

# ナイトライダー ライト・スキャナー

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](mailto:mkatsube@juno.dti.ne.jp)

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

テレビドラマ「ナイトライダー」のライト・スキャナーです。もちろん、「残光」も持たせました。

アナログ回路を使い、半田付けだけで動作します。図1が全回路図で、やや複雑な印象を受けるかもしれませんが、ほとんどは同じ回路の繰り返しです。実装を考えると、効率の良い部品配置を考えるとよいでしょう。

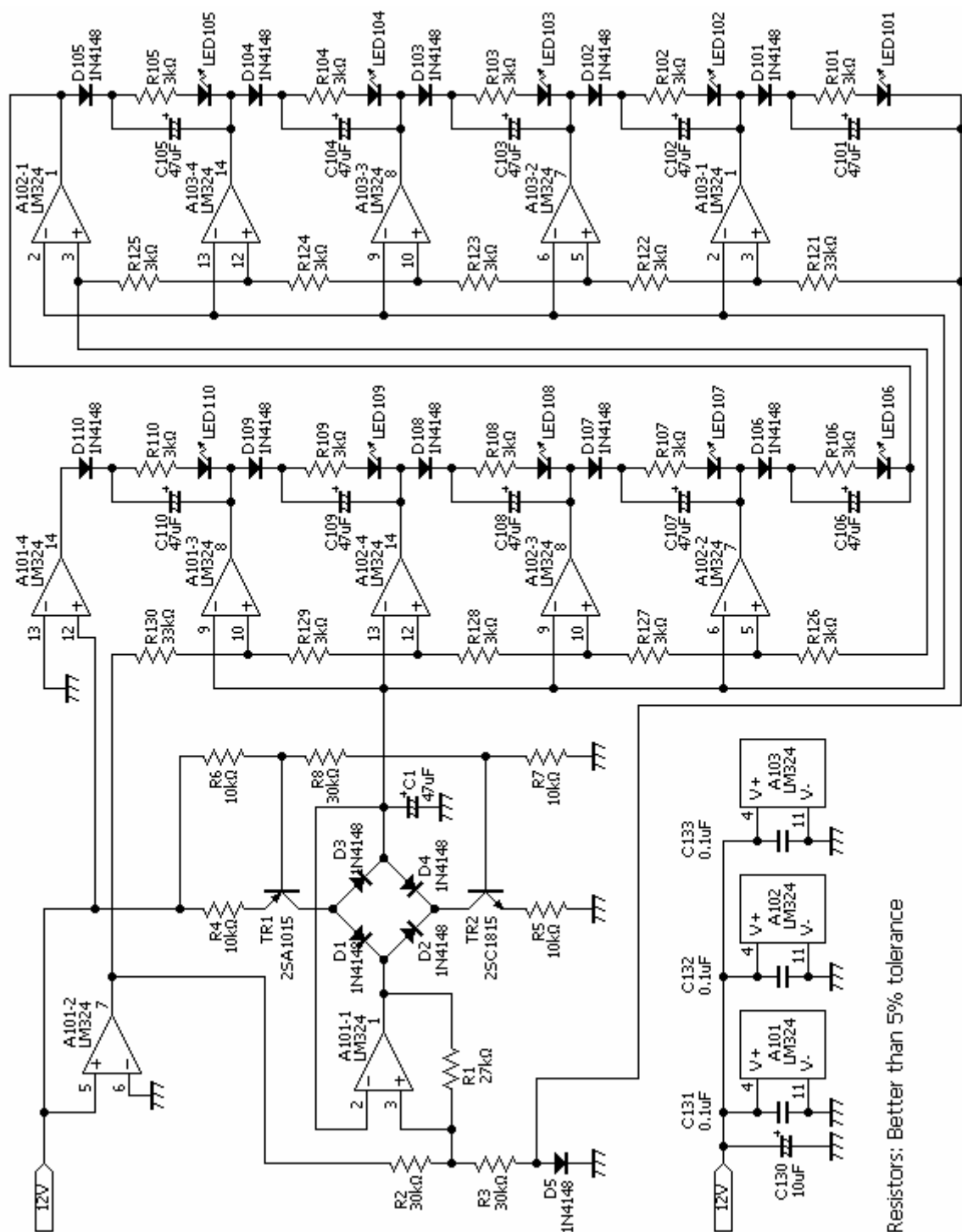


图1 全回路图

Resistors: Better than 5% tolerance

## 動作原理

図1の A101-1 は、三角波発生回路です。三角波をコンパレータ群に入力します。コンパレータ(オペアンプをコンパレータ動作にしています)は、非反転入力端子のリファレンス電圧をスレッシュホールドとして出力が H/L に切り替わります。図1のようにLEDをコンパレータ間に接続すると、隣接するコンパレータのうち、H/L のレベル差のあるLED が点灯します。入力電圧が三角波で、コンパレータのリファレンス電圧が一定電圧間隔で設定されていれば、LED は流れるように往復点灯するわけです。

ナイトライダーでは、スキャニングしている先頭のランプが明るく、後続のランプには残光があります。この残光は、C101～C110 でおこないます。LED 点灯時に充電し、コンパレータによる点灯が終わっても、少しの間はコンデンサで点灯するわけです。こうして残光をつくります。

回路を少し詳しく説明します。

A101-1 を使った三角波発生器は、二組の定電流源(TR1, TR2 とその周辺回路)でコンデンサを充・放電させています。A101-1 はヒステリシス特性を持たせたコンパレータで、D1～D4 はダイオード・スイッチです。A101-1 出力でダイオード・スイッチを駆動して、充・放電の方向を決めています。定電流源でコンデンサを充電すると、直線的に電圧が上昇・下降します。発振動作は、次の通りです。

