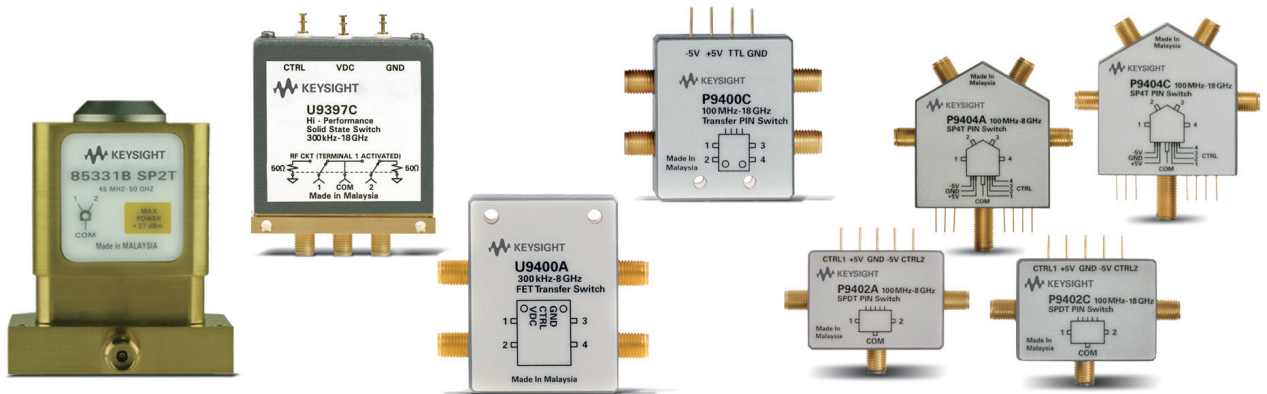


Keysight Technologies 半導体スイッチ

Application Note



はじめに

アプリケーションに適したスイッチテクノロジーの選択

RF/マイクロ波スイッチは、マイクロ波システムで測定器と被試験デバイス(DUT)間の信号ルーティングに広く用いられています。スイッチをマトリックスシステムとして構成すれば、複数の測定器からの信号を複数のDUTにルーティングできます。これにより、接続と取り外しを頻繁に繰り返す必要がなく、複数のテストを同じセットアップで実行できるようになります。この結果テストプロセス全体を自動化でき、製造でのスループットが向上します。

要約

適切なスイッチを選択するには、RF性能、信頼性、スイッチング時間、伝送電力などの情報を集める必要があります。このアプリケーションノートでは、各種スイッチテクノロジーの情報だけでなく、最新のキーサイト製品のセクションガイドも含まれています。ここでは、現在主に使用されている2つのスイッチテクノロジー、半導体スイッチと電磁(EM)スイッチを取り上げ、代表的な性能を詳細に紹介しながら動作原理を中心に、スイッチテクノロジーについて説明します。

スイッチのタイプ

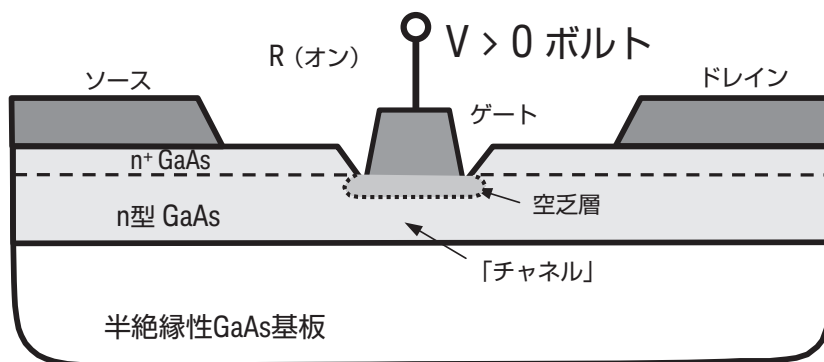
スイッチを選択するには、スイッチ同士の基本的な違いを理解することが重要です。コネクタ付きのRF/マイクロスイッチモジュールには、主なタイプとして以下の2種類があります。

- a) 電気機械式スイッチ。スイッチングメカニズムとして機械的な接点を使用します。
- b) 半導体スイッチ。半導体スイッチには、電界効果トランジスタ(FET)とPINダイオードの、2つの主要タイプがあります。FETスイッチは、チャンネル(空乏層)を形成して、FETのドレインからソースに電流が流れるようにします。PINダイオードは、P型半導体とN型半導体の間に、高抵抗の絶縁層(I)があります。

