

# 第 1 章

## パワー MOS FET のあらまし

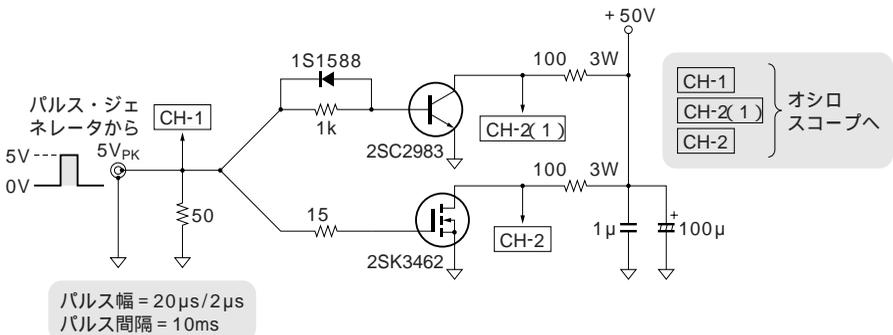
電子回路のパワー・スイッチング用にパワー MOS FET が  
 広く使われるようになってきました。  
 パワー・スイッチング技術を学ぶ前に、  
 まずパワー MOS のおよそのあらましを理解しておきましょう。

### 1-1

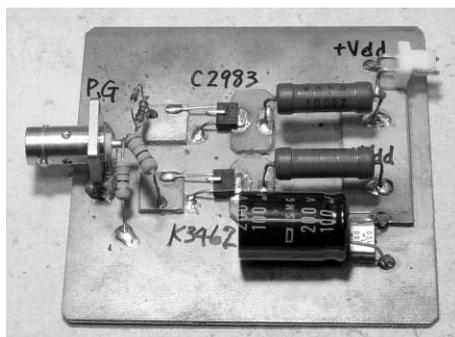
### パワー MOS をスイッチングさせる

#### スイッチング動作をトランジスタと比べる

図 1-1 に普通のトランジスタ(バイポーラ・トランジスタ)とパワー MOS FET (以降、パワー MOS と呼ぶ)のスイッチング動作を確認するための実験回路を示します。スイッチングのための駆動信号はパルス・ジェネレータから 50 Ω の抵抗で終端して与えます。パルス電圧はとりあえず 5 V<sub>peak</sub>(5 V/0 V)として、トランジスタとパワー MOS を同時に駆動しています。出力の負荷抵抗はいずれも 100 Ω にしましたから、電源電圧を +50 V とすれば約 0.5 A のスイッチングを行うことに



【図 1-1】バイポーラ・トランジスタとパワー MOS のスイッチング・テスト回路  
 2SC2983 と 2SK3462 に 5 V パルスと同時に加え、スイッチング特性を確認するためのテ  
 スト回路



【写真 1-1】バイポーラ・トランジスタとパワー MOS のスイッチング回路実験基板

なります。写真 1-1 に実験回路を示します。

バイポーラ・トランジスタはベース電流を順方向に流すことで動作... ON します。パワー MOS は、ゲートにパワー MOS 自身のスレッシュホールド電圧 ( $V_{GS(th)}$ ) 以上の電圧を加えることで動作... ON します。同一条件で比較するのは問題もありますが、ここは“違い”を実感することを目的でテストします。

表 1-1 に実験に使用したトランジスタとパワー MOS の電気的特性の違いを示しておきますが、外観はたいへんよく似ています(ほとんど同じ)。

バイポーラ・トランジスタ 2SC2983 は最大定格が  $160\text{ V} \cdot 1.5\text{ A}$  で、電力増幅などに使われるものです。トランジスタをドライブしている抵抗...ベース直列抵抗が  $1\text{ k}$  ですから、負荷電流の大きさから考えるとやっとなんかトランジスタが飽和する程度のベース電流です。ベース抵抗への並列ダイオードはスイッチングの遅延時間を短縮する目的で挿入しています。一般には高速スイッチングのためにスピードアップ・コンデンサが入れてある例が多いようです。

パワー MOS 2SK3462 は最大定格が  $250\text{ V} \cdot 3\text{ A}$  の素子でオン抵抗は  $1.2$  です。4V 駆動タイプと呼ばれるロジック駆動用デバイスで、5V ロジックで容易に駆動できることを特徴としている素子です。

【表 1-1】実験に使用したトランジスタとパワー MOS

型名	電圧	電流	電力	用途
2SC2983 (東芝)	$V_{CEO}$ 160V	$I_C$ 1.5A	$P_C$ 15W	オーディオ電力増幅用
2SK3462 (東芝)	$V_{DSS}$ 250V	$I_D$ 3A	$P_D$ 20W	スイッチング用

## パワー MOS が圧倒的な高速スイッチング

写真 1-2 はバイポーラ・トランジスタ 2SC2983 をパルス・スイッチングさせたときの波形です。ON させる入力パルス幅は  $20\ \mu\text{s}$  で、スイッチング周期は  $10\ \text{ms}$  ...  $100\ \text{Hz}$  です。一見ちゃんとスイッチングしているようですが、よく見ると、

