

LED のアンチ・ログ・ドライブ

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>

LED の照度コントロールで、強い非線形を感じたことはありませんか？

例えば、「PWM は思い通りの動作をしているのに、非線形が強い・・・」のような感じです。この非線形は、ヒトの目の対数特性がら来ています。

「対数特性を持っているなら、逆対数で補正すれば線形に近づくはず」というのが、ここで紹介する回路です。より正確に表現すれば、線形の入力電圧を逆対数の電流に変換してLEDを駆動する回路です。LEDを逆対数電流 (Anti-Logarithmic current) で駆動するから、Anti-Log Drive (アンチ・ログ・ドライブ) と銘打ちました。

図1が、Anti-Log Drive の基本回路です。回路は至って簡単です。

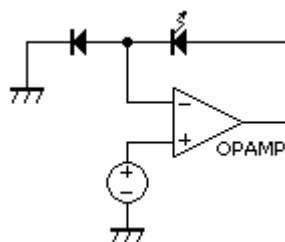


図1 Anti-Log Drive 基本回路

動作原理

図1の回路が逆対数動作をするのは、次のメカニズムによっています。
ダイオードに通じる順方向電流と順方向電圧は、一般に次式でモデル化されます。

$$I = I_s \times \left(\exp \frac{V}{V_t} - 1 \right) \quad (1)$$

$$V = V_t \times \ln \left(\frac{I}{I_s} + 1 \right) \quad (2)$$

I: 順方向電流 [A]

I_s : 飽和電流(逆バイアス電流) [A]

V_t : スレッショルド電圧(25.875[mV]) [V]

V: 順方向電圧 [V]

exp: 自然数 e (=2.718) を底とする指数関数で、 $\exp(x) = e^x$

式(2)は、式(1)を変形したものです。式(2)から、「順方向電圧 V は、順方向電流 I の対数関数(一般に、 $\exp V/V_t \gg 1$)」と言える関係です。逆に式(1)から、「順方向電流 I は、順方向電圧 V の指数関数(一般に、 $I/I_s \gg 1$)」と言える関係です。指数関数は、対数関数の逆関数ですから「逆対数」ともいえます。

図2に、ここで使用する 1N4148 の電流－電圧特性の実測データを示します。図2から、0.1～1.0[mA]と 1.0～10.0[mA]の電圧変化がほぼ同じで、対数特性であることが確認できます。

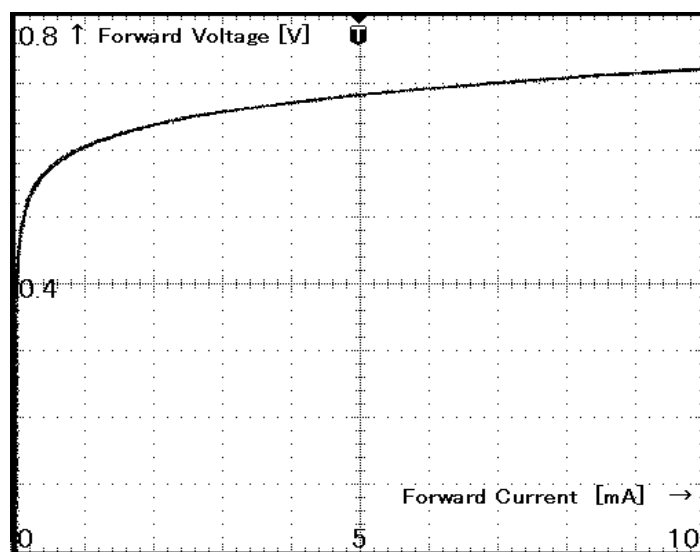


図2 1N4148 の電流－電圧特性

図1は、式(1)に従った回路です。一般にオペアンプ回路の基本動作は、「反転-非反転入力端子電圧が同じになる出力電圧で安定する」といえる動作をします。つまり反転入力端子電圧は、非反転入力端子電圧に追従するわけです。すると図1では、非反転入力端子に与えた電圧と同じ電圧が反転入力端子電圧であり、それがダイオードの両端電圧になります。そのときにダイオードを通じる電流は、式(1)に従うわけです。結果として、入力電圧を線形に変化させれば、ダイオードを通じる電流が逆対数(指数関数)となり、この電流がLEDを通じてオペアンプ出力から供給されます。つまり、LEDには逆対数に変換された電流が通じます。たったこれだけの回路で、Anti-Log Driveの完成です。

