



第4章 定電圧/定電流回路から 保護用リミッタ回路まで

ダイオード/トランジスタ/ FETの応用回路

鈴木 雅臣
Masaomi Suzuki

ここまでダイオード、トランジスタ、FETと電子回路で多用する半導体素子の基礎を理解してきました。本章では、応用編ということで、これらの基本半導体素子を組み合わせた回路を理解していきましょう。

大きな負荷電流を ON/OFF する回路

図4-1に示す回路のように、大きな負荷電流(図4-1では約1A)をトランジスタでスイッチする場合は、ある程度大きなベース電流を外部から供給しなければなりません。

図4-2に示すのは、図4-1の回路を過渡解析した動作波形ですが、トランジスタをONさせるために約22mAのベース電流が流れています。これは、一般的なマイコンやDSPなどのデジタル回路から直接供給するには大きすぎる電流です。このようなときに使われるのがダーリントン・スイッチ回路です。

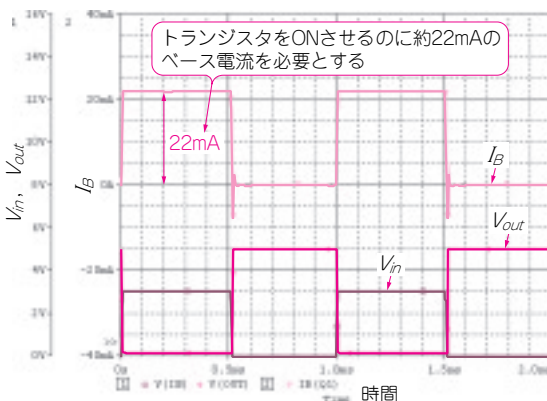


図4-2 図4-1のベース電流と入出力電圧の波形
ONのとき22mAのベース電流がトランジスタに流れ込む

● 電流増幅率が巨大になるダーリントン回路

図4-3に示すのは、図4-1と同じ負荷を駆動するダーリントン・スイッチ回路です。負荷を駆動するトランジスタ Q_2 の前にトランジスタ Q_1 を挿入して、 Q_1 のエミッタを Q_2 のベースに接続します。このような回路をダーリントン(発明者のDr. Sidney Darlingtonから由来した名称)と呼んでいます。

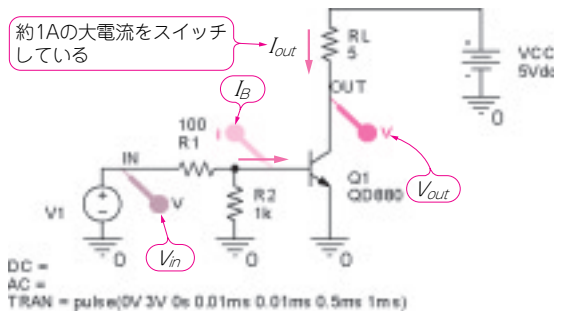


図4-1 大きな電流をスイッチする回路の例

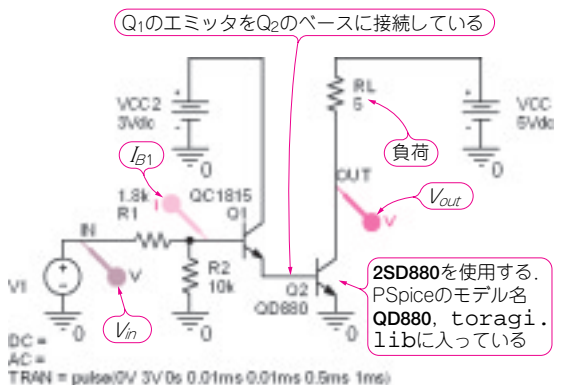


図4-3 ダーリントン・スイッチ回路の例

Keywords

ダーリントン、ダーリントン・トランジスタ、コレクタ-エミッタ間飽和電圧、 $V_{CE(sat)}$ 、ロード・スイッチ、ハイ・サイド・スイッチ、ON抵抗、 $R_{DS(on)}$ 、中間タップ、全波整流回路、ブリッジ整流回路、ダイオード・ブリッジ、差電圧マーカ、リップル・フィルタ、定電圧電源、低雑音、定電流回路、シンク型、ソース型、保護回路、 $\pm 0.6V$ リミッタ回路、ウィンドウ・リミッタ回路

図4-4に示すように、後段のトランジスタ Q_2 のコレクタ電流 I_{C2} は、

$$I_{C2} \approx h_{FE1} h_{FE2} I_{B1} \dots\dots\dots (4-1)$$

となります。 Q_1 と Q_2 を一つのトランジスタとして考えると、 h_{FE} は h_{FE1} と h_{FE2} の積となり、たいへん大きな値になることから、小さなベース電流で大きなコレクタ電流を制御できることになります。

