

オペアンプ出力用の電流制限回路

著者：祖父江 達也

シンプルな構成の電流制限回路

電子回路を構築するうえでは、実現したい機能の設計だけでなく、保護回路の設計も不可欠な作業となります。保護回路には、危険の種類に応じてさまざまな種類のものがありますが、本稿では、単電源オペアンプの出力に接続される回路を、過大な電流から保護するための電流制限回路（電流クランプ回路）を紹介することにします。

図1に電流制限回路の回路図を示しました。これは、単電源のオペアンプ（左端の三角形のシンボル）などから大きな負荷電流が一方に流れる場合に、その電流値を制限するためのものです。ご覧のとおり、pnp型のトランジスタとダイオード、抵抗でシンプルに構成されています。

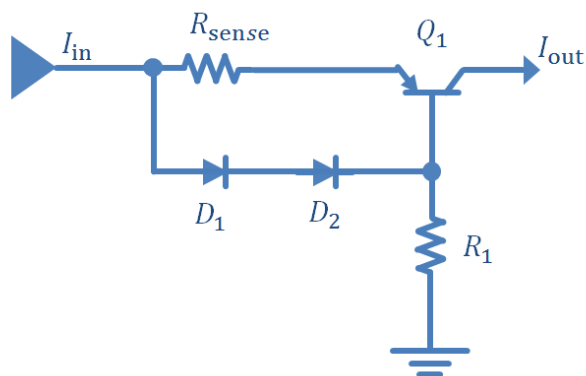


図1 トランジスタとダイオード、抵抗で構成した電流制限回路

pnp型トランジスタ Q_1 のベースに接続されたダイオード D_2 は、 Q_1 のベース - エミッタ間電圧 V_{BE} を補償するためのものです。 D_1 の順方向の電圧降下 V_{DI} は、実際にはダイオードに流れる電流量や温度によって変化しますが、ここでは $0.6V$ で固定であると仮定します。つまり、 D_1 による電圧降下は、 $0.6V$ 以上にはならないということです。したがって、 Q_1 を流れる電流は、 V_{DI} を抵抗 R_{sense} で割った値を最大値として制限されることになります。

この回路は、例えば、オペアンプとその出力に接続する負荷回路の間に挿入して使用します。なお、実際には、この回路の出力電圧をオペアンプにフィードバックする回路が必要になりますが、この図では省略しています。

部品を選択するうえでの注意点

続いて、どのような指針でトランジスタや抵抗などの部品を選択すればよいのか説明しましょう。

上述したとおり、負荷回路に流れ込む電流 I_{OUT} の最大値は、以下のように計算できます。

式入る

$$I_{OUT} = V_{DI} \div R_{sense}$$

例えば、 I_{OUT} の最大値を $100mA$ に抑えたい場合、一般的なダイオードの V_{DI} を $0.6V$ とすると、電流検出用の抵抗 R_{sense} の値は 6Ω にすればよいことがわかります。ここで、 R_{sense} で消費される電力 P は、 $I_{OUT}^2 \times R_{sense}$ なので、この例では $60mW$ となります。この消費電力の値をベースとして、 R_{sense} の許容電力を決めてください。

また、トランジスタ Q_1 の発熱にも注意する必要があります。図1の回路では、出力がショートした場合、 Q_1 に最大で $100mA$ の電流が流れることとなります。一般にトランジスタのコレクタ損失 P_c は、トランジスタに流れる電流が増えるにつれて大きくなります。そのため、最大電流値が大きければ、その分、発熱量も増大します。回路の定数を決めるにあたっては、トランジスタの P_c の最大定格や発熱量を考慮しておかないと、負荷がショートした瞬間にトランジスタが壊れる（場合によっては、パッケージが破裂する）といった事態になりかねません。 Q_1 については、まずコレクタ損失の最大定格が大きい製品を選ぶとともに、適切に放熱できるように対策を施す必要があります。また、場合によっては、負荷がショートしたときにトランジスタ Q_1 を保護するための回路も必要になるでしょう。

