

Photo Detector 用 IV 変換回路の作り方

東京大学理学系研究科天文学専攻 ちんたん

2011/2/28
chen2011022801*

1 はじめに

Photo Detector (フォトディテクター) とは、光電効果を利用し、特定の波長領域の光を当てた時に電流を発生させる素子である。これは電子回路中では電流源として振る舞う。この電流源からの信号を電圧信号に変える必要がある。それが、IV 変換回路でドライブ回路とも呼ばれる。

2 IV 変換回路の基本原理

まずは理想を考える。IV 変換回路は以下の図のような感じが基本である。

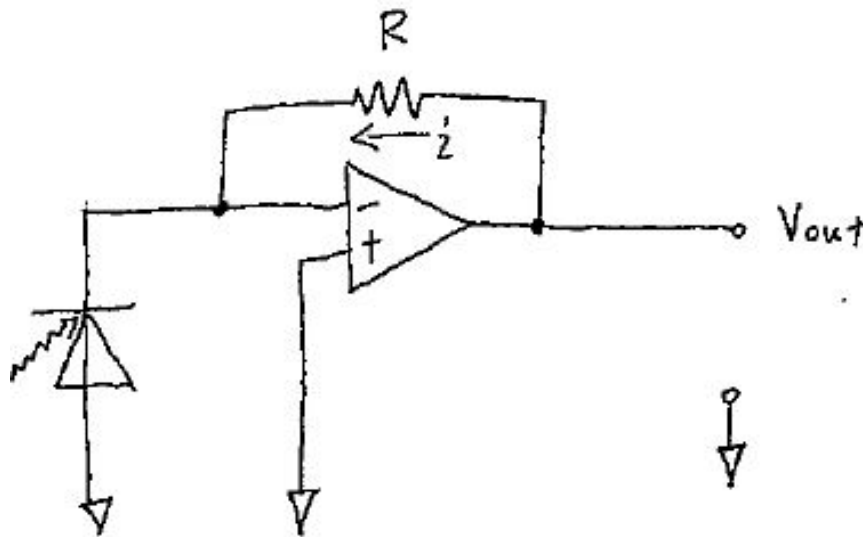


図 1: IV 変換回路の基本形

Photo Detector に光があたり、電流を流そうと Diode(=Detector) ががんばると、 i のような電流が発生する。これは OP アンプの入力は高インピーダンス（つまり電流が流れ込まない、流れ出さない）であるから。

また + 極と - 極はバーチャルショートしているからである。このためこの二端子はともに 0V になっている。これは OP アンプが安定に動作するための条件である。二端子に電圧差が生じている場合には OP アンプの増幅効果により出力は無限大になってしまう。

*ChenDan が書いたレポート中の固有番号

このように理想の場合には Detector が流す電流と抵抗の値に応じて出力電圧が変化する。Detector に何 W の光がきたら、どれだけの電流を流すかはその PD のスペックシートを参照にする。例えば、FGA04 の場合には 1500nm の波長に対して、0.9A/W である。

3 実際の IV 変換回路

では次に実際の IV 変換回路をどう作らなきゃいけないのかを見ていく。

まず、OP アンプの電源には 0.1 μ F コンデンサーをつけて OP アンプの安定性を確保する。

次に PD は実はコンデンサー成分を持っているために、これが共振を起こさないように抵抗と並列にコンデンサーを付ける必要がある。各 PD がどれくらいのコンデンサー成分を持っているかは、スペックシートで確認する。この PD に含まれる容量を C_D とし、共振を消すために、抵抗と並列に付けるコンデンサーの容量を C_F とする。回路図にすると、以下の様になる。