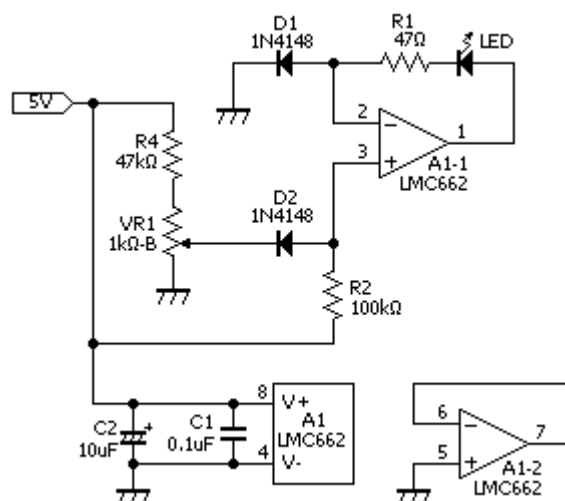


図3 簡単な実用回路

簡単な実用回路を、図3に示します。オペアンプには、単一電源で出力電圧振幅が電源電圧付近まで保証され、駆動力のある LMC662 を採用しています。R1(47[Ω])は、負帰還増幅器としての安定性を確保するためです。この抵抗器が無い場合に、発振することがあります。D2 は、D1 の順方向電圧の補正をしています。VR1 には、直線的な B カーブを使います。

小電力 LED を点灯させる場合の D1 の順方向電圧変化範囲は、100[mV]程度です。図3の電源電圧は 5[V]ですが、R4 と VR1 の組み合わせの変更で 15[V]まで使えます。電源電圧変更では、VR1 に 100[mV]程度の電圧が現れるようにします。

この回路をブレッド・ボードに組んで実験してみてください。照度が直線的に変化することが判ると思います。この程度の回路ですから、バックライトなど機器内蔵の照明にも使えます。PWM のようにスイッチングを伴いませんから、ノイズを嫌うアプリケーションにも安心して採用できます。