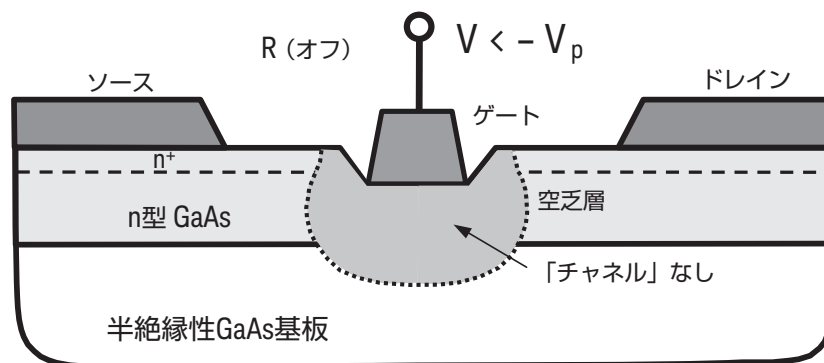
半導体スイッチの概要

FETとPINダイオードは、長い間スイッチングアプリケーションに使用されてきました。スイッチの動作を理解するために、その特性について簡単に説明します。

FETを使用したスイッチング



a) 低チャンネル抵抗 (オン)



b) 高チャンネル抵抗 (オフ)

図1. 電界効果トランジスタの「オン」ステートと「オフ」ステート

FETを使用したスイッチング
(続き)

FETスイッチは、ドレイン-ソース間抵抗(RDS)の制御に優れ、非常に高い安定性と再現性を示します。図1(a)は、低チャンネル抵抗(RDS=RON)を示し、FETスイッチが低い周波数(DCまで)で動作できます。図1(b)に示すオフステートでは、伝導チャンネル内の電子が空乏化する(ピンチオフになる)ため、FETが非常に高い抵抗(ROFF)を示します。このメカニズムにより、FETの低周波での優れたアイソレーションが保証されます。FETのアイソレーションは、ドレイン-ソース間キャパシタンス(CDS)の影響により、周波数が高くなると悪くなります。図2に、GaAs MESFETのスキーマティックを示します。式1から、ドレイン-ソース間インピーダンスは10 GHzで320 Ωになります。これは、ドレイン-ソース間の10.5 dBのアイソレーションに相当します。このため、FETスイッチでは、高周波では良好なアイソレーションが得られません。

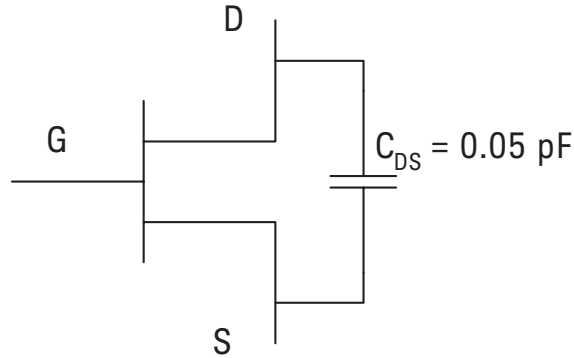


図2. GaAs MESFETのスキーマティック

$$C_{DS} = 0.05 \text{ pF}, f = 10 \text{ GHz}$$

$$|X_C| = \left| \frac{1}{j\omega C} \right| = \left| \frac{1}{j2\pi f C} \right| \approx 320 \text{ } \Omega \quad \text{式1}$$

PINダイオードを使用したスイッチング

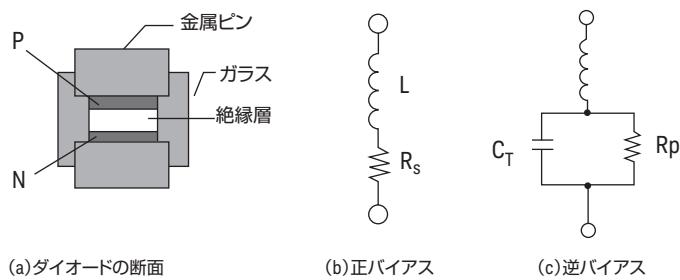


図3. PINダイオードの等価回路

PINダイオードは、もう1つの主要なスイッチングテクノロジーです。PINダイオードの構造は、図3(a)に示すように、高濃度ドーピングのP型半導体領域とN型半導体領域の間に高抵抗の絶縁層(I)があります。

