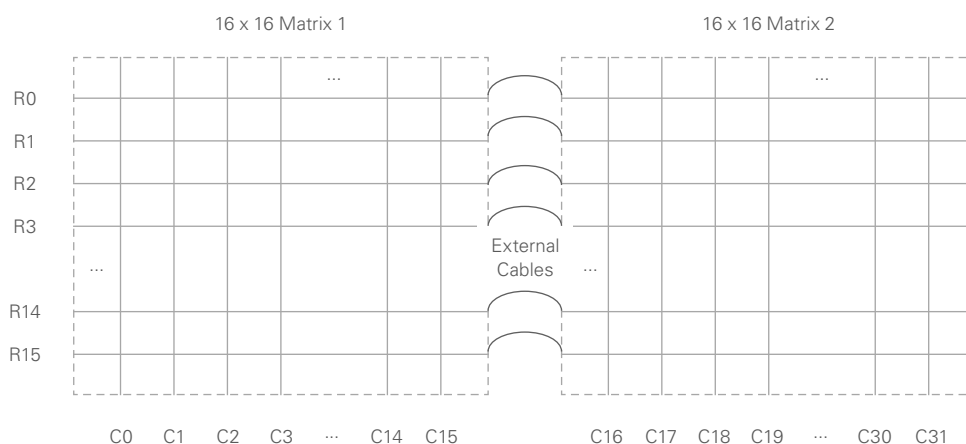


図 21 3つの4 x 1マルチプレクサをC接点式SPDTリレーでカスケード接続することで、8 x 1マルチプレクサを作成

マトリクスの拡張

スイッチマトリクスもまた、単一のCOTSマトリクススイッチのサイズを大幅に超える大規模な構成を作成するための構成単位として利用できます。マトリクスを拡張するには2つの方法があります。まず、2つ以上のマトリクススイッチモジュールの各行を接続することで、マトリクス内の列数を元の数倍にする列の拡張があります。そして、2つ以上のマトリクススイッチモジュールの各列を接続することで、マトリクス内の行数を数倍にする行の拡張も可能です。FETリレーは、高速なリレー操作や無限の機械的寿命を必要とする低レベル信号およびアプリケーションに適しています。COTS FETスイッチの例としては、PXI-2535があります。PXI-2535は4 x 136マトリクスで、16 μ s未満でリレー操作を実行できます。



22 列拡張により作成された16 x 32マトリクス

マトリクスを容易に拡張できるように、PXIe-2532Bなど一部のCOTSマトリクススイッチでは、複数のスイッチモジュールの行を簡単に接続してマトリクスを結合するための専用ケーブルが付属しています。ただし、すべてのマトリクスは、付属のアクセサリがなくても拡張が可能です。マトリクスを手作業で拡張するには、外部ワイヤを使用して個々のマトリクスの行または列を接続します。マトリクスの拡張に関するサンプルやよくある質問などの詳細については、『PXIスイッチモジュールのマトリクス拡張ガイド』を参照してください。

スイッチングの主な仕様

リレータイプとスイッチトポロジに加えて、スイッチサブシステムでは、接続される信号の信号整合性を維持することが重要です。ほとんどのスイッチは信号タイプに応じて低周波数/DCとRFの2つのカテゴリに分類されます。

低周波数/DCスイッチングの仕様

通常、スイッチには電圧および電流の定格が記載されていますが、接点で切り替えることのできる電力の上限を示す最大スイッチング電力の仕様にも注意を払う必要があります。たとえば、150 V、2 Aのスイッチでも、スイッチング電力が60 Wに制限されていて、150 V、2 A (300 W) で使用すべきでない場合があります。したがって、最大の電圧および電流レベルだけでなく、信号の最大電力についても考慮することが重要です。

信号の周波数についても、スイッチを扱う際には注意が必要です。多くの場合、信号はその基本周波数で表現されます。単純な正弦波では問題ありませんが、方形波、または鋭いエッジのある信号を切り替えようとする場合、方形波には基本周波数を大幅に上回る高調波周波数が含まれており、鋭いエッジを形成しやすいことに留意する必要があります。方形波を切り替える場合は、信号の基本周波数の7~10倍の定格のスイッチを選択します。たとえば、10 MHzの方形波を定格10 MHzのスイッチを介して経路設定した場合、出力は方形波よりも正弦波に近くなります。

