

安くてカンタン 早押しボタン

勝部 雅稔 (コンサルティング・エンジニア)

ビジネス・フィールド:

- 半導体の品質問題解決支援サービス
- 電子回路設計

自著:

題名: オペアンプ スペックと活用

本書は、オペアンプのスペックと、その測定方法や活用方法を示しています。本書が扱うスペックの範囲は、直流/交流/雑音です。「スペックの活用」には、応用回路上で発生する誤差計算方法が挙げられます。また本書では、理想モデルからは正確な計算が難しい場合の計算方法や測定方法を提案しています。「ノウハウ」とも言い得ます。本文は452ページです。

連絡先:

名前: 勝部 雅稔 (かつべ まさとし)

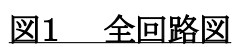
所在地: 〒215-0017 神奈川県 川崎市 麻生区 王禅寺西5-3-5-302

e-mail: mkatsube@juno.dti.ne.jp

ホームページ: <http://www.juno.dti.ne.jp/~mkatsube/Home.html>

早押しクイズで使え、しかもプレイヤー数に応じて拡張の容易な電子回路です。オペアンプをコンパレータとして使い、1プレイヤーあたり1個のオペアンプで済みます。図1が、全回路図です。最初に押した人のLEDが点灯します。外部リセットですから、テレビ番組のような動作ができます。

基本的に、この回路は、5～30[V]の広い電圧範囲で動作させることができます。しかし、LEDの電流制限抵抗器だけは調整の必要があります。この資料では、その調整方法も示しています。



The value of R117, R127, R137 and R147 (390Ω) is for $V_s=5V$, you should change the value when V_s change.

動作原理

図1は4プレイヤー用ですから、4つの基本回路から成り立っています。解説は A101-1 について行いますが、ほかの回路ブロックも同様に考えて下さい。

回路は、ボタンが押されるのを待ち、最初にボタンが押されたことを検出すると押されたことを記憶し、他の回路ブロックのボタンが押されても無効にする信号を送出します。この回路は、この動作をヒステリシス特性を持たせたコンパレータで実現しています。では、回路の動作を順に見ていきましょう。

まず、SW101 を RESET 側に倒して、再び RUN 側へ戻します。これが、この回路のリセット動作です。リセット状態では、A101-1 から A101-4 の出力はいずれも L (約 0[V]) です。ここで A101-1 の出力電圧を 0.1[V] (この数値は、実測によっています) として、 $V_s=5[V]$ のときの Pin3 の電圧 (V_3) を「節点解析」を用いて計算します。図2は、Pin3 周辺の等価回路です。

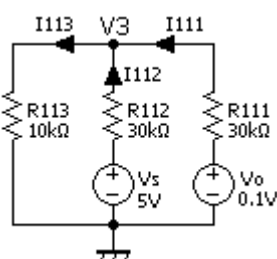


図2 Pin3周辺の等価回路

図中、上側の配線が、Pin3 に接続されるノードです。節点解析から、次に挙げる3つの方程式が得られます。

$$I111 = \frac{V_o - V_3}{R111} \quad (1)$$

$$I112 = \frac{V_s - V_3}{R112} \quad (2)$$

$$I113 = \frac{V_3}{R113} \quad (3)$$

これら方程式を $I113 = I111 + I112$ に代入して、 V_3 を計算します。

$$\begin{aligned} \frac{V_3}{R113} &= \frac{V_o - V_3}{R111} + \frac{V_s - V_3}{R112} \\ V_3 \times \left(\frac{1}{R111} + \frac{1}{R112} + \frac{1}{R113} \right) &= \frac{V_o}{R111} + \frac{V_s}{R112} \\ V_3 &= \left(\frac{V_o}{R111} + \frac{V_s}{R112} \right) \times \left(\frac{1}{\frac{1}{R111} + \frac{1}{R112} + \frac{1}{R113}} \right) \quad (4) \\ V_3 &= \left(\frac{0.1}{30E3} + \frac{5}{30E3} \right) \times \left(\frac{1}{\frac{1}{30E3} + \frac{1}{30E3} + \frac{1}{10E3}} \right) = \left(\frac{0.1}{30E3} + \frac{5}{30E3} \right) \times 6E3 \approx 1[V] \end{aligned}$$