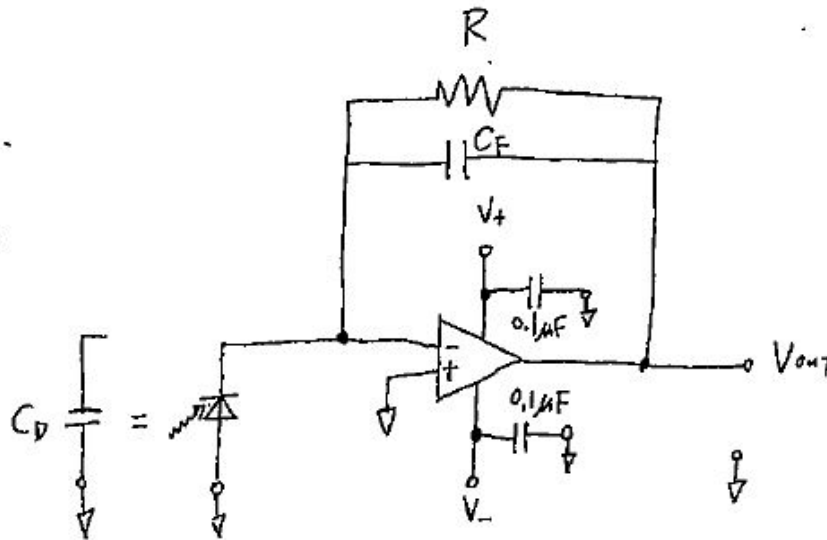


図 2: 実際の IV 変換回路の図

この図のまず抵抗値をいくつにするかについて。これは PD がどれだけの I を出すかによる。 V_{out} は

$$V_{out} = IR \quad (1)$$

である。 V_{out} が OP アンプの最大出力 (13V くらい) を越えないように R を決定する。

最後に C_F の値を決定する。これは次の式を満たすように容量を選ぶ。

$$\frac{1}{2\pi R_F C_F} = \sqrt{\frac{GBP}{4\pi R_F C_D}} \quad (2)$$

ここで GBP とは OP アンプのゲイン A と、そのゲインが下がっていくときの振動数の積である。なおこの式は OPA657 のスペックシートからとってきたものである。

ちなみに今回自分が作った回路では、以下のような値になった。

$$OPamp = OP07 \quad (3)$$

$$P_{max} = 40mW \quad (4)$$

$$efficiency = 0.9A/W \quad (5)$$

$$R = 185\Omega \quad (6)$$

$$C_D = 0.7 \times 10^{-12}F \quad (7)$$

$$C_F = 35 \times 10^{-12}F \quad (8)$$

以上のことはオープンループゲインにおいて、ユニティゲインの位相が π にならないようにする作業になる。

AppendixA なぜみんな Unity Gain での位相戻りを気にしているの ???

今回の回路を例にとって説明する。

まず次のような図を書いた。

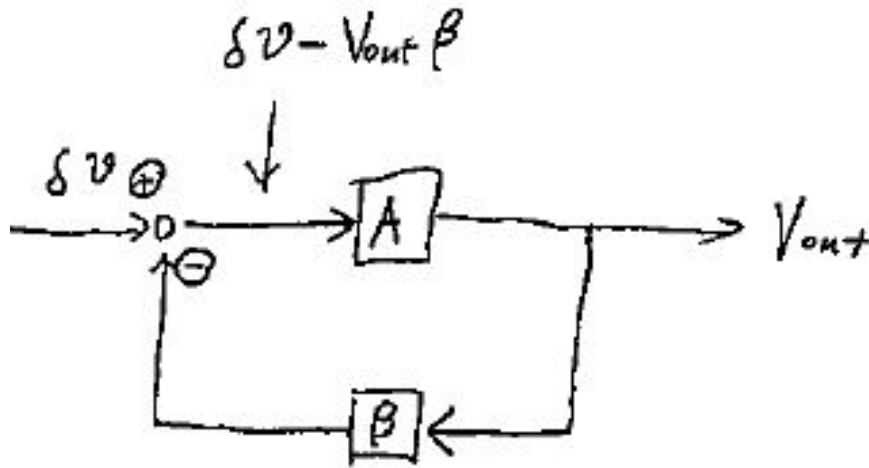


図 3: 入力が δv で、 A は OP アンプによる増幅率、 β は OP アンプ以外の回路による影響を表している。

この時に系外から入ってくる信号が δv であったとすると、OP アンプ A に入る直前は $\delta v - V_{out}\beta$ となっている。この電圧が OP アンプを通ることで V_{out} になるわけだから、

$$V_{out} = A(\delta v - V_{out}\beta) \quad (9)$$

$$\rightarrow V_{out} = \frac{A}{1 + A\beta} \delta v \quad (10)$$

となる。ここでもし

$$A\beta = 1 \cdot \exp(i\pi) \quad (11)$$

になってしまうと、 V_{out} が発散してしまう。これは避けなければならない。この発散してしまうときに、Gain が 1 で、位相が π のときである。

よってみんな Unity Gain での位相が π だけ回っていないかどうかを気にするのである。この条件が成り立ってしまうと、 V_{out} が発散してしまう計算となるから。