スイッチの帯域幅の詳細については、ホワイトペーパー『[スイッチ帯域幅を選択する](#)』を参照してください。

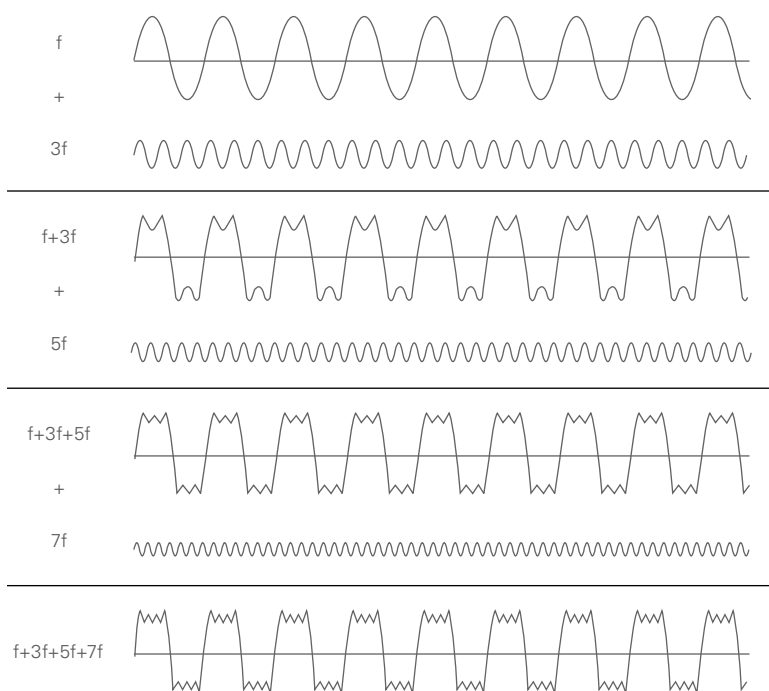


図 23 方形波信号には基本周波数を大幅に上回る高調波周波数が含まれている

スイッチのバス抵抗、接触電位、およびオフセット電圧は、DMM抵抗測定などの低レベル信号の測定に影響を与える可能性があります。したがって、測定への影響を最小限に抑えるスイッチを選択し、誤差の原因となるこれらの要因を補正する測定手法を検討することを推奨します。

低レベル信号の切り替えで誤差を低減する方法については、以下のホワイトペーパーを参照してください。

[パート1: 低電圧信号を切り替える際の誤差を減らす方法](#)

[パート2: 低電流信号を切り替える際の誤差を減らす方法](#)

[パート3: 低抵抗信号を切り替える際の誤差を減らす方法](#)

RFスイッチングの仕様

定格が10 MHzまたは20 MHzを超えるスイッチは、多くの場合、RFスイッチと呼ばれます。RFスイッチは通常、信号整合性を維持するためにチャンネル密度が低くなっています。そのため、帯域幅の増加を必要とする信号パスの場合に使用します。ただし、トポロジや帯域幅からは、RFスイッチの選択を決めるのに十分な情報が得られません。

すべてのRFスイッチには定格の特性インピーダンスがあります。これは、伝播信号が信号パス上でどのように伝送され反射するのかを決定する、伝送ラインのパラメータです。コンポーネントの製造元では、特性インピーダンスが50 Ωまたは75 Ωのいずれかとなるように機器を特別に設計しています。これは、信号の損失や反射が最小限に抑えられるように、RFシステムのすべてのコンポーネントのインピーダンスを合わせる必要があるためです。RF市場の大部分は50 ΩのRFシステムで占められており、ほとんどの通信システムがこれに含まれます。75 ΩのRFシステムは少数派で、主にビデオRFシステムで普及しています。テストシステムに存在する可能性のある他の計測器だけでなく、ケーブルやコネクタなどの部品も含めて、必ずすべてのインピーダンスを整合することが重要です。

帯域幅と特性インピーダンスの他にも、信号整合性に直接影響を及ぼすRFスイッチングの仕様として、挿入損失、電圧定在波比 (VSWR)、絶縁、クロストーク、RF電力などがあります。挿入損失は、信号がスイッチを通過する結果として生じる電力損失および信号減衰の尺度です。VSWRは反射波と送信波の比率であり、特に、「定在波」パターンにおける最大 (反射波が同位相の場合) 電圧と最小 (反射波が異位相の場合) 電圧の比率です。絶縁は、開回路全体に結合している信号の度合いです。クロストークは、別々のマルチプレクサバンクなどの回路同士の間で結合している信号の度合いです。

RFスイッチで興味深いのは、これらすべての仕様が信号周波数によって異なることです。したがって、RFのリレーまたはスイッチを選択する際は、特定の信号周波数において仕様を比較する必要があります。そうしないと、RFスイッチの性能を誤って解釈してしまいます。

