

スイッチ記号の裏側

CMOS アナログ・スイッチを回路と考えると有効に活用する方法

Jerry Whitmore 著

CMOS アナログ・スイッチは、多重化や機能切換えなどのアプリケーションで回路をメイク/ブレイクする部品として広く利用されています。理想的なスイッチは、クローズ時はゼロ抵抗、オープン時は無限抵抗、無リーク電流で、瞬時グリッチがない応答をし、容量に寄生がないものです。インピーダンスが中程度の、低周波アプリケーションの場合はこれらの条件がかなり適合しますが、優れた設計者というものはつねに限界に挑み、どんな誤差が発生するのか、あるいは回路構成そのものが持ちこたえるかどうかを見きわめようとしています。

スイッチ回路

図 1 は、絶縁した単極 CMOS スwitchの回路 (AD7510DI または AD7590DI シリーズなど*) の近似図です。誘電体による絶縁によって、電源から±25V までのレベルの過電圧やラッチアップに対して保護されます。極性の 1 つは N チャンネル FET を介して、もう 1 つの極性は P チャンネル FET を介して導通が行われます。2 つのタイプは完全に対称的ではありません。

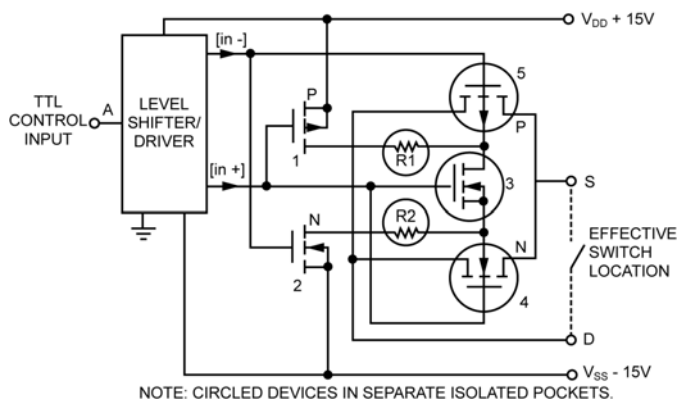


図 1. AD7590DI シリーズの代表的な出力スイッチ回路

図 2 は、1 対の隣接スイッチの等価回路です。パラメータは表 1 に定義します。留意すべき重要な誤差の種類としては、抵抗や電流リーク (スイッチの開閉) に起因する低周波誤差、浮遊容量 (スイッチの開閉) に起因する高周波/信号過渡誤差、スイッチ状態の切替え時のスイッチング過渡電圧に起因する動的誤差の 3 つがあります。紙数に制限があるため、ここでは最初のカテゴリーのみを説明します。というのは、これによって、「低周波信号に対してスイッチがどれぐらい機能するか」という差し迫った疑問に答えることができるからです。

P チャンネル・トランジスタと N チャンネル・トランジスタ (図 1 のデバイス 4 と 5) のリーク電流はキャンセルされそうにみえますが、P チャンネルが N チャンネルより 3 倍大きいため、そうではありません。

表 1. 名称

C_{DS} :	オープン・スイッチ容量
C_S, C_D :	ソース容量、ドレイン容量
R_{ON} :	直列オン抵抗
S, D :	ソース、ドレイン : 電気的にどちらも同じ
C_{SS}, C_{DD} :	2 つの対応するスイッチ端末間の容量
I_{LKG} :	バックゲート・ダイオードのリーク電流

ソース/ドレインとバックゲート間の逆バイアスをかけたダイオードのサイズがマッチングせず、またダイオードのブレイクダウン電圧がロットごとにばらつきがあるため、リーク電流やその温度係数を予測することは困難です。しかし、25°C の最大値と過大温度を規定し、100% の試験を行います。

