

# ICレビュー 実験室

## 14 アナログ・スイッチ IC の評価(前編)

川田 章弘  
Akihiro Kawata

ビデオやDVDを見る時、テレビの入力セレクトを外部入力(ビデオ入力)に切り替えます。CDを聞くときやラジオを聞くときもオーディオ・アンプの入力を切り替えます。私たちは普段、気付かないうちにアナログ信号の切り替えを行っていることがわかります。

ここでは、そんな身近にありながら製品内の「黒子」に徹しているアナログ・スイッチについて見ていきます。評価実験では、インサージョン・ロスとアイソレーションの周波数特性や、ひずみ特性について見ていこうと思います。

### アナログ・スイッチの特徴

#### ● アナログ・スイッチの基本はリレー

昔からあるアナログ信号切り替え素子はリレーです。リレーは、コイルに電流を流すことによって生じた磁束で機械的な可動接点を接続したり切り離したりすることのできる部品です。

リレーには大きく分けて、一般的な機械接点をもつ **メカニカル・リレー**と、小さなガラス管に磁性体の接点を入れ、その周りにコイルを巻いた構造の **リード・リレー**があります。

産業機器などでは、小型で長寿命が要求されるためリード・リレーが多く使われています。2 GHzくらいまで使用できる表面実装タイプのリード・リレーもあり、低ひずみで、高アイソレーションが要求されるDC～UHF帯の回路に使用されています。最近では、マイクロマシン技術を応用したMEMSリレーも登場していて、これからの普及が期待されるどころです。MEMSリレーを使えば、マイクロ波帯までの信号切り替えを低ひずみで行うことができそうです。

#### ● リレーには寿命がある

リード・リレーは長寿命とはいえ、寿命についてはやはり半導体部品にかないません。このような部品を使用すると、製品のMTBF(Mean Time Between Failure；平均故障間隔)やMTTF(Mean Time To Failure；平均故障時間)を低下させる原因となります。

#### ● 半導体スイッチは寿命で有利

そのため、DC～低周波信号の切り替えには、**フォトMOSリレー**や**アナログ・スイッチ**と呼ばれる半導体スイッチが使われることが多くなっています。先に「産業機器では寿命を考えてリード・リレーを使用する」と述べましたが、本音を言えば、リード・リレーよりも半導体スイッチを使いたいところなのです。

しかし半導体スイッチには、ひずみが発生するという問題や、低インサージョン・ロス/高アイソレーションを実現するのが難しいという問題があります。

なお、最新の広ダイナミック・レンジのネットワーク・アナライザなどには、測定限界(130 dB)以上のアイソレーションをもった半導体スイッチが使用されています。

### 半導体スイッチのいろいろ

#### ■ ダイオードを使ったアナログ・スイッチ

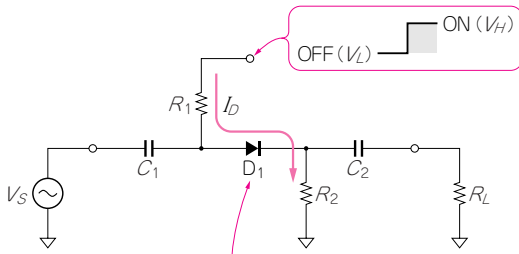
交流信号に対する簡単な半導体スイッチであれば、ダイオードを使って実現することができます。図14-1に具体的な回路例を示しました。スイッチをONにしたいときはダイオードに電流を流して、OFFにしたいときは電流を切ります。

高いアイソレーションを確保したいときは、ダイオードがブレイクダウンしない程度に逆バイアスをかけることもあります。

#### ● 動作抵抗に注目

「ダイオードは一方通行」というイメージでダイオードの動作を理解していると、図14-1がスイッチになることは理解できないでしょう。実は私も、電子工作少年(ラジオ少年という言葉は私の世代では死語)だった10代前半のころは、図14-1を見ても「これが何でスイッチなの？」と思っていました。これがスイッチになることが理解できたのは、ダイオードのI-V特性と動作抵抗という考えかたを知ってからです。

