

次世代ワイヤレスアプリケーションのための柔軟なテストソリューション

序論

次世代ワイヤレスアプリケーション向け接続デバイスの急増により、より迅速で革新的、そしてコストパフォーマンスに優れたテストソリューションの需要が高まっています。コストの削減とテストスループットの向上が、設計検証段階および量産ラインでのテストの双方から求められています。テストエンジニアは、被試験デバイス (DUT) の接続数を減らし、かつ複数のテストを平行して行える方法を模索しています。

1つのテストシステムですべてのテストを行える万能なソリューションは、現実には存在しません。テストシステムの仕様は、「設計プロセスと同時に作成されることが多く、テスト機器ベンダーはお客様の仕様に対して迅速かつ柔軟に対応する必要があります。テストシステムの開発期間は、お客様の製品リリースまでの期間に直接影響を及ぼすため、テストシステムサプライヤーは、お客様のニーズに合わせて迅速に提案することが不可欠です。

Mini-Circuits では、経済性、信頼性、柔軟性、迅速性の原則に基づいて、テストおよび測定アプリケーション向けの製品ラインアップを充実させました。弊社はこの豊富で多彩なコンポーネントを常に在庫しているため、ビルディング・ブロック・アプローチにより、お客様の仕様に合わせたカスタムテストシステムを最短2週間で出荷することができます。テストエンジニアは、スイッチ、スプリッタ/コンバイナー、アッテネータ、アンプなどを組み合わせ、DUT とテスト機器間のシグナルトラフィックを管理します。この記事では、特に Mini-Circuits の RF スイッチをどのように構成すれば、量産ラインでのテスト効率を改善できるかに焦点を当てます。

スイッチマトリクスと自動シグナルルーティング

実際のテストアプリケーションで使用される RF およびマイクロ波スイッチは、シグナルトラフィックを管理し、テストを自動化するためにスイッチマトリクスとして構成されることが多くあります。テストシグナルはスイッチマトリクスを通過するため、その性能は測定の精度、再現性、効率に直接影響します。所定のテストシステムを構築する際に、テストエンジニアは可能な限り、DUT を適切に手sとすることに集中する必要があります。重要なことは、採用されたテストソリューションが DUT に必要な電力レベルで正しい信号を供給すること、またテストポート間のアイソレーションが測定の完全性を維持することです。

テスト アプリケーション用の RF スイッチの主な特性には次のようなものがあります。

- アイソレーション- スイッチが信号のオンポートから、オフポートへの RF 漏洩を低減する度合い。
- 挿入損失- 伝送線路の固有損失による、入出力間の減衰量。
- 最大定格電力- スイッチがダメージを受けることなく入力できる、RF 電力の最大値。
- 切り替え時間- 1つの状態から別の状態に切り替えるまでにかかる時間。通常はミリ秒からナノ秒単位まで。
- スイッチの寿命- スイッチが故障するまでに保証される、切り替え回数。

テストシステムの要求仕様は、アプリケーションごとに異なる場合が多く、複雑なアプリケーションに対応したスイッチマトリックスのルーティングとパフォーマンスの決定には、多くのコストと時間がかかることがあります。この課題を解決するために、Mini-Circuits ではシグナルルーティング用の高次スイッチマトリックスを含む、モジュラー式さらに完全なカスタムテストソリューションを提供しています。これらのシステムに組み込むスイッチのタイプ（メカニカル、ソリッドステート、MEMS）はお客様の仕様に基づいて選択します。（Mini-Circuits は 2025 年に MEMS スwitch の製品をラインアップに追加しました）。

メカニカルスイッチ、ソリッドステートスイッチと MEMS スwitch の主な違い
 テストアプリケーション用のスイッチマトリックスの実例を説明する前に、それぞれのタイプの特長を確認します。RF スwitch は、メカニカルとソリッドステート(半導体)及び MEMS の3つのタイプに分類されます (図 1)。



図 1 : SP4T メカニカルスイッチ ZK-MSP4TA-18(左)、SP4T ソリッドステートスイッチ USB-1SP4T-183(中)、MEMS スwitch MEM-1SP4T-18(右)。この中から 1 種類のスイッチのみを使用した設計ですべてのテストニーズを満すことは出来ません。多くの場合、性能、速度、切り替え回数のトレードオフが必要です。