次に Pin2 の電圧を計算しますが、その前に「D111, D112, D113 が無視できる」ことを説明しま

す。これらのダイオードは、他の回路ブロックのオペアンプ出力に接続されており、それら出力電圧は先に「L(約 0[V])と仮定する」としました。0[V]は、本回路の中で最低の電位です。ですから、ダイオードに順方向バイアスがかかることは無いわけです。これが、ダイオードが無視できる理由です。

以上の前提で Pin2 電圧(V2)を、次に挙げる計算式で解きます(SW111=open)。

$$V2 = V_S \times \frac{R115 + R116}{R114 + R115 + R116} = 5 \times \frac{22E3 + 62E3}{200E3 + 22E3 + 62E3} \approx 1.5[V] \quad (5)$$

V2=1.5[V]と V3=1[V]が、リセット状態です。この結果から V2>V3 と言え、このことは「L(約 0[V])と仮定する」に一致します。

次にボタン(SW111)が押された状態を考えます。V2 が変化し、その値は次のように式(5)で計算できます。

$$V2 = \frac{22E3 + 0}{200E3 + 22E3 + 0} \approx 0.5[V]$$

この数値から V2 と V3 の関係が V2>V3 → V2<V3 と変化し、加えて A101-1 出力電圧が H(約 3.5[V]、これは LM324 を 5[V]電源でコンパレータ動作させたときの標準的な出力電圧です)になります。そこで、V3 を式(4)で再び計算します。

$$V3 = \left(\frac{3.5}{30E3} + \frac{5}{30E3} \right) \times 6E3 = 1.7[V]$$

V2 と V3 の関係は V2<V3 のままですから、A101-1 出力電圧は H(約 3.5[V])で安定します。

A101-1 出力が H になると、その出力電圧はダイオードを介して他の回路ブロックへ加わります。A101-2 では、その反転入力端子(Pin6)に D121 を介して A101-1 出力電圧(約 3.5[V])が加わります。この電圧が加わる前の A101-2 反転入力端子電圧は、1.5[V]です。ですから、D121 の順方向電圧として、A101-1 出力電圧が加わるわけです。いま D121 の順方向電圧を 0.6[V]とすれば、A101-2 の反転入力端子電圧は 2.9[V](=3.5-0.6)になり、同時に SW121 を無効にします。「無効」とは、SW121 が押されても、A101-2 の反転入力端子電圧が変化しないことです。このことは、A101-3 や A101-4 も同じです。結果として A101-1 出力が、排他的に H になるわけです。

以上が、本回路の基本動作です。

アプリケーション

LED電流制限

図1は、電源電圧 $V_s=5[V]$ の設定です。 V_s を変更する場合は、LED の電流制限抵抗器 (R117, R127, R137 and R147) も変更する必要があります。オペアンプに LM324 を使う場合、H レベル電圧は、 $V_s-1.5[V]$ です。また、その出力電流は $20[mA]$ ほどです。いま、LED 駆動電流に $5[mA]$ を $V_s=12[V]$ で使うとして、電流制限抵抗器は次のように計算できます。

$$R = \frac{V_s - 1.5}{I} = \frac{12 - 1.5}{5E-3} = 2.1E3[\Omega]$$

この場合、 $2.0[k\Omega] \sim 2.2[k\Omega]$ が適正な抵抗値ということになります。

オペアンプの選定

本回路では、オペアンプをコンパレータとして利用しています。オペアンプを用いた理由として、プル・アップ抵抗器が不要になることや、高速スイッチングが不要であることが挙げられます。本回路で、オペアンプを選定する場合のポイントについて解説します。