RFスイッチの選択の詳細については、ホワイトペーパー『[RFスイッチの主な仕様](#)』を参照してください。

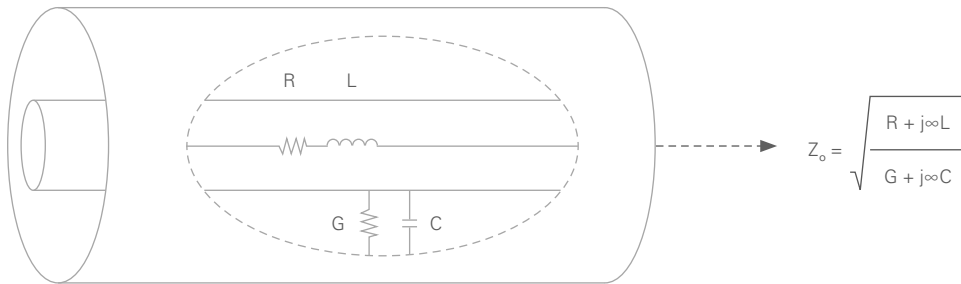


図 24 | 伝送ラインの特性インピーダンス

スイッチングに関するヒントとテクニック

自動テストシステムのスイッチング部分を計画する際に、信号整合性を維持する効率的なスイッチシステムを構築するのに役立つ一般的なヒントをいくつか紹介します。

テストポイントの総数と同時接続数

マトリクスを使用する場合、可能な接続の最大数と同時接続の最大数について考慮してください。可能な接続の総数のみに注目していると、多くの場合、最終的に行全体が各計測器の各I/Oピン専用となります。しかし、この方法ではマトリクスが不必要に大きくなる可能性があります。たとえば、22本の計測器ピンと106個のDUTテストポイントがある場合、22 x 106のマトリクス (2,332個のリレー) を用意し、22本のI/Oピンを行に接続し、106個のDUTテストポイントを列に接続することが考えられます。

しかし、常に接続する必要がある計測器ピンの数が4本しかないとすれば、22 x 106のマトリクスは必要以上に大きく、無駄になります。代わりに、22の列を追加して計測器を配置し、行を列間の経路設定に使用することができます。その場合、マトリクスのサイズは4 x 128 (512個のリレー) となり、元のサイズの20%近くにまで縮小します。この結果、テスト時間や品質に影響を与えることなく、スペースとコストを削減できます。

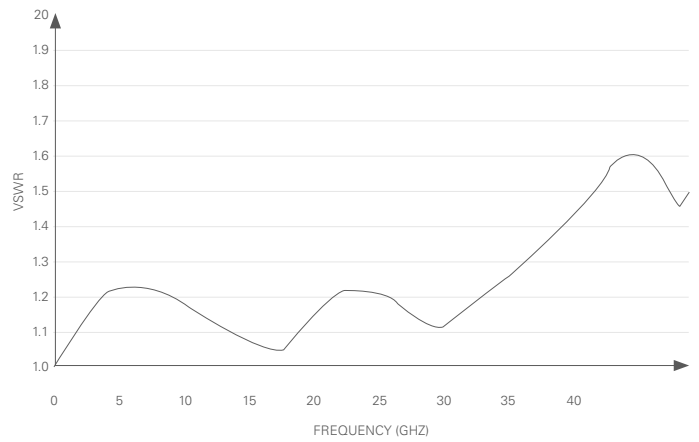
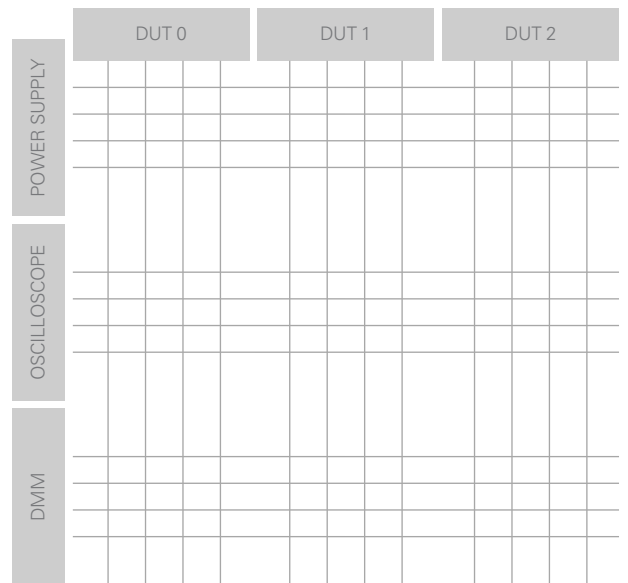
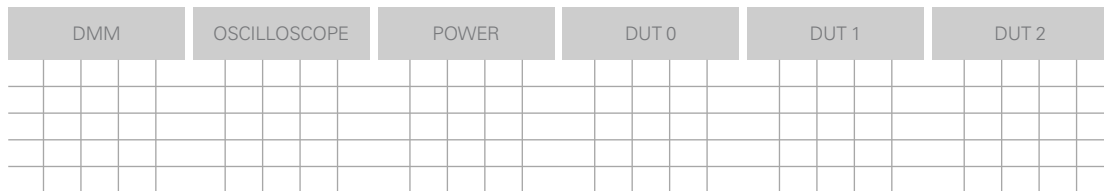


