

## Supplement 2 壊さず駆動するために必要な知識を確認しておこう

# パワー MOSFET を安全に使おう

吉岡 均

MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) はバイポーラ・トランジスタと比較してドライブ電力が少なく、高速スイッチングが可能なので、多くの用途に使われています。

電力変換に使われている場合、定格を超えれば大きな音を発して破損します。安全に使うため、装置レベルで慎重な評価が必要です。

MOSFETを壊さない使い方、データシートの読み方などについて、特に市場からの問い合わせの多い項目①耐圧超過、②電流超過、③安全動作領域超過、を重点的に解説します。

解説には例として、スイッチング電源用パワー MOSFET の中から使い慣れた 500 V/31 A の IRFP31N50LPbF を使います(写真1)。データシートはウェブから入手できます。

MOSFETの端子は、図1に示すようにゲート(G)、ドレイン(D)、ソース(S)の3本です。ゲート-ソース間に加える電圧  $V_{GS}$  によってゲート容量  $C_{iss}$  を充電し、ドレインからソースに流れる電流を制御します。

写真1 解説の例として使った TO-247(TO-3P相当)パッケージの IRFP31N50LPbF インターナショナル・レクティファイアー社が開発、市場供給していたが、現在はビシェイ社に移管されている。

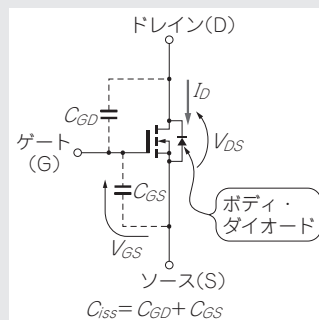


図1 MOSFETの端子配置

## 定格を守る

- **絶対最大定格 (absolute maximum ratings)** とは半導体を壊さず使うためにもっとも重要な項目です。ただし、ほかの項目を含まず、記載の項目だけに着目した場合に耐えられる定格値です。表1に例を示します。例えば、連続ドレイン電流 31 A はケース温度  $T_C$

= 25°C の規定です。大きなヒートシンクを使ったとしてもジャンクション温度の最大定格  $T_J = 150^\circ\text{C}$  とは同時に保証されません。

以降、絶対最大定格は各パラメータに max 付きで表示します。

表1 データシートに記載されているパワー MOSFET の絶対最大定格例

### Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	31	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} @ 10\text{V}$	20	
$I_{DM}$	Pulsed Drain Current ①	124	W
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	460	
	Linear Derating Factor	3.7	$\text{W}/^\circ\text{C}$
$V_{GS}$	Gate-to-Source Voltage	$\pm 30$	V
$dv/dt$	Peak dv/dt	19	$\text{V/ns}$
$T_J$ $T_C$		-55 to +150	$T_J$ の最大値

## 電力と温度による破壊①

### ● 電力損失の元となるドレイン-ソース間のオン抵抗 $R_{DS(on)}$

$R_{DS(on)}$ はMOSFETのドレイン-ソース間の電流経路にあるすべての抵抗成分です。ON時の導通損失(電力ロス)を生じます。早速算出してみましょう。

実際のスイッチング電源やDC-DCコンバータの電流波形は近似的に矩形波なので、 $R_{DS(on)}$ による損失を求めるためにはドレイン電流  $I_D$  を実効値  $I_{DRMS}$  に変換することが必要です。

$$I_{DRMS} = I_{Dpeak} \sqrt{\frac{\tau}{T}} [A_{RMS}]$$

例えばドレイン電流が15 A ピーク、スイッチング周波数100 kHz、オン・デューティ 30%の電流波形であれば以下の実効値になります。

$$I_{DRMS} = 15 \text{ A} \sqrt{\frac{3 \mu\text{s}}{10 \mu\text{s}}} \approx 8.2 \text{ A}_{RMS}$$

IRFP31N50LPbFのオン抵抗  $R_{DS(on)}$  は、 $0.18 \Omega_{max}$  です。実効電流によるMOSFETの導通損失  $P_{on}$  は以下になります。

$$P_{on} = (8.2 \text{ A})^2 \times 0.18 \Omega \approx 12.1 \text{ W}$$

この値が  $P_{Dmax}$  を越えれば、MOSFETは電力破壊します。

#### ▶ ゲート電圧から流せるドレイン電流を算出

特定のゲート電圧  $V_G$  に対して、MOSFETが飽和状態で流せる電流の最大値を、順伝達コンダクタンス  $g_{fs}$  (forward transconductance) から算出します。