説明にあたり、A101-1 の Pin2 (反転入力)の電圧を  $V_2$ 、Pin3 (非反転入力)の電圧を  $V_3$ 、Pin1 (出力)の電圧を  $V_1$  とします。なお  $V_2$  は、コンデンサの両端電圧でもあります。

$V_2 < V_3$  であれば、 $V_1 = H$  です。このとき  $V_1 > V_2$  であれば、TR2 出力電流(コレクタ電流)は A101-1 が D2 を通じて供給することになります。なぜなら、D2 を通じて TR2 のコレクタ電圧が  $V_1$  近くまで引き上げられ、D4 が逆バイアスになるからです。

一方で、TR1 出力電流(コレクタ電流)は D3 を通じて C1 を充電します。なぜなら  $V_1 > V_2$  ですから、TR1 のコレクタ電圧は D3 を通じて  $V_2$  近くまで引き下げられ、D1 が逆バイアスになるからです。

C1 への充電を続けると、いずれ  $V_2 = V_3$  を迎えます。この状態に到達すると、 $V_1$  が L に反転します。するとコンパレータのヒステリシス特性から  $V_2 > V_3$  となり、C1 は TR2 に接続され放電します。TR1 からの電流は、A101-1 が吸い込みます。放電して  $V_2 = V_3$  になれば、 $V_1$  が H に反転して  $V_2 < V_3$  となり、発振動作をします。

以上の説明から三角波の振幅は、 $V_3$  (Pin3 電圧)によって決まります。A101-2 出力は、H レベル一定です。LM324 の H レベル出力電圧が電源電圧よりも 1.5[V]程度低く、A101-2 はこのリファレンス電圧を供給しています。また D5 は、LM324 の L レベル出力電圧(約 0.6[V])を作り出しているリファレンスです。結果として R2, R3 には、LM324 の H-L の電位差が加わります。その中点が  $V_3$  で、正帰還のための R1 が接続されます。回路の動作は、A101-1 出力が L であれば R3 と R1 が並列接続に、H であれば R2 と R1 が並列接続されることに等価です。R1 の回路定数は 27[k $\Omega$ ]ですが、これを R2 や R3 と同じく  $R1 = 30[k\Omega]$  とすれば、 $V_3$  は H-L 電位差の 1/3 (L 出力時)と 2/3 (H 出力時)の電圧を発生します。これが三角波の振幅です。