図 25 方形波信号には基本周波数を大幅に上回る高調波周波数が含まれている



2,332 CROSSPOINTS



512 CROSSPOINTS

図 26 逐次テストの実行中は、列に計測器を配置し、行を経路設定に使用して、マトリクスのスペースを節約するが、並列テストでは高速な要件に対応できるように計測器を行に配置する

N線式スイッチ

多くのマトリクスまたはマルチプレクサスイッチモジュールは、標準の単線式スイッチモードの代わりに、対象のトポロジ内で2本または4本の信号パスを切り替えることができます。単線式スイッチを使用すると、さまざまな信号を、測定実行時に単一の信号またはグラウンドを基準とするような計測器へ経路設定できます。

場合によっては、同時に複数の信号を切り替えることが必要になります。2線式（差動）スイッチは、1つのコマンドで制御できる2本の信号パスを備えています。このため、差動信号を簡単に切り替えることができ、優れたコモンモードノイズ除去が実現します。4線式スイッチは通常、4線式抵抗測定に使用します。4線式抵抗測定では、2本のリード線を励起に使用し、他の2本のリード線でDUTの電圧降下を測定します。

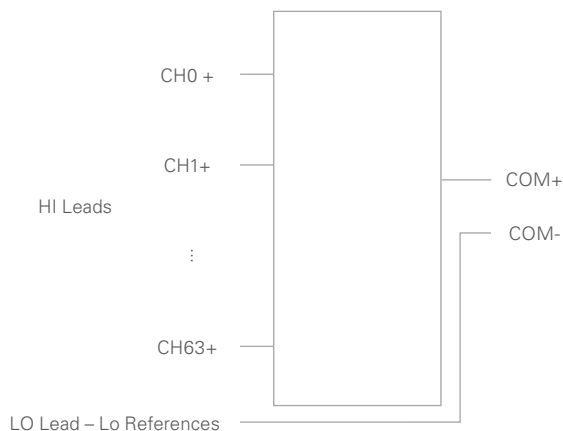


図 27 シングルエンドマルチプレクサは、共有信号またはグラウンドを基準とする測定に最適

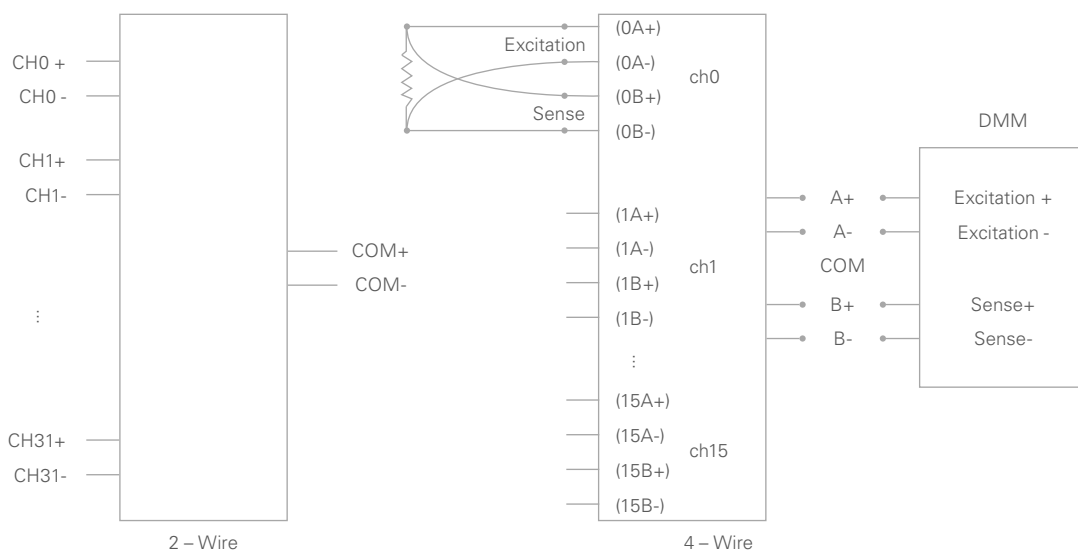


図 28 2線式または4線式スイッチを使用して、複数の信号パスを同時に切り替える

スイッチ電力

多くの場合、テスト要件の計画には最大電圧および電流レベルが盛り込まれますが、瞬時電力は見落とされがちです。スイッチまたはリレーの定格が100 Vおよび2 Aであっても、200 Wに対応できるとは限りません。多くのスイッチでは、最大定格電力と、定格電圧および電流とは完全に別なものになっています。たとえば、一般的なリードリレーの定格が100 Vおよび500 mAであっても、最大定格電力が10 Wとなっている場合があります。したがって、スイッチを選択する際は最大瞬時電力レベルを考慮する必要があります。

高レベルの信号を汎用または低レベルの信号から分離する

一般に、高電力または高周波の信号用の定格を備えたスイッチは、汎用信号用のスイッチよりも低密度です。したがって、メインのスイッチシステムのチャンネル密度が維持されるように、高電力または高周波数の信号をメインのスイッチシステムから分離してください。1つのスイッチですべての信号に対応し、高レベルの信号を処理するような仕様で構築しようとする、大規模で高価になる可能性があります。

RFの仕様を信号周波数に基づいて比較する

RFスイッチを比較する際は、信号周波数に基づいて仕様を評価してください。絶縁、VSWR、挿入損失、RF許容電力など、RFの仕様の多くは信号周波数によって異なります。正確な比較を行うには、スイッチの詳細な仕様を参照して、対象周波数における仕様を確認してください。また、スイッチのベンダにより、カテゴリごとに保証済みの仕様と標準的な仕様を公開している場合もあれば、見かけ上保証済みの仕様よりも大幅に優れた標準的な仕様のみを公開している場合もあります。

