

第4章 PWM制御回路とスイッチング 出力回路をインターフェースする

パワー・デバイスの スイッチング駆動テクニック

浅井 紳哉
Shinya Asai

多くのマイコンは、最大3~5Vしか出力できません。この出力では第5章で紹介するスイッチング出力回路を直接駆動することができません。特にフル・ブリッジ回路のハイ・サイドのパワーMOSFETは、基準電位がマイコンのグラウンドと同じではないので、駆動するためには工夫が必要です。

本章では、パワーMOSFETをON/OFF駆動するための基礎知識とハイ・サイドの駆動テクニックを紹介いたします。

パワーMOSFETを ON/OFFするための基礎知識

● ゲート-ソース間に加える電圧によってドレインとソース間の抵抗値が変化する素子「パワーMOSFET」

パワーMOSFETはそのゲートとソースの間に加える電圧 V_{GS} によって、ドレインとソースの間の抵抗値 $R_{DS(on)}$ が変化します。つまり、 V_{GS} を大きくするほど、 $R_{DS(on)}$ が小さくなります。 V_{GS} に十分な大きさの電圧(V_{in})を加えると、 $R_{DS(on)}$ は数十m~数百mΩまで小さくなります。

この性質を利用すると、図1に示すように、 V_{GS} に数Vの電圧を加えたり、0Vにすることで、ON/OFFスイッチとして利用できるわけです。

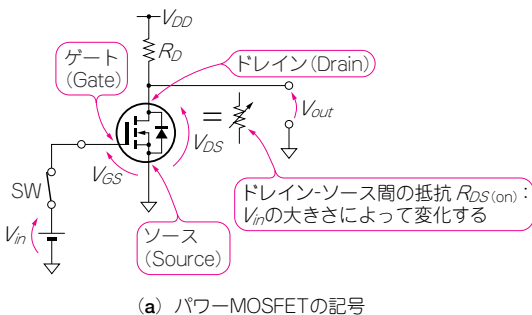


図1 パワーMOSFETの基本動作

ゲート-ソース間に加える電圧によってドレイン-ソース間の抵抗値が変化する

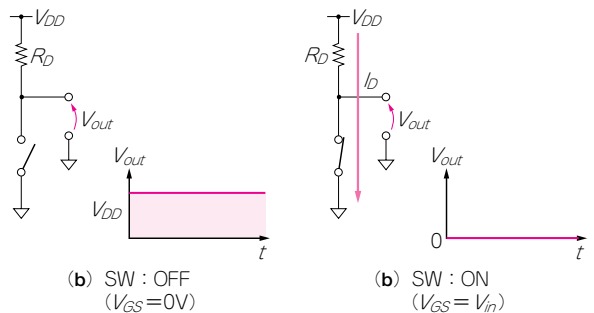
● ON/OFFスイッチとして利用するために必要なゲート-ソース間電圧

図2(a)に示すのは、パワーMOSFET IRF8010の $V_{DS}-I_D$ 特性です。 V_{GS} を4.0~15Vで変化させています。

$V_{GS} = 15V$ のとき、 V_{DS} にほぼ比例して I_D が増加しています。この特性曲線の傾きが $R_{DS(on)}$ を表していますから、 I_D が変化しても $R_{DS(on)}$ は、ほぼ一定であることがわかります。この状態を**パワーMOSFETが飽和領域にある**といいます。パワーMOSFETをON/OFF制御するときは、この領域で動作させます。本特集は、パワーMOSFETを飽和領域で動作させて、ON/OFFさせて使うことを前提にしています。

$V_{GS} = 4.0V$ のときは、 V_{DS} が1Vを越えたあたりから、 V_{DS} を大きくしても I_D は増えなくなります。これは、 $R_{DS(on)}$ が増加しているのです。この領域をリニア領域と呼びます。

図2(b)に示すのは、 $V_{GS}-I_D$ 特性です。このグラフから V_{GS} が約7Vより高くなると I_D はあまり増加しなくなります。このことから、IRF8010は、 V_{GS} が7Vより低い部分がリニア領域で、7Vより高い部分が飽和領域です。