ここでコンパレータ群のリファレンス電圧である R121～R130 を見ると、その両端を A101-2 出

力とD5に接続しています。同じリファレンス電圧を加えているわけです。R121～R130の抵抗値をみると、R121とR130が33[kΩ]で、R122～R129が3[kΩ]です。更にR122～R129の抵抗値の合計は、24[kΩ](=3[kΩ]\*8)です。R122～R129の両端電圧が、およそ1/3と2/3になります。これでコンパレーターのリファレンス電圧の上下限值が、三角波の振幅と同じになるわけです。

この構成では、抵抗器の精度の影響を受けます。本回路は、5[%]の抵抗器を使うことを前提にしています。両端のLEDまで点灯するように、マージンを設定しています。しかしあまりマージンを取りすぎると、最上位と最下位のLED点灯時に滑らかさを失います。

コンパレータ出力には、逆方向電流防止のダイオード(例えば、D101)を介してコンデンサと電流制限付きのLEDに接続します。コンパレータ出力でLED駆動させている間にコンデンサを充電し、コンパレータ駆動が切れても、コンデンサの放電電流でLEDが少しの間点灯し、時間経過と共に照度が落ちます。これが残光です。

ここで、コンデンサ充電時に短絡に近い電流がオペアンプ出力に通じます。LM324をはじめ多くのオペアンプでは、出力電流制限回路で出力の短絡を保証していますので、このような回路が成立するわけです。デジタルICなどでは、この回路を採用すべきではありません。

ここで、この回路は電源電圧が5[V]付近でも基本的に動作するように設計していますが、残光のためのコンデンサの静電容量を相当大きくする必要があります。LEDを一定時間点灯させるためには、応分の電荷量が必要です。コンデンサに充電される電圧が低くなれば、同じ電荷量を供給するために静電容量を増やす必要があるものです。

静電容量は、次のように計算すると良いでしょう。いま、逆方向電流防止ダイオードの順方向電圧を0.6[V]として、LEDの順方向電圧を1.6[V]とします。合計で2.2[V]です。図1は、電源電圧12[V]の設定です。コンパレータ出力のH-L電位差は、9.9[V](=10.5-0.6)です。コンデンサに充電され、LED点灯に貢献する電荷量は、

$$Q = C I \times V = 47\text{E-}6 \times (9.9 - 2.2) = 361.9\text{E-}6 [\text{coulomb}] \quad (1)$$

です。

電源電圧5[V]で必要な静電容量を逆算してみます。コンパレータ出力のH-L電位差は、2.9[V](=3.5-0.6)です。よって、

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{361.9\text{E-}6}{2.9 - 2.2} = 517 [\mu\text{F}] \quad (2)$$

と、10倍にもなります。470[μF]を使うにしても形状が大きく、あまり実用的では無いことがわかります。

TR1, TR2の定電流源には、電圧依存性を持たせてあります。電源電圧変化によるスキャン速度への影響を小さくするためです。

TR1の回路であれば、R6, R7, R8の直列回路が電源端子間に接続されています。各抵抗における電圧降下は、ほぼ抵抗比で決まります。ですから、R6の電圧降下は、2.4[V](=12\*1/5)です。この電圧が、V<sub>BE</sub>(約0.6V)とR4に加わります。R4には1.8[V](=2.4-0.6)が現れ、180[μA](=1.8/10E3)の電流になります。これが、ほぼコレクタ電流(電流源としての出力電流)になります。TR2も同様です。

定電流源の出力電流  $I_o$  は、

$$I_o = \frac{V_s \times \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8} - V_{BE}}{R_4} \quad (3)$$