PINダイオードを使用した スイッチング(続き)

PINダイオードが正バイアスの場合、P型領域からの正電荷とN型領域からの負電荷がI層に注入されて、I層の伝導率が上がり、抵抗が低下します。図3(b)に、正バイアスのPINダイオードの等価回路を示します。Lは寄生インダクタンス、RSは直列抵抗です。値は約1 Ωで、バイアスとPINダイオードの構造によって変わります。

逆バイアスまたはゼロバイアスでは、I層の電荷が枯渇し、図3(c)に示すようにPINダイオードが非常に高い抵抗(R_p)を示します。CTはPINダイオードの全キャパシタンスで、これは、ダイオードの接合容量(C_{j0})と寄生キャパシタンス(C_p)の合計です。キャパシタンスは、アイソレーションのロールオフや挿入損失の増加といった形で高周波でのスイッチ性能を制限します。低キャパシタンスのダイオードを使用すると、高周波における性能を改善できる場合があります。

PINダイオードには重要な特長として、RF/マイクロ波周波数ではほぼ純粋に抵抗として機能するという基本特性があります。その抵抗値は、流れる電流の量に応じて10 KΩから1 Ω未満の範囲で変化します。PINダイオードには、次の2つの主要な特性があります。

- PINダイオードの最低動作周波数は、式2で表されます。PINダイオードは、この周波数より下で動作する場合、PN接合ダイオードのように動作します。RF信号がダイオードによって整流されます。

$$f = \frac{1}{2\pi\tau} \quad \text{式2}$$

ここで、 τ は少数キャリアの寿命です。

- PINダイオードのRF/マイクロ波周波数におけるインピーダンス(正バイアス)は、主としてRF/マイクロ波信号ではなくDCの正バイアスに依存します。

ハイブリッドスイッチ

PINダイオードにもFETにも明確な利点がありますが、どちらも広い帯域幅とアイソレーションを同時に満足することはできません。そこで、FETとPINダイオードテクノロジーを使用したハイブリッドスイッチを作成することで、広帯域と高いRF性能のスイッチングを実現します。

以下にハイブリッドスイッチの動作原理を簡単に説明します。

ハイブリッドスイッチでは、以下が使用されます。

- 周波数応答をDCまで拡大するための直列FET(直列FETにより、優れた低周波数アイソレーションが得られます)。
- 高周波で良好なアイソレーション性能を得るための1/4間隔のシャントPINダイオード

PINダイオードの代わりに直列FETを使用すると、 R_{DS} オンが正しく制御されるので再現性も向上します。

スイッチの選択

アプリケーションに適したスイッチの選択するためのガイドラインを紹介します。

表1は、電気機械式スイッチと半導体スイッチの主な性能の比較です。

表1. 電気機械式スイッチと半導体スイッチの性能比較(代表値)

スイッチ タイプ	半導体スイッチ			
	電磁スイッチ	(FET)	(PIN)	(ハイブリッド)
周波数レンジ	DC~	DC~	MHz~	kHz~
挿入損失	低	高	中	高
アイソレーション	全周波数で良好	低周波で良好	高周波で良好	高周波で良好
リターンロス	良好	良好	良好	良好
再現性	良好	優秀	優秀	優秀
スイッチング速度	低速	高速	高速	高速
伝送電力	高	低	低	低
動作寿命	中	高	高	高
ESDイミュニティ	高	低	中	低
その他の特性	振動に対して 敏感	RFパワー 超過ストレス、 温度に対して敏感	RFパワー 超過ストレス、 温度に対して敏感	RFパワー 超過ストレス、 温度に対して敏感

表2に、キーサイトの電気機械式スイッチと半導体スイッチの性能を比較します。主要なパラメータと代表性能については、以降のセクションで説明します。

表2. 電気機械式スイッチと半導体スイッチの性能比較(代表値)

スイッチタイプ	電気機械式スイッチ	半導体スイッチ	半導体スイッチ(PIN)
	N1810TL	(ハイブリッド) U9397C	85331B
周波数レンジ	DC~26.5 GHz	300 kHz~18 GHz	45 MHz~50 GHz
挿入損失	<0.6 dB	<6 dB	<15.5 dB
アイソレーション	120 dB @ 26.5 GHz	100 dB @ 8 GHz	100 dB @ 0.5 GHz
スイッチング速度	10~50 ms	<350 μ s	<1 μ s
伝送電力	30 W @ 4 GHz (コールドスイッチング)	0.8 W@8 GHz	0.5 W
動作寿命	>500万サイクル	無限	無限

