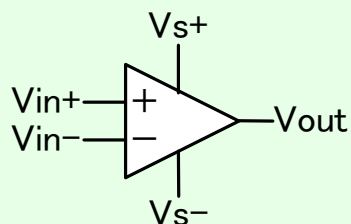


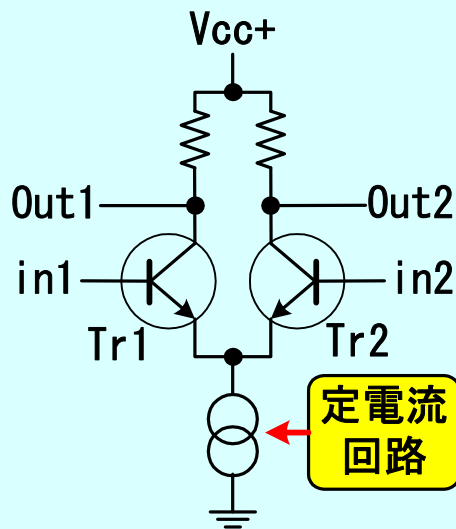
差動増幅回路とは

差動増幅回路 (Differential amplifier) とは、2つの入力信号の差分を、一定係数 (差動利得) で増幅する回路です。差動増幅回路は、オペアンプ、コンパレータ等の入力段として使われます。今回は、トランジスタで、差動増幅回路の単体の動作を説明、実験します。

オペアンプ



差動増幅回路