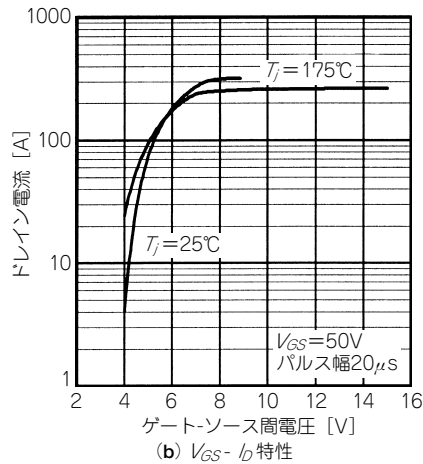
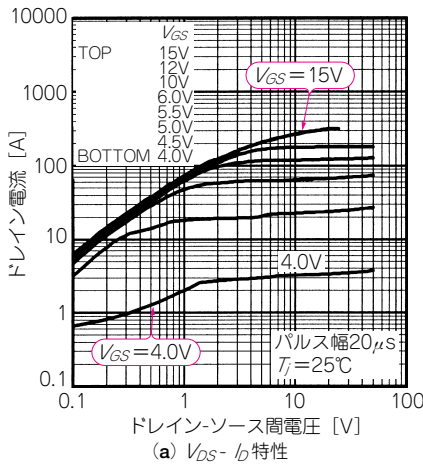


図2⁽¹⁾ パワー-MOSFET IRF8010の I_D - V_{DS} 特性と V_{GS} - I_D 特性

図(a)からON時の $R_{DS(on)}$ が、図(b)から飽和領域で動作させるためのゲート-ソース間電圧がわかる

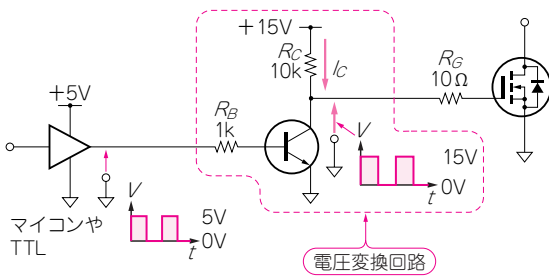


図3 電圧変換回路の例

マイコンの5V出力を15Vに引き上げる

● マイコンの5V出力でパワー-MOSFETを飽和領域動作させるには

マイコンなどの制御回路の電源電圧は多くの場合5V程度ですから、パワー-MOSFETを飽和領域で動作させON/OFF駆動するためには、5Vを15Vに昇圧する必要があります。この電圧変換は、図3のようにトランジスタを使った回路で実現できます。しかし、この回路ではパワー-MOSFETの $R_{DS(on)}$ を十分小さくすることができません。

パワー-MOSFETをしっかりON/OFF駆動するには、ゲートに0Vから急激に立ち上がる信号を入力する必要があります。パワー-MOSFETの入力部には数百~数千pFの寄生容量があるため、これを充電する大きな電流が流れ込みます。これは、大きなコンデンサを充放電するようなものですから、図3に示した電圧変換回路の場合、 R_G に R_C が直列に入ると、パワー-MOSFETを飽和状態で動作させることができません。中途半端に駆動すると、ON/OFF動作(スイッチング速度)が遅くなって、スイッチング損失と呼ばれる損失が増大します。

R_C を小さくすればよいと思われるかもしれませんが

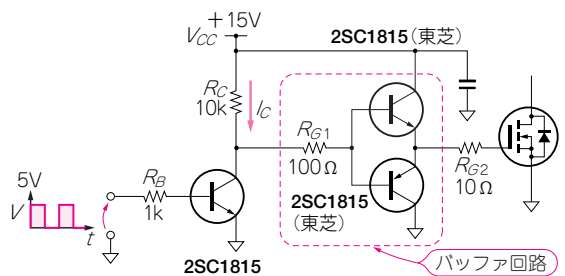


図4 パワー-MOSFETは出カインピーダンスの低い回路で駆動する

が、パワー-MOSFETがOFFしているときに大きなコレクタ電流 I_C が流れるので、今度は駆動回路の消費電力が大きくなります。

図4に示すように、バッファ回路を追加すればこれらの問題を解決できます。

● フル・ブリッジ回路のハイ・サイド駆動の基本

図5に示すフル・ブリッジ回路のハイ・サイドのパワー-MOSFETを駆動する方法を考えてみましょう。この図の Tr_1 と Tr_3 のソースに注目してください。ソース端子(点Aと点B)はグラウンドに接続されていません。

Tr_2 がOFF、 Tr_4 がON、 Tr_1 がONの状態を考えてみましょう。

Tr_1 がONしているということは、 $V_{DS} \approx 0V$ ですから、 Tr_1 の電位は V_{DD} です。そして、 $V_{GS} \geq 7V$ ですから、 Tr_1 のゲートのグラウンドに対する電位は、 $V_{DD} + 7V$ 必要なことがわかります。フル・ブリッジ回路の電源よりも高い電圧の制御信号を Tr_1 のゲートに加える必要があります。

ロー・サイドは、図4と同じくソースの基準電位が