最大のスイッチング速度を実現するハードウェアトリガスイッチを検討する

多くの自動テストのシナリオでは、時間が重要です。スイッチの多くはソフトウェアコマンドを使用して個別に制御され、それぞれのスイッチ操作にはバスのレイテンシとソフトウェアのオーバーヘッドが加わります。スイッチによってはハードウェアのタイミング/トリガ機能を備えたものがあり、スイッチ接続のリストをスイッチのオンボードメモリにロードし、ハードウェアトリガを使用して接続リストをひとつおりに処理することができます。スイッチ操作が完了するたびに、スイッチから計測器にトリガを送信して次の測定を開始することができます。

この操作はスイッチハンドシェイクと呼ばれ、従来型のソフトウェアトリガスイッチに伴うソフトウェアのオーバーヘッドやバスのレイテンシをなくすることができます。特にFETやSSRなど、ソフトウェアのオーバーヘッドとバスのレイテンシが各スイッチ操作の大きな部分を占める高速のリレータイプの場合に、スイッチハンドシェイクが重要になります。リードリレーでスイッチハンドシェイクを利用するアプリケーションでは、合計のスイッチング時間が10倍向上し、FETスイッチでは100倍以上向上する可能性があります。リレーが高速であればあるほど、スイッチハンドシェイクによってスループットが向上します。

次のステップ

NIのスイッチ製品

多数のテストポイントで高確度、低速の測定を行う場合でも、または集積回路の高チャンネル、高周波数の特性評価を行う場合でも、PXIをベースとし、柔軟性に優れた、NIのモジュール式スイッチソリューションを採用することにより、装置の再利用、テストスループット、システム拡張性を最大限に高めることができます。

[NI PXIスイッチ製品の詳細](#)

Switch Executive

Switch Executiveは、複雑なスイッチシステムの開発を迅速化し保守管理を簡素化するインテリジェントなスイッチ管理/経路設定アプリケーションです。ポイントアンドクリック方式で行えるグラフィカル構成や自動経路設定機能、直感的なチャンネルエイリアスを利用することで、テストシステムの設計とドキュメント化が容易になります。

[Switch Executiveの詳細](#)

NI スイッチヘルスセンター

リレー管理を容易にし、多チャンネルシステムの信頼性を高めるために開発されたNI スイッチヘルスセンターは、スイッチのすべての経路にテスト信号を送信して各リレーの状態を確認します。不具合を起こしたリレー、開いたままになっているリレー、または閉じたままになっているリレーがあると判断すると、ユーザーに通知し、抵抗値の変化を報告してリレーの寿命が近づいているかどうかを判断します。

[NI スイッチヘルスセンターの詳細](#)