ただし、 Q_1 のベースから Q_2 のエミッタまでの電圧は、 V_{BE2} 個分約1.2Vになることに注意してください。トランジスタの品種やベース電流の値によっては1.6V程度になることもあります。

図4-5に示すのは、 Q_1 のベース電流 I_{B1} の動作波形です。 V_{in} が3Vのとき、つまり Q_1 と Q_2 がONしているときは、 $I_{B1} = 650 \mu A$ になっていることから、図4-1と同じ負荷を駆動しているにもかかわらず、外部から供給するベース電流がたいへん小さくなっていることがわかります。

図4-6は、 Q_2 のコレクタ電位 V_{out} の波形です。 $V_{in} = 3V$ のときに、 $V_{out} \approx 0V$ になっているので、小さなベース電流で大電流を確実にON/OFFできていることがわかります。

● ONしても完全に0Vにはならないので発熱がある

ところで、図4-6で Q_2 がONしているときの V_{out} は、正確には0Vではなく約0.1Vになっています。これは、トランジスタがONしているときにコレクタ-エミッタ間に残留抵抗成分(厳密には抵抗のように線形な成分ではないが)のようなものが存在し、そこにコレクタ電流が流れて電圧降下が発生しているのです。

この電圧をコレクタ-エミッタ間飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ と呼んでいます。 $V_{CE(sat)}$ は、 V_{BE} のようにほぼ一定

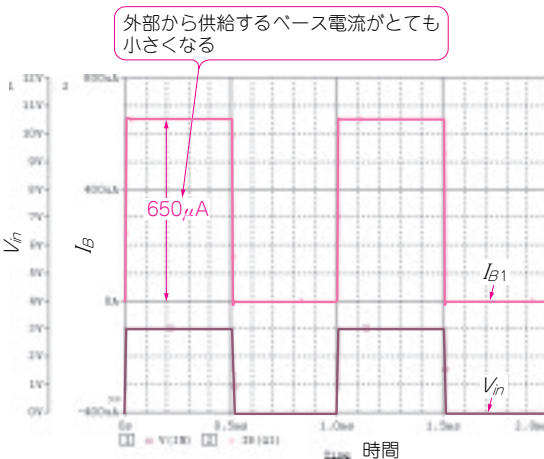


図4-5 ダーリントン・スイッチ(図4-3)のベース電流波形
図4-2と比べるとベース電流がとて小さいことがわかる

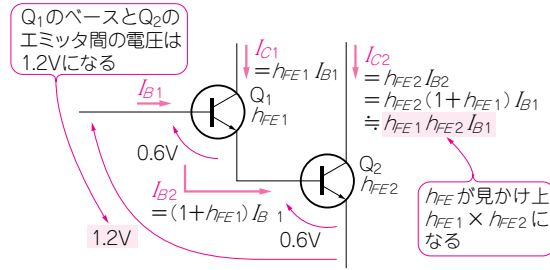


図4-4 ダーリントン回路に流れる電流
 $h_{FE1} = h_{FE2} = 100$ とすると I_{B1} はなんと1万倍されて Q_2 のコレクタ電流となって流れる！

値ではなく、トランジスタの品種やコレクタ電流の大きさで変化します。

ここで注意しなければならないのは、 $V_{CE(sat)}$ がトランジスタの発熱の原因になることです。トランジスタがONしているときにトランジスタに発生する電力損失 P_C は、

$$P_C = V_{CE(sat)} I_C \dots\dots\dots (4-2)$$

となり、これがすべて熱となってトランジスタから放出されます。つまり、トランジスタが熱くなるのです。スイッチングする電流が大きい場合は特に注意が必要です。

● ダーリントン接続を一つのパッケージに入れたダーリントン・トランジスタ

図4-7に示すように、一つのパッケージ内で2個のトランジスタをダーリントン接続した便利なトランジスタが市販されています。

図4-8に示すのは、そのようなダーリントン・トランジスタを2個のトランジスタでシミュレーションするスイッチング回路です。

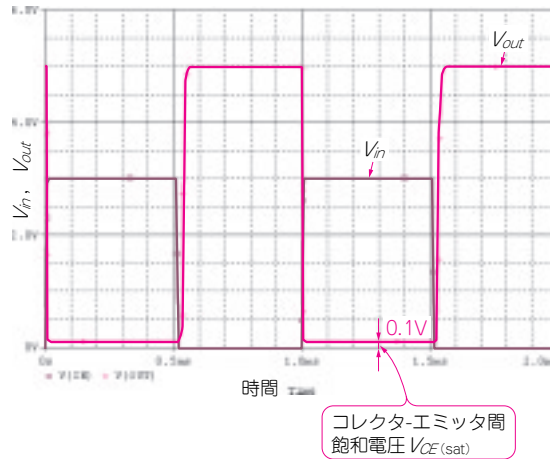


図4-6 図4-3の回路の入出力電圧波形
出力電圧は完全に0Vにはならない