メカニカルスイッチ

メカニカルスイッチは、一般的により高い RF パワーレベルに対応でき、もっとも損失が低くまたアイソレーションは最大となる傾向があります。しかし、スイッチング速度が遅く、サイズが大きく、通常は DC 消費電力も高くなります。よく設計されたメカニカルスイッチは、数百万回のスイッチング寿命を持つことができますが、大量生産で行う半導体テストのような用途では、この限界もすぐに超えてしまう場合があります。表 1 に TTL メカニカルスイッチの例を示しています。Mini-Circuits では、個別の DC または TTL 制御部品から、Ethernet や USB 制御を備えた統合型テストラックまで、幅広いフォームファクタと制御オプションを持つメカニカルスイッチを提供しています。

Model Name	Switch Type	Frequency	Insertion Loss (Typ)	Isolation (Typ)	Power Rating (Cold Switching)
ZK-MSP8TA-12	SP8T	DC-12 GHz	0.4 dB	90 dB	20W
ZK-MSP6TA-12	SP6T	DC-12 GHz	0.25 dB	90 dB	20W
ZK-MSP4TA-18	SP4T	DC-18 GHz	0.5 dB	80 dB	20W
ZK-MSP2TA-18	SPDT	DC-18 GHz	0.3 dB	80 dB	20W

表 1: Mini-Circuits 高性能 TTL メカニカルスイッチの代表的な例

ソリッドステートスイッチ

一方、ソリッドステートスイッチは、はるかに高速なスイッチング速度、優れた再現性、そして大幅に長い寿命を持つ傾向があります。物理的な可動部品がないため、寿命はスイッチング回数によって制限されることはなく、代わりにソリッドステート技術のMTTF（平均故障時間）によってのみで評価されます。これらの特性は、特に大量生産テストの用途においては非常に望ましいものです。なぜなら、スイッチング速度はテストスループットに直接関係し、またスイッチは頻繁な使用下でも交換の必要が大幅に減るからです。一方で、ソリッドステートスイッチには、許容電力が低いことやアイソレーションが低いという制限もあります。特にアイソレーションは、テストシステムからキャリブレーションで除去するのが難しく、自動化テストにおいて非常に重要なパラメータとなります。アイソレーションが不十分なスイッチでは、不要な信号が測定経路に流れ込み、測定の信頼性を損なう可能性があります。これにより、システムの精度が低下し、不確かさやタイミング仕様の決定が難しくなることがあります。

幸いなことに、Mini-Circuits のエンジニアは、広帯域でのアイソレーション性能を飛躍的に向上させ、低アイソレーションに伴ういくつかの課題を克服したソリッドステートスイッチ設計を開発しました。Mini-Circuits は現在、DC から 67GHz までの周波数範囲に対応し、場合によっては最大 110dB のアイソレーションを実現した、コストパフォーマンスに優れた USB 制御ソリッドステートスイッチを幅広く提供しています。

最大 67GHz 動作の eSB および RCS シリーズは、V バンドまでのテストをサポートするために開発されました。最大 18GHz まで動作する超高速スイッチング（標準 100ns）PIN ダイオードをベースとした TTL 制御ソリッドステートスイッチは、5G FR1 および FR3 の通信テスト仕様に最適化されています。これらの利点や新製品のイノベーションは、メカニカルスイッチのフルラインナップの機能と組み合わせることで、エンジニアはディスクリットコンポーネントを使うのか、また完全統合型のカスタマイズソリューションを調達するのかなど、多彩な選択肢を得ることができます。