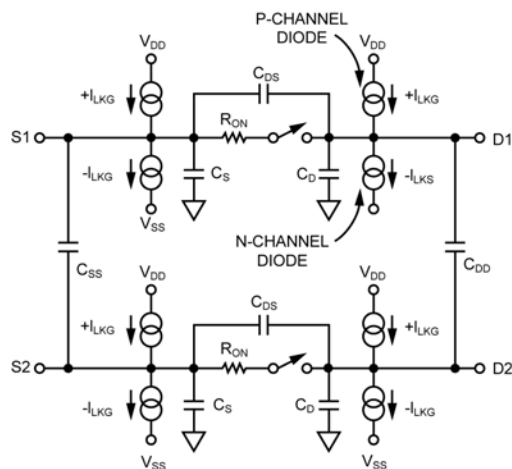


図 2. 1 対の隣接スイッチの等価回路

図 3 は、スイッチがオンのときに DC 性能に影響を及ぼす要素と、各パラメータの出力電圧に対する影響を示しています。図 4 は、製品のデータシートに記載されている R_{ON} の代表的な曲線を示しています。これによって、 R_{ON} が入力電圧の関数として、電源電圧や温度によってどのような影響を受けるかがわかります。 R_{IN} は、電源電圧が高く、温度が低くなると、値が低下し、信号依存度が小さくなります。

回路精度に対する可変 R_{ON} の影響を最小限に抑える方法 : 図 5 は、反転アンプに 4 つのスイッチ入力が接続されている、不良回路を示しています。10kΩ の入力抵抗に直列に接続された R_{ON} は、回路のゲインに影響します。電源電圧とアナログ入力電圧のあるレベルで補償するとしても、入力の変動によってゲインが変化し、ゲイン精度が低下します。

アンプを反転させる必要もなく、高精度の減衰器として使用する必要もない、最もわかりやすいソリューションは、図6に示すような非反転モードでのアンプの使用です。直列の抵抗がないため、ゲインへの影響はまったくありません。

もう1つのソリューション(図7)は、アンプの加算ポイントにクワッド・スイッチを接続する方法です。この場合、スイッチはボルト単位ではなくミリボルト単位のレベルの電圧だけに反応するため、信号に伴う R_{ON} の変動が最小になります。このソリューションでは、容量 C_S を補償するために帰還抵抗にコンデンサを並列接続する必要があるため、帯域幅が損なわれる可能性があります。また、帰還抵抗を流れる電流 I_{LKG} によって、精度条件によっては大きな誤差が生じることがあります。($\Delta V_{OUT} = I_{LKG} \times R_F$)

さらに別のソリューションでは、入力と帰還抵抗に大きな値を使用します(図8)。このようにすると、 ΔR_{ON} の変動が1メガオームの負荷に比べると小さいものになります。ただし、大きなRC時間定数のせいで帯域幅に影響があります。

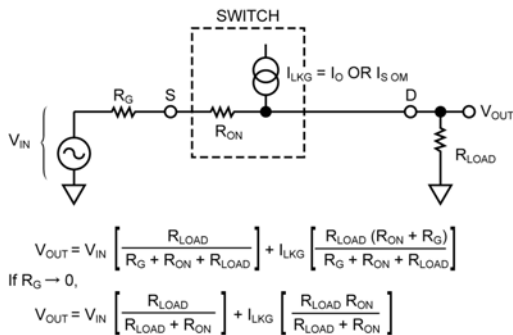
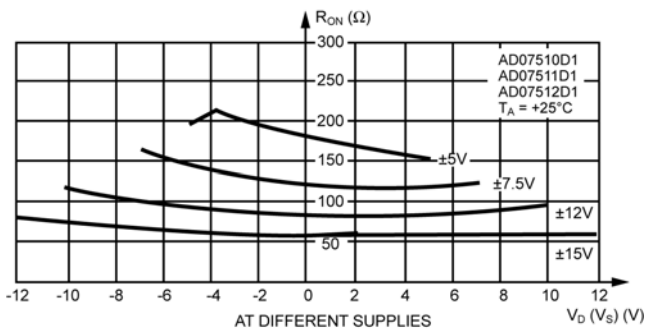
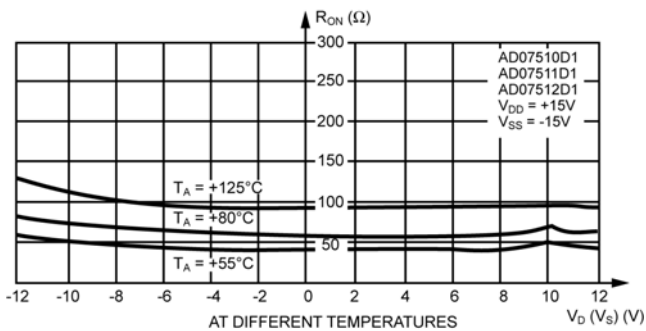