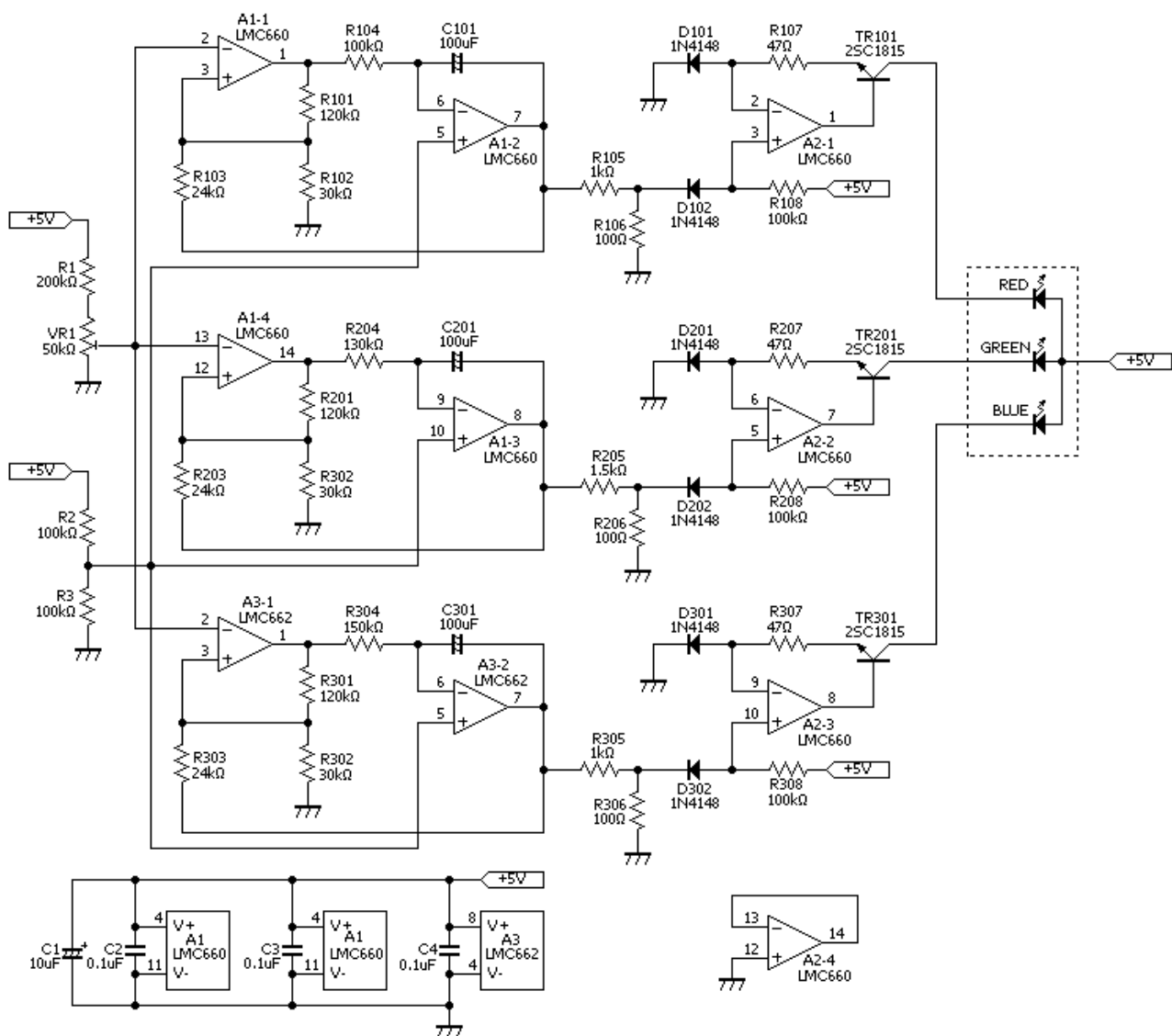


図4 RGB-LED 三角波駆動回路

図4は、RGB-LED(フルカラー LED)への応用回路です。回路図の RGB-LED とは、三原色 LED が同一パッケージに入っていて、リードが4本(1本は、アノード・コモン)のものです。これを独立の三角波発生器で駆動します。

A2-1～A2-3 が、Anti-Log Drive 回路です。A1-1～A1-4 と A3-1, A3-2 は三角波発生回路です。その間に分圧器を配置しています。

三角波発生回路の動作を A1-1 と A1-2 の組み合わせで説明すれば、次の通りです。

A1-2 の積分器の出力は、A1-1 (ヒステリシス付きのコンパレータ) の方形波出力電圧を受けて直線的に変化します。使用しているオペアンプの LMC660 (A3 の LMC662 は、LMC660 のデュアル版) の出力電圧振幅は、ほぼ電源電圧～グランドまでスイングします。そこで A1-2 の非反転入力電圧(=反転入力電圧)を電源電圧の半分にすれば、A1-1 の出力振幅に伴い R104 を通じる電流は、流れる方向が逆の同じ大きさの電流になります。積分器に方向が逆で同じ大きさの電流を交互に通じるわけですから、その出力は三角波になるわけです。

A1-1 の周辺回路の R101, R102, R103 の設定は、次の通りです。この回路は、三角波の振幅が GND から V_s (電源電圧)の 1/5 になるように設計しています。A1-2 出力が $V_s/5$ に達すると A1-1 出力が L(約 GND レベル)から H(約 V_s レベル)に反転し、A1-2 出力が GND レベル近くに達すると A1-1 出力が H から L に反転します。積分器の動作との組み合わせで、発振動作をします。VR1 は、約 $V_s/10$ の電圧に設定します。これを下回ると、発振が停止します。これ以上では、三角波の振幅が変わってきます。

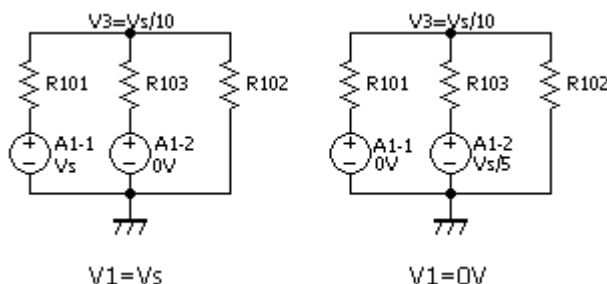


図5 R101, R102, R103 周辺の等価回路

ここで R101, R102, R103 は、次のように計算します。図5はその回路モデルで、左右の動作条件で V3 (A1-1 の Pin3 電圧) が反転入力端子電圧である $V_s/10$ になれば発振します。そのような R101, R102, R103 を計算します。

左の回路で A1-2 は 0[V] ですから、電圧源は A1-1 の V_s のみです。 V_s が R101 と R102||R103 で分圧されてその 1/10 になるわけですから、それら抵抗比は、

$$R101 = \frac{9}{\frac{1}{R102} + \frac{1}{R103}} \quad (3)$$

です。

右の回路で A1-1 は 0[V] ですから、電圧源は A1-2 の $V_s/5$ のみです。 $V_s/5$ が R103 と R101||R102 で分圧されてその半分の $V_s/10$ になるわけですから、それら抵抗比は、

$$R103 = \frac{1}{\frac{1}{R101} + \frac{1}{R102}} \quad (4)$$

です。

未知の抵抗器が3個ですから、もう一つ方程式が必要です。ここでは、R101, R102, R103 のいずれか一つを1にして、相対的な抵抗比として求めます。ここでは、R102=1として解きます。これで未知の抵抗値が2つで、方程式が式(3)と式(4)の2つですから解けるわけです。