三角波の振幅も電源電圧の影響を受け、電源電圧から約 2.1[V]を減算した値になります (LM324 使用時)。三角波は、コンデンサの充・放電であり、充電(または放電)に要する時間  $t$  は、

$$t = \frac{C I \times (V_s - 2.1)}{I_o} \quad (4)$$

式(4)へ式(3)を代入します。

$$t = \frac{C I \times (V_s - 2.1) \times R_4}{V_s \times \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8} - V_{BE}} = \frac{V_s \times C I \times R_4 - 2.1 \times C I R_4}{V_s \times \frac{R_6}{R_6 + R_7 + R_8} - V_{BE}} \quad (5)$$

式(5)の性質は、 $V_s$  がある程度大きくなれば、 $V_s$  の変化に伴う  $t$  の変化が分母・分子で相殺され小さくなります。つまり、電源電圧変化に対するスキニング時間への影響が小さいわけです。

表1は、よく使う電源電圧に対するスキニング時間を式(5)から算出した結果です。

$V_s$ [V]	5	6	9	12	15	24	30
$t$ [sec]	3.41	3.06	2.7	2.59	2.53	2.45	2.43

表1 スキニング時間 ( $t$ ) の電源電圧 ( $V_s$ ) 依存性

このような背景から、定電流源に電源電圧依存性を持たせています。

## アプリケーション

### 電源電圧の変更

図1は、電源電圧  $V_s=12[V]$  の設定です。電源電圧を変更する場合は、LED の電流制限抵抗器 (R101～R110) と、残光用コンデンサ (C101～C110) も変更する必要があります。

LED 電流制限抵抗器は、次のように決めます。オペアンプに LM324 を使う場合、H レベル電圧は  $V_s-1.5[V]$  であり、L レベル電圧は  $0.6[V]$  です。更に D101～D110 のダイオード順方向電圧を考慮します。いま、LED 駆動電流に  $5[mA]$  を  $V_s=24[V]$  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。

$$R = \frac{V_s - (1.5 + 0.6 + 0.6)}{I} = \frac{24 - 2.7}{5E-3} = 4.26E3 [\Omega]$$

この場合、 $4.3[k\Omega]$  が適切な抵抗値ということになります。

残光用コンデンサは、既に動作原理の中で述べましたが、簡単にまとめます。式(1)より、 $361.9[coulomb]$  の電荷量が必要とします。LM324 の H レベル出力電圧は  $V_s-1.5V$  として、L レベル出力電圧を  $0.6[V]$  とします。更に、逆方向電流防止ダイオード (例えば D101) の電圧降下の  $0.6[V]$  と、LED の順方向電圧降下の  $1.6[V]$  を加えます。この結果、電源電圧から  $4.3[V]$  を減算します。そうして電荷量と電圧から、必要な静電容量を式(2)のようにして得ます。 $24[V]$  であれば、

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{361.9E-6}{24 - 4.3} = 18.4 [\mu F]$$

が得られ、 $15[\mu F]$  または  $22[\mu F]$  であれば  $12[V]$  時と同様の残光が得られます。

## 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。

データシートの絶対最大定格にある「差動入力電圧」に注意します。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。

LM324 の利用で良くない点は、三角波の電圧の下降局面で、本来点灯する LED のすぐ下の LED が僅かに点灯することです。おそらくコンデンサへの充電の際の大きな電流で L レベルが上昇し、LED が僅かに点灯する程度の電位差ができてしまうためだろうと思います。充電電流制限用の抵抗器の追加や、LMC660 のような駆動能力のあるオペアンプであれば防げるかもしれませんが、しかし部品点数の低減と、LM324 は安価で複数のメーカーで供給されている状況などから、些細な点にはこだわらないことにしました。なお、LMC660 への置き換えには、一部設計を見直す必要があります。

April/08/2009