$g_{fs}$  は、MOSFETのゲート電圧変化  $\Delta V_{GS}$  に対するドレイン電流  $\Delta I_D$  の変化率です。ドレイン電流 ÷ ゲート電圧なので、単位は  $[A] \div [V] = [1/\Omega]$  です。OHMの文字順序を逆にしてMHO(モー)と呼んでいた時代がありましたが、現在のSI単位系ではS(siemens; ジーメンス)で記載します。

IRFP31N50LPbFを例に算出してみましょう。データシートから、 $g_{fs}$ は最小15 Sです。ドレイン-ソース間が導通し始めるゲート-ソース間電圧のゲ

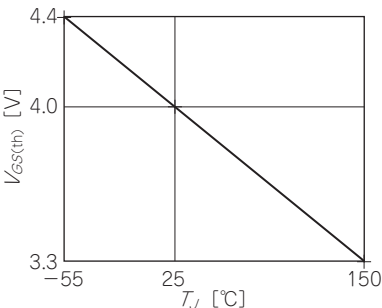


図2 ゲートしきい値電圧  $V_{GS(th)}$  の温度特性例

### ● 消費電力 $P_D$

消費電力  $P_{Dmax}$  (power dissipation) は、 $T_C = 25^\circ\text{C}$  においてMOSFETの内部で消費できる電力です。これ以上の電力を消費するとジャンクション温度が  $150^\circ\text{C}$  を越え、MOSFETは熱的に破壊してしまいます。

最大消費電力  $P_{Dmax}$  は、ケース温度  $T_C$  によって変わります。IRFP31N50LPbFの  $P_{Dmax}$  は、 $T_C = 25^\circ\text{C}$  で460 Wです。デレーティング係数は  $3.7 \text{ W}/^\circ\text{C}$  なので、 $T_C = 150^\circ\text{C}$  で0 W、すなわち電力を消費できなくなります。

トしきい値電圧  $V_{GS(th)}$  (gate threshold voltage) は最大5.0 Vです。

ドライブ電圧  $V_D$  の最低値が10 Vとすれば、以下の電流をドレインからソースに流せます。

$$I_{Dmax} = g_{fsmin} (V_{Dmin} - V_{GS(th)max}) [A] \\ = 15 \text{ S} \times (10 \text{ V} - 5 \text{ V}) = 75 \text{ A}$$

ゲートに10 Vを加えると75 A流れるのではなく、MOSFETが導通した時に、規定された飽和状態のオン抵抗  $R_{DS(on)}$  で流せる電流の最大値です。

#### ▶ ドレイン電流から必要なゲート電圧を算出

特定のドレイン電流  $I_D$  に対して、MOSFETのドレイン-ソース間を飽和状態で使うために最低限必要なゲート・ドライブ電圧  $V_{GS}$  を  $V_{GS(th)}$  から算出します。

$$V_D = \frac{I_{Dmax}}{g_{fsmin}} + V_{GS(th)max} [V]$$

例えば、MOSFETに30 Aのドレイン電流を流し、ドレイン-ソース間を飽和状態のオン抵抗で使うためには以下のドライブ電圧が必要になります。

$$V_D = \frac{30 \text{ A}}{15 \text{ S}} + 5.0 \text{ V} = 7.0 \text{ V}$$

ドライブ電圧がこれより低くなると、ドレイン-ソース間に電圧が残ったまま(オン抵抗が高いまま)ドレイン電流を流す「背負い流し」によりMOSFETは電力破壊します。

#### ▶ 温度が下がると $V_{GS(th)}$ が上がる

MOSFETのゲートしきい値電圧  $V_{GS(th)}$  には負の温度係数があり、通常約  $-5.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$  で変化します。IRFP31N50LPbFの  $V_{GS(th)}$  が  $25^\circ\text{C}$  で4.0 Vとすれば、ジャンクション温度  $T_J$  により図2のように変化します。ドライブ電圧は、 $V_{GS(th)}$  の温度変化に対してもドレイン-ソース間電圧を常に飽和状態になるように設定します。