Model Name	Low (GHz)	High (GHz)	Switch Type	Switches	Termination	Loss	Isolation	Transitions	Power	Control Interfaces
U2C-1SP2T-63VH	10	6	SP2T	1	Absorptive	4.0 dB	110 dB	700 ns	36 dBm	USB + I ² C + SPI
USB-SP4T-63	1	6	SP4T	1	Absorptive	1.0 dB	50 dB	3 μs	27 dBm	USB
USB-2SP2T-DCH	DC	8	SP2T	2	Absorptive	1.4 dB	50 dB	10 μs	35 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP16T-83H	1	8	SP16T	1	Absorptive	7.5 dB	100 dB	5 μs	30 dBm	USB + TTL + Daisy-Chain
USB-4SP2T-852H	10	8.5	SP2T	4	Absorptive	2.0 dB	80 dB	250 ns	30 dBm	USB + Daisy-Chain
U2C-1SP4T-852H	2	8.5	SP4T	1	Absorptive	3.7 dB	80 dB	250 ns	30 dBm	USB + I ² C
USB-2SP4T-852H	10	8.5	SP4T	2	Absorptive	2.5 dB	85 dB	5 μs	30 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP8T-852H	10	8.5	SP8T	1	Absorptive	4.0 dB	80 dB	250 ns	30 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP2T-183	100	18	SP2T	1	Absorptive	2.0 dB	65 dB	50 ns	25 dBm	USB + Daisy-Chain
TTL-1SP4T-183	100	18	SP4T	1	Absorptive	4.0 dB	60 dB	50 ns	30 dBm	TTL
USB-1SP4T-183	100	18	SP4T	1	Absorptive	4.0 dB	65 dB	20 ns	25 dBm	USB + Daisy-Chain
TTL-1SP8T-183	100	18	SP8T	1	Absorptive	5.7 dB	60 dB	50 ns	30 dBm	TTL
USB-1SP8T-183	100	18	SP8T	1	Absorptive	5.7 dB	60 dB	25 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP2T-34	100	30	SP2T	1	Absorptive	2.8 dB	60 dB	5 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP4T-34	100	30	SP4T	1	Absorptive	4.5 dB	60 dB	10 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP8T-34	100	30	SP8T	1	Absorptive	5.0 dB	80 dB	25 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
USB-1SP2T-A44	100	43.5	SP2T	1	Absorptive	3.5 dB	50 dB	10 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
eSB-1SP2T-A673	100	67	SP2T	1	Absorptive	4.0 dB	45 dB	600 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
RCS-1SP2T-A673	100	67	SP2T	1	Absorptive	4.5 dB	45 dB	600 ns	24 dBm	LAN + USB + Daisy-Chain
USB-1SP2T-673	100	67	SP2T	1	Reflective	4.0 dB	35 dB	5 μs	27 dBm	USB + Daisy-Chain
eSB-1SP4T-A673	100	67	SP4T	1	Absorptive	6.0 dB	45 dB	600 ns	24 dBm	USB + Daisy-Chain
RCS-1SP4T-A673	100	67	SP4T	1	Absorptive	6.5 dB	45 dB	600 ns	24 dBm	LAN + USB + Daisy-Chain

表 2. Mini-Circuits 高性能ソリッドステートスイッチの代表的な例。Mini-Circuits の各モデルは、幅広いスイッチ構成、制御インターフェース、および性能パラメータを提供しています。

新技術：MEMS スイッチ

スイッチ製品ラインナップを完成させるために、Mini-Circuits は最近、MEMS 技術を用いたスイッチを発売しました。MEMS（マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システム）は、ソリッドステート型と電気・機械型スイッチの両方の優れた特性を組み合わせることを目指した新しい技術です。精密工学を駆使して、メカニカルスイッチのトポロジジーをソリッドステート集積回路のように動作するフォームファクタにまで小型化しています。

MEM-SP4T-A18 は、最大 18GHz で動作する SP4T 吸収型スイッチです。この MEMS 技術は 1GHz、30GHz の電力で従来の機械的スイッチ(300 億回のスイッチサイクル)よりもけた違いに大きな寿命で、DC パスと広帯域動作を可能とします。が可能となり、スイッチ寿命は従来のメカニカルスイッチよりも桁違いに長く（1GHz・30dBm 動作時で 300 億回のスイッチングサイクル）、図 2 に、MEM-SP4T-A18 の一般的な電力および寿命の定格曲線を示しています。

その他の利点として、高速スイッチングタイム（15 μ s）、優れたリニアリティ（90dB IP3）、定格電力 25W CW（1GHz でコールドスイッチング時）などがあり、いずれも DC 消費電力が極めて低く抑えられています。MEMS スイッチは一般的なメカニカルスイッチと同じフットプリントで開発されているため、極めて高いスイッチ寿命を必要とする用途へのシームレスな移行が可能です。ロードマップでは、より高密度なスイッチモデルも検討されます。