オペアンプは、単一電源動作のそれを選定します。両電源タイプでは、入力電圧が負電源端子電位側に近づくと、「フェーズ・リバーサル」と呼ばれる不都合な動作をするオペアンプがあります。

データシートの絶対最大定格にある「差動入力電圧」にも注意します。LM324 の場合、電源電圧範囲の中で許容されていますが、例えば OP27 では $\pm 0.7[V]$ です。この種のオペアンプは、反転・非反転入力端子間にダイオード特性を持ち、コンパレータ動作には向きません。

図1では LM324 を用いていますが、これを LMC660 に交換するとマージンが改善されます。

LM324 では、リセット後の RUN 状態で、V2 (Pin2 の電圧) が $1.5[V]$ で、V3 (Pin3 の電圧) が $1.7[V]$ です。両者には、 $0.2[V]$ のマージンがあります。

LMC660 では、V2 は LM324 と同じですが、V3 が $2.0[V]$ になります。 $0.5[V]$ のマージンです。

このマージンの違いは、H レベル出力電圧の違いにあります。LMC660 はほぼ電源電圧まで出力できるのです。

しかし、マージンは電源電圧に比例して増大し、LM324 の $0.2[V]$ も許容できる数値です。

LM324 には多くの供給メーカーがあり、電源電圧も $30[V]$ まで使える (LMC660 は、 $15[V]$ まで) など良い面があります。これらも、LM324 の選定理由です。

プレイヤー数の拡張方法

この回路にプレイヤー数の上限は無く、無制限に増やせます。

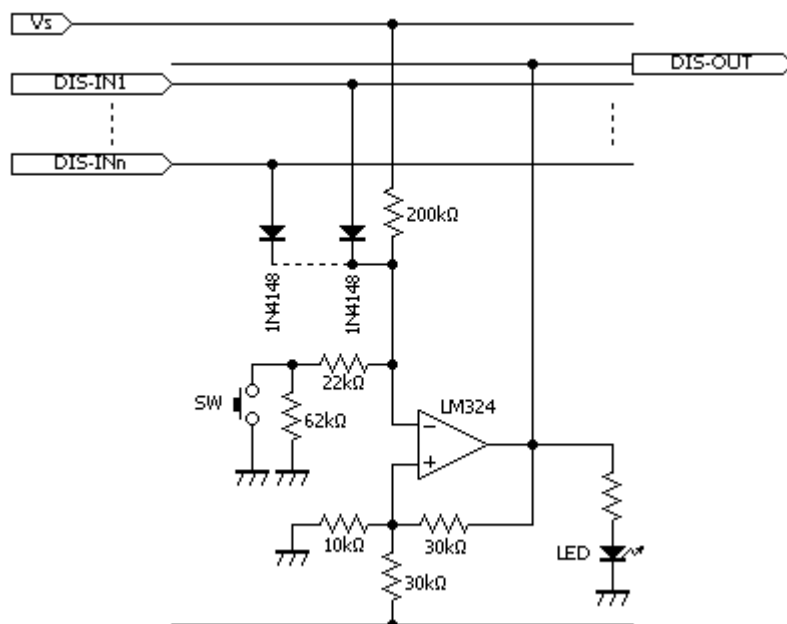


図3 1プレイヤーの基本回路

拡張方法は、次の通りです。

図3は、1プレイヤーの回路ブロックです。いま「n」をプレイヤー数とすると、n-1本のダイオードを準備しなければなりません。図1は4プレイヤーですから、各回路ブロックに3本のダイオードがあります。8プレイヤー用に拡張するためには、各回路ブロックに7本、合計56本のダイオードが必要です。

ダイオードのカソードを、オペアンプの反転入力端子に接続します。アノードは、当該のプレイヤーを除く、他のプレイヤーのオペアンプ出力に接続します。

これが、拡張方法です。

April/08/2009

「早押しスイッチ」を「早押しボタン」に変更しました。その他、Typoなどを修正しました。
December/8/2009