まず、式(4)を式(3)に代入します。

$$\begin{aligned} R101 &= \frac{9}{1 + \frac{1}{R101} + \frac{1}{R102}} = \frac{9}{\frac{1}{R101} + 2} \\ \frac{R101}{R101} + 2 \times R101 &= 9 \\ R101 &= \frac{9-1}{2} = 4 \quad (5) \end{aligned}$$

式(5)の結果を式(4)へ代入して、

$$R103 = \frac{1}{\frac{1}{4} + 1} = 0.8$$

以上から R101 : R102 : R103 = 4 : 1 : 0.8 が得られました。E24 系列から、120[kΩ] : 30[kΩ] : 24[kΩ] が得られます。

VR1 は上記説明から、V3(A1-1 の Pin3 電圧)を決定します。V3 が Vs/10 よりも下がると、A1-2 出力電圧が負の電圧になることから成立しません。V3 が Vs/10 を超えて高くなると、三角波の振幅が変わります。LED 駆動で問題になるのは、LED が十分に減光できないことです。そこで、Vs/10 にできるだけ近く、安定な発振が得られる電圧に VR1 を設定します。VR1 は、3つの三角波発生回路に共通ですから、全ての回路の状態をみながら調整します。

この三角波発生回路の出力振幅は電源電圧に依存し、下側が 0[V]付近で、上側は Vs/5 です。図4は、Vs=5[V]の設定です。回路としては、LMC660 や LMC662 の動作範囲である Vs=15[V]程度まで動作できます。電源電圧変更では、R105, R106, R205, R206, R305, R306 の分圧器を適宜変更します。分圧後の電圧が、概ね 0-100[mV]程度の振幅になるように設定します。図4では、GREEN の振幅を決める R205 だけ 1.5[kΩ]を採用しています。GREEN だけ発光が強く、他の色が目立たないために抑えたものです。

図4の A2-1, A2-2, A2-3 は、いずれも同一回路です。これらが図1や図3と異なるのは、TR101, TR201, TR301 の存在でしょう。RGB-LED のアノードがコモンとして接続されており図1のような接続ができないために、回路を工夫しています。図4はまた、オペアンプの駆動能力を超えるハイパワー LED 駆動の解決策にもなります。

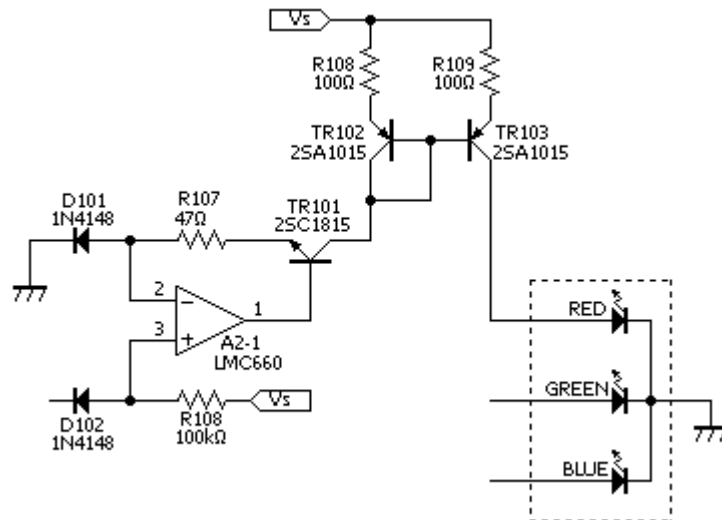


図6 カソード・コモン RGB-LED 駆動回路

RGB-LED の製品には、カソード・コモンもあります。こちらを同一の回路から考えると、スマートさに欠けますがカレントミラーを使う方法があります。図6に、A2-1 周辺回路を示します。この回路では LED に通じる電流と同じ大きさの電流を D101 側にも流していますから、この部分の電流が2倍になります。このように効率が悪いことから、アノード・コモンの利用をお勧めします。

RGB-LED には、RGB それぞれ独立したアノード・カソード電極を持つ製品もあります。この場合の回路は、図3のように最小にできます。

RGB-LED を、きれいに点灯させるためには、拡散用キャップの併用をお勧めします。LED の光は直進性が強く、拡散キャップ無しでは独立した色に見えます。また、拡散はできるだけ光源に近いところでおこないます。光源から離れると、RGB の独立した色が拡散されるような感じになります。このように考えると、LED パッケージに直接取り付ける拡散キャップが最適となるわけです。

April/16/2009