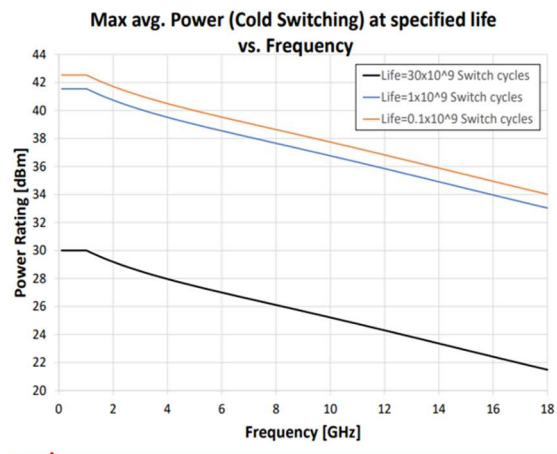


図 2. MEM-SP4T-A18 最大電力対スイッチ寿命グラフ

事例 1: 携帯電話ネットワークテスト用の高次スイッチングシステム

最初の実例は、ある携帯電話事業者がネットワーク上に増設された新しい基地局 (BTS) 装置を検証するためのテストシステムです。このテストシステムでは、新たな BTS ノードの各チャネルを評価し、仕様を満たしていることを確認する必要がありました。また、増設された BTS 装置が既存の装置に悪影響を与えずに動作することを確認すること。さらに増設された BTS 装置に対応した携帯電話への妥当性検証も可能にする必要がありました。

この機能を実現するためには、独立した 6 つのテストステーションを 20 の BTS チャネルのいずれか。またはすべてに接続するシグナルルーティングシステムが必要です。必要に応じて複数のユーザーが同じ BTS に接続できるようにセットアップをする必要がありますが、どのテストステーションがどの BTS にアクセスできるかを制限するための制御メカニズムも必要となりました。これらの仕様を満たすために、Mini-Circuits は、20x6 のノンブロッキング・フルアクセス・スイッチマトリックス ZT-20X6NB を開発しました。この双方向スイッチマトリックスは、世界の主要な通信帯域である 600 MHz から 6 GHz をカバーし、ポート B1~B6 (図 3 参照) からポート A1~A20 へ、任意の組み合わせで接続するようにプログラムでき、複数の入力ポートを同じ出力ポートに同時に接続することができます。この柔軟性によりノンブロッキング構成は、この携帯電話事業者が構築していたような、マルチユーザ、マルチデバイスのテストシステムに最適です。

このシステムは、コンパクトな高さ 5 U (約 10 インチ) のラックマウントシャーシとして設計され、簡単にアクセスできるようフロントパネルには 26 個の RF コネクタ (N タイプ) すべてを備えています (図 4)。USB とイーサネットのコントロール・インターフェースを備え、またタッチスクリーンも内蔵しているため、ユーザーは多彩な制御が可能です。ソフトウェアは、どなたにも使いやすい Mini-Circuits の GUI アプリケーションを通じて提供されます、ネットワーク経由または USB 接続を介したリモートコントロールが可能となります。Windows 用の ActiveX および、NET API オブジェクトと HTTP/Telnet サポートにより、一般的なプログラミング環境との互換性を確保しています。

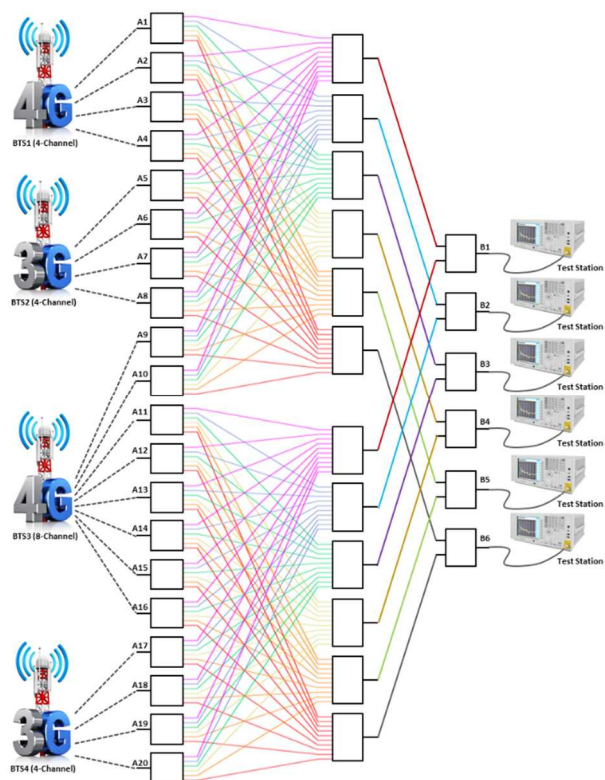


図 3: ZT-20X6NB スイッチ・マトリックスを利用した、マルチユーザベースステーション試験システムの機能概略図。6 つの独立したテストステーションと、20 BTS チャネルは相互にすべて接続が可能。