挿入損失

多くのアプリケーションでは挿入損失が重要な役割をします。受信機アプリケーションでは、システムの実効感度が挿入損失の量だけ低下します。損失を補うために、増幅器などが必要になりますが、コストやスペースの制約により簡単に利用できないシステムアプリケーションでは、低挿入損失が非常に重要な要素となります。こうしたタイプのアプリケーションには、(26.5 GHzまで)一番損失が小さい電気機械式スイッチが適しています。図4を参照してください。

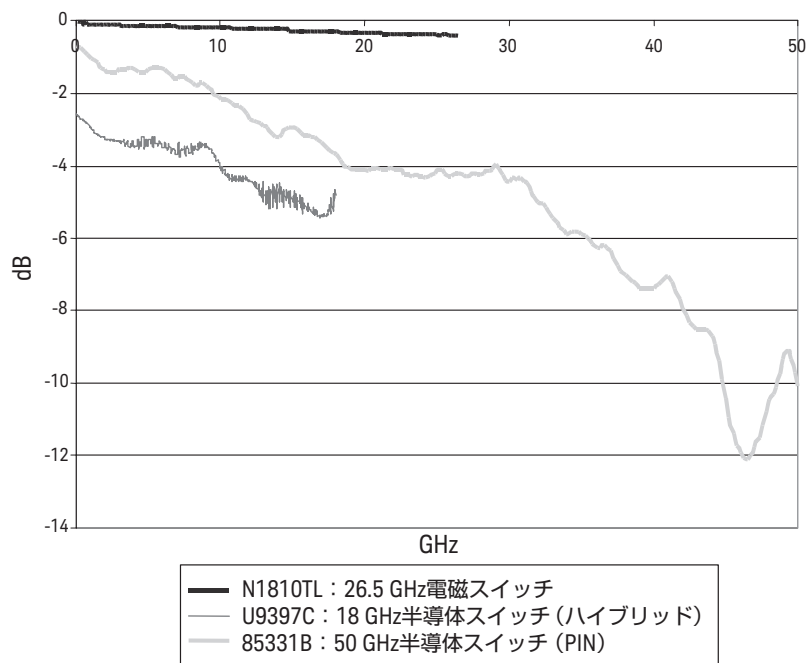


図4. 電気機械式スイッチと半導体スイッチの挿入損失(代表値)

アイソレーション

ほとんどの測定でスイッチ内のアイソレーションが高いことが重要です。アイソレーションが良好であれば、浮遊信号が必要な信号経路に漏れません。すなわち、不要な信号は、特定のテストポートに到着する前に減衰させる必要があります。さまざまな信号源や受信機との信号の送受信が各種スイッチ・テスト・ポートを介して絶えず行われている測定システムでは、高いアイソレーションが特に重要です。こうした浮遊信号がフィルタを通過すると、測定の品質が大幅に劣化します。図5は、半導体スイッチと比較した場合、Keysight N1810TL電気機械式スイッチのアイソレーション性能が一番高い(DC~26.5 GHzの範囲で代表値120 dB以上)ことを示しています。85331B 50 GHz半導体(PIN)スイッチは、4~50 GHzの範囲で優れたアイソレーション性能を提供します。一方、U9397C 18 GHz半導体(ハイブリッド)スイッチは、6 GHzまで>100 dB(代表値)のアイソレーションを示します。