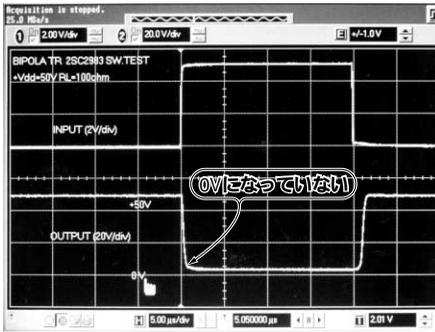
スイッチング波形の立ち上がり、立ち下がりがあまり速くありません。

スイッチングしている電流は約  $0.5\ \text{A}$  ですが、トランジスタが ON したときコレクタ電圧が完全には  $0\ \text{V}$  になっていません。

なお、スイッチング・スピードについてはスピードアップ・コンデンサを追加してオーバドライブすれば、ある程度は改善することができます。

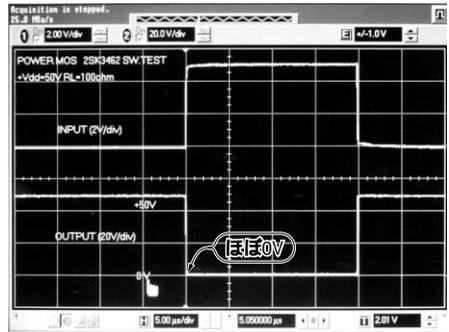
写真 1-3 はパワー MOS 2SK3462 のスイッチング波形です。高速できれいにスイッチングしているようすがわかります。スイッチングしたときのドレイン電圧がほぼ  $0\ \text{V}$  になっているのも特徴的です。

写真 1-4 はオシロスコープの時間軸を 10 倍の  $500\ \text{ns}/\text{div}$  に拡大して両者を比較したものです。ここでの入力パルス幅は  $2\ \mu\text{s}$  ですが、上のトレース(バイポーラ)と下のトレース(パワー MOS)の差は歴然としています。入力パルスの周期が  $4\ \mu\text{s}$  ですから、周波数にすると  $250\ \text{kHz}$  ということです。 $25\ \text{kHz}$  のスイッチングではさほどの違いは感じないのですが、 $250\ \text{kHz}$  になると歴然たる違いがおわかりになるとと思います。



[写真 1-2] バイポーラ・トランジスタのスイッチング波形(上:  $2\ \text{V}/\text{div}$ , 下:  $20\ \text{V}/\text{div}$ ,  $5\ \mu\text{s}/\text{div}$ .)

立ち上がり、立ち下がりが遅く、ON 時には  $0\ \text{V}$  にならない

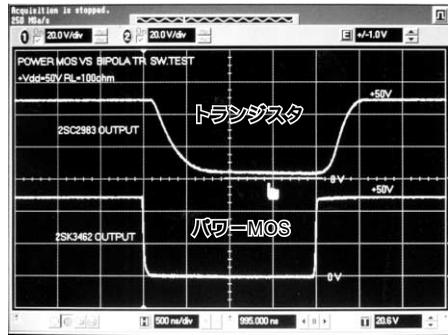


[写真 1-3] パワー MOS のスイッチング波形(上:  $2\ \text{V}/\text{div}$ , 下:  $20\ \text{V}/\text{div}$ ,  $5\ \mu\text{s}/\text{div}$ .)

高速できれいにスイッチングしている

[写真 1-4] バイポーラ・トランジスタとパワー MOS の比較 (上 : 20 V/div. , 下 : 20 V/div. , 500 ns/div.)

時間軸を 10 倍に拡大するとスイッチング波形の違いがはっきりする



### 電力損失でもパワー MOS が有利

写真 1-4 においてトランジスタが ON している状態での飽和電圧を見ると、正確ではありませんが 5 V 近くの飽和電圧があるのがわかります。一方、パワー MOS の飽和電圧は 0V に近くなっています。スイッチング素子の ON 時の電力損失  $P_{on}$  は、ON しているときの飽和電圧を  $V_{on}$ 、動作電流を  $I_{on}$ 、スイッチングのデューティ比(スイッチングの ON/周期時間比)を  $D$  とすると、

$$P_{on} = V_{on} \times I_{on} \times D$$

となるので、電力損失を小さくするためにはスイッチング素子の飽和電圧はできるだけ小さいことが望まれています。

トランジスタのスイッチング飽和電圧はベース電流を大きくするオーバドライブによってある程度低くすることは可能ですが(スイッチングする電流の大きさによっては)、非常に難しいものがあります。オーバドライブのためのベース電流による消費電力増大も無視できません。

一方、パワー MOS は最新の LSI 製造技術の恩恵を受けています。LSI の基本素子は MOS トランジスタで構成されています。MOS トランジスタの微細化技術の進歩によって、同性能の MOS トランジスタが日に日に小形化されており、結果、小形 MOS トランジスタの集合体であるパワー MOS のオン抵抗も小さくなってきています。後述しますが、5 mΩ というオン抵抗のパワー MOS も出現しています。5 mΩ ということは、10 A の電流を連続で流しても 0.5 W の消費電力で収まるということです。

このようにパワー MOS でスイッチングを行うと、バイポーラよりも高速に小さな飽和電圧でスイッチングすることができ、トランジスタに代わるスイッチング素