シミュレーションによる確認

ここまでで、図1の電流制限回路の要点はご理解いただけたと思います。続いては、この回路の動作をシミュレーションで確認してみましょう。

図2に示したのはシミュレーションに使用した回路です。

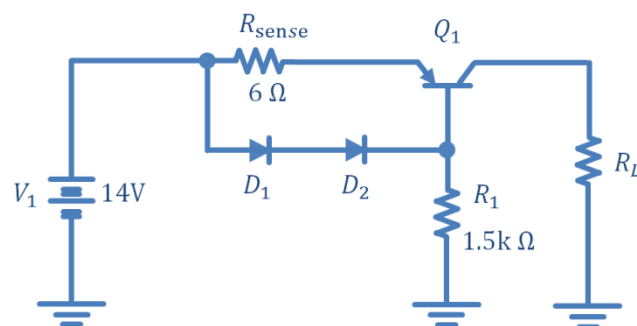


図2 シミュレーションに使用した回路

シミュレーションでは、負荷抵抗 R_L の値を $0\Omega \sim 500\Omega$ の範囲で連続的に変化させ、そのときに R_L に流れる負荷電流 I_{RL} を算出しました。その結果をグラフ化したものが図3です。本稿ではダイオードの電圧降下の値を $0.6V$ と仮定して話を進めてきました。この値がシミュレーションで使ったダイオードのモデルと異なるためか、シミュレーション結果は、 $100mA$ よりも若干ずれています。とはいえ、負荷電流はその付近で制限されていることを確認できるので、この回路が電流制限回路としてきちんと動作していることがわかります。

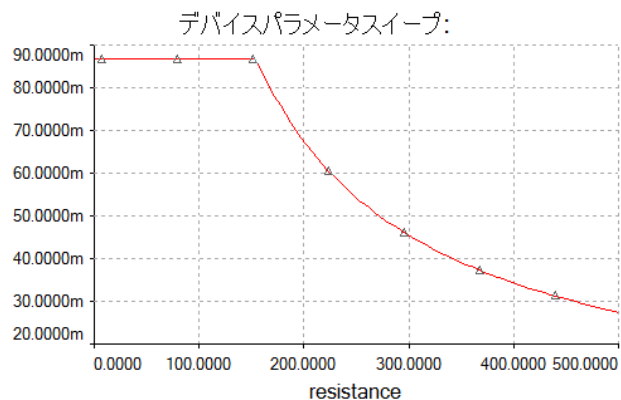


図3 負荷抵抗 R_L の値を $0\Omega \sim 500\Omega$ の範囲で変化させたときの負荷電流

本稿では、単電源のオペアンプに適用可能な電流制限回路を紹介しました。参考のために、正負両電源のオペアンプに対応した電流制限回路も図4に示しておきます。

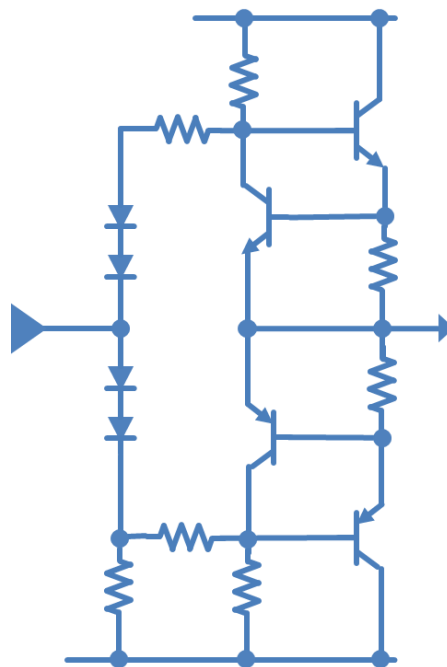


図4 正負両電源のオペアンプに対応した電流制限回路