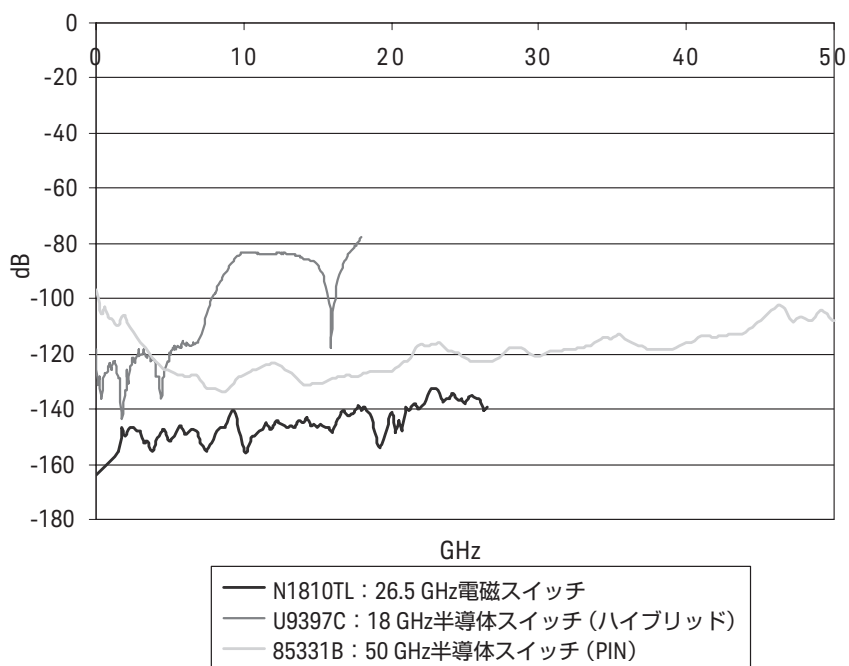


図5. 電気機械式スイッチと半導体スイッチのアイソレーション(代表値)

スイッチング速度

スイッチング速度は、高速信号発生器とオシロスコープを使って、10%~90%の時間を測定します。スイッチング速度はGaAs FETスイッチの主な長所の1つで、この優位性が変わることはありません。理想的なドライバ回路を使用すると、GaAs FET ICスイッチで1 ns(ダイレベル)以内に切り替わることが実証されています。今後は、スイッチング速度を1nsの何分の一かの領域にまで高速化するInGaAs材料の出現が期待されています。

ATE業界では、製造スループットが最も優先され、高速スイッチングが重要になります。特に、複数のスイッチを直列に接続するアプリケーションで重要となります。自動車業界ではスイッチの新たな使用方法として、適応走行制御(Adaptive Cruise Control、ACC)と衝突回避システム(Collision Avoidance Systems、CAS)があります。この場合、高周波送信/受信スイッチング速度の詳細な解析が必要です。

6ページの表2からわかるように、U9397C 18 GHz半導体(ハイブリッド)スイッチのスイッチング時間が一番高速で、85331B 50 GHz半導体(PIN)スイッチ、N1810TL 26.5 GHz電気機械式スイッチが続きます。

動作寿命

スイッチの動作寿命は、スイッチがフェールし始める(すなわち、性能が仕様の最小値以下に落ちる)までの最小サイクル数として仕様化されています。スイッチの動作寿命は、測定に数千回のスイッチングが必要な電子計測器やシステムで重要な要素になり、このような場合には、半導体スイッチを推奨します。

その他のパラメータ

上述の4つの主要パラメータのほかにも、スイッチの選択で考慮すべき項目があります。電気機械式スイッチは、機械的な接点があるため振動に敏感です。一方、半導体スイッチは、RFパワーや温度に敏感です。さらに、半導体FETスイッチICは、電気機械式スイッチと比べて、ESDの影響を強く受けます。

まとめ

このアプリケーションノートでは、各種スイッチテクノロジーをさまざまな面から説明すると共に、それぞれの使用方法についても紹介しました。これらの情報を元にアプリケーションに適したKeysightスイッチを選択することができます。

myKeysight



www.keysight.co.jp/find/mykeysight

ご使用製品の管理に必要な情報を即座に手に入れることができます。



www.lxistandard.org

LXIは、Webへのアクセスを可能にするイーサネットベースのテストシステム用インタフェースです。Keysightは、LXIコンソーシアムの設立メンバーです。



www.keysight.com/go/quality

Keysight Technologies, Inc.
DEKRA Certified ISO 9001:2008
Quality Management System

契約販売店

www.keysight.co.jp/find/channelpartners

キーサイト契約販売店からもご購入頂けます。
お気軽にお問い合わせください。

www.keysight.co.jp/find/mta

キーサイト・テクノロジー合同会社

本社 〒192-8550 東京都八王子市高倉町9-1

計測お客様窓口

受付時間 9:00-18:00 (土・日・祭日を除く)

TEL ☎ 0120-421-345 (042-656-7832)

FAX ☎ 0120-421-678 (042-656-7840)

Email contact_japan@keysight.com

ホームページ www.keysight.co.jp

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。