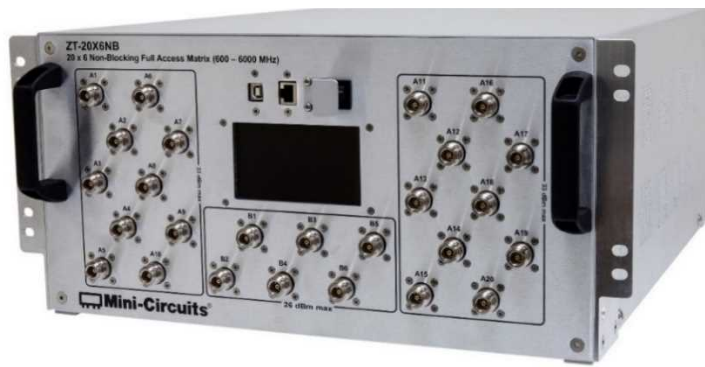


図4: ZT-20X6NB 6U, 10-inch ラックマウントシャーシ.

事例 2: 高速スループット用ソリッドステートスイッチの組み込み

600 MHz から 6 GHz までの通信テストに対応した別の例を見てみましょう。図5は、8x24 スイッチマトリックスのサブアセンブリです。このユニットは大型の 24x48 システムの一部で、信号調整用のプログラマブルアッテネータも含まれています。この場合は、スイッチマトリックスの最大通過損失を 12 dB とし、テストポート間のアイソレーションは 120dB を確保する必要がありました。また目標とするスループット仕様は、DUT テスト時間を 30msec 未満とすることでした。

目標仕様を満たすために、このシステムはメカニカルとソリッドステートスイッチの組合せを採用しました。8ポート側には SP4T メカニカルスイッチ(MSP4TA-18+)を使用し、0.2 dB の挿入損失と 90 dB のアイソレーションを実現しました。このメカニカルスイッチの 20msec というスイッチング速度は、この段階で目標値を満足しています。

図5は、SP4T メカニカルスイッチを超えた先にある、精巧なスイッチングネットワークを示しています。このシグナルルーティングを実現しテスト時間仕様を満たすために、SPI 制御の SP10T ソリッドステートスイッチ(SPI-SP10T-63)を使用しました。

このスイッチの 6 μ sec のスイッチング速度により、メカニカルスイッチが 1 サイクルを実行する時間よりも早くすべてのスイッチの切り替え可能です。また 80 dB のアイソレーションと +27 dBm の最大定格電力を実現し携帯電話事業者の要求仕様を満たします。この例ではメカニカルスイッチとソリッドステートスイッチの両方の利点を活かし、幅広いテストが可能となりました。

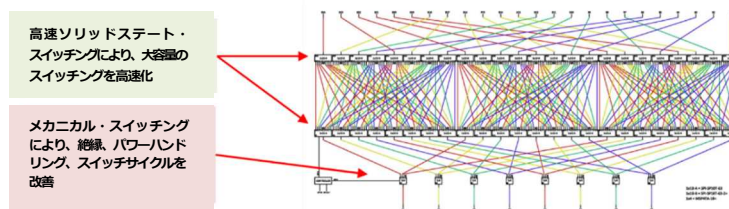


図5. 各々のスイッチの特長を生かしたスイッチマトリックスの最適設計

40GHz への拡張

上記の例は、Mini-Circuits が複雑なテスト仕様に合わせて RF スイッチマトリックスをカスタムメイドした 2 つの例にすぎません。

5G テストやその他の高周波テストの要求事項をサポートするため、Mini-Circuits は、同様の方法で構成できる最大 26.5GHz と 40GHz の動作周波数範囲を持つメカニカルスイッチも用意しています。

業界が多種多様なワイヤレスデバイスの開発に取り組む中、高速で効率的、コストパフォーマンスに優れたテストソリューションの必要性はますます高まります。この傾向を念頭に置き、この記事ではカスタム・スイッチ・マトリックスは、テストエンジニアがテスト・セットアップ効率の最適化をするために、どのように役立つか概要を説明しました。

Mini-Circuits は多くのお客様と連携し、40 GHz まで動作するシステムや、減衰量制御、信号増幅、信号分配やその他の機能も組み込んだシステムで成功を収めてきました。

Mini-Circuits のホームページ上でテストソリューションのすべてのポートフォリオをご覧ください。独自のモジュラー式テストシステムをオンラインで構成することが可能となりました。その他、販売および技術サポートについては下記の Email アドレスへ、お気軽にお問い合わせください。

Mini-Circuits テストソリューション リンク

<https://www.minicircuits.com/products/PortableTestEquipment.html>

販売および技術サポート Email

support@minicircuits.co.jp