図3. オン状態のスイッチの実効回路



a. $+V_{DD}$ ($-V_{SS}$) の関数としての V_D (V_S) 対 R_{ON}



b. 温度の関数としての V_D (V_S) 対 R_{ON}

図4. 電源電圧および温度の関数としての入力電圧対 R_{ON}

図7と図8のソリューションは、温度変化に伴う R_{ON} の変動の影響を補償しません。優れた補償を提供する回路(図9)では、スイッチの1つ(常にオン)を帰還抵抗に直列に接続します。この R_{ON} は、温度変化とともに、同じ基板上にある他のスイッチの R_{ON} に追従します。このように、帰還抵抗と入力抵抗がよく追従するため、ゲインが一定になります。

スイッチ・オフ時のDCによる主な影響は、 I_{LKG} ($I_{D OFF}$ または $I_{S OFF}$)によるもので、 $I_{LKG} \times R_L$ で回路の出力がバイアスされます。誤差の極性は、そのスイッチの優勢なリーク電流の極性で決まります。

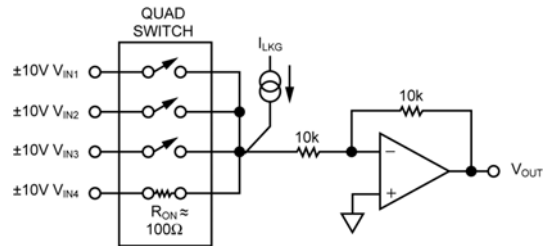


図5. スイッチド入力があるユニティ・ゲイン・インバータ

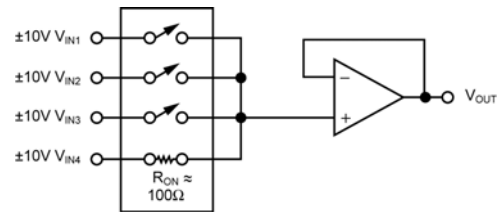


図6. 非反転ソリューション

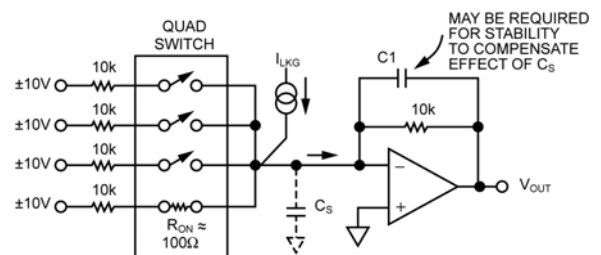


図7. 加算ポイントにスイッチを接続したもの

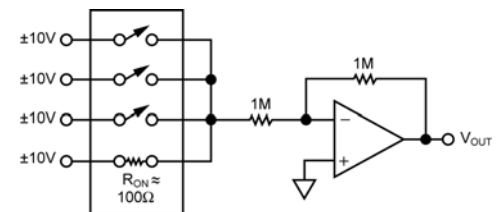


図8. 大きな抵抗値を使用したもの

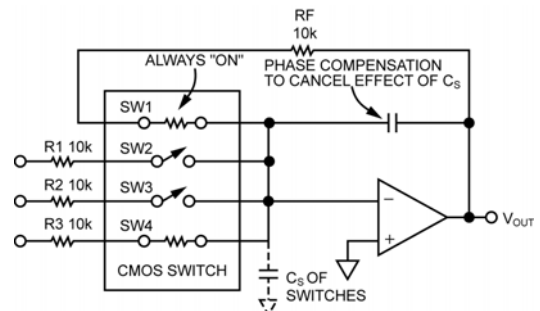


図9. スイッチと帰還抵抗を直列に接続してゲインを補償するもの