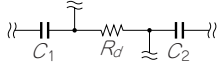
図14-2からわかるように、ダイオードに電流を流



ポイント

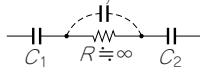
- (1)  $R_1$ と $R_2$ は $R_L$ に対して十分に大きくする（高周波ではコイルを使うこともある）
- (2)  $D_1$ はスイッチング用のダイオードを使う。高周波ではPINダイオードを使う（低域まで特性を伸ばしたいときはキャリア・ライフ・タイムの長いものを使う）

・ONのとき



$R_d$  : ダイオード $D_1$ の動作抵抗

・OFFのとき



ダイオードの抵抗値はとも大きくなる  
ダイオードの端子間容量で信号がリークする

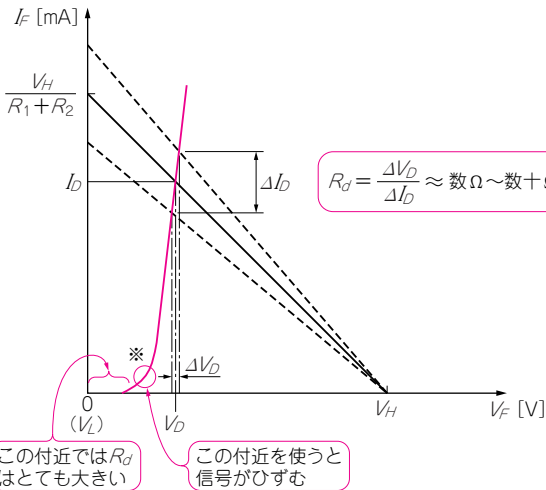
$C_1, C_2$ は $R_1=R_2=\infty$ として無視し、低域カットオフ周波数を $f_{cl}$ とすると次式で決めることができる

$$f_{cl} = \frac{1}{2\pi \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} (R_L + R_d)}$$

$R_d \ll R_L, C_1 = C_2$ とすると、

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{\pi f_{cl} R_L}$$

図14-1 簡単なダイオード・スイッチ



ダイオード両端の電圧変動  $\Delta V_D$  は、ダイオード・スイッチに入力される信号の振幅を  $V_S$  [V<sub>PP</sub>] とすると、

$$\Delta V_D = \frac{V_S}{R_d + R_L}$$

また、

$$\Delta V_D = R_d \Delta I_D$$

なので、

$$\Delta V_D = \frac{1}{1 + \frac{R_L}{R_d}} V_S$$

で概算できる。

ただし、ダイオードの特性は非線形なので正確には負荷線で考えるか、回路シミュレータを使って考える

この付近では  $R_d$  はとても大きい

この付近を使うと信号がひずむ

図14-2 「簡単なダイオード・スイッチ」が動作する理由

さないときは、曲線の傾きが小さくなっています。これは、抵抗が高いことを意味します。逆に電流を流すと、曲線の傾きが大きくなります。このときは、抵抗が小さくなっています。つまりダイオードは、流す電流の大きさによって、その両端の抵抗値が変わる可変抵抗素子だと考えることができます。

● ダイオード・スイッチで信号がひずむ理由

ダイオードの  $I-V$  曲線を見ると、このスイッチで信号がひずむ理由が何となく見えてきます。図14-2に示したとおり、入力信号によってダイオード両端の電圧値が変化するためです。ダイオード両端の電圧値が変化するという事は、出力信号の振幅が変化する

ことに相当します。このダイオード両端の電圧の変化が線形であれば問題ないのですが、実際にはわずかな非線形成分をもっていることから信号がひずみます。とくに、入力信号が大振幅になると図14-2の\*の領域にかかるため大きなひずみが発生します。

ひずみがダイオード両端の電圧変化とその動作抵抗の非線形性によって生じるのなら、 $\Delta V_D$  が小さい領域で使えば低ひずみになりそうです。図14-2の式から、 $\Delta V_D$  を小さくするには、負荷抵抗  $R_L$  を大きくするか、動作抵抗  $R_d$  を小さくすればよいことがわかります。つまり、低ひずみにするには、動作抵抗を小さくする必要があり、動作抵抗を小さくするにはダイオードに大きな電流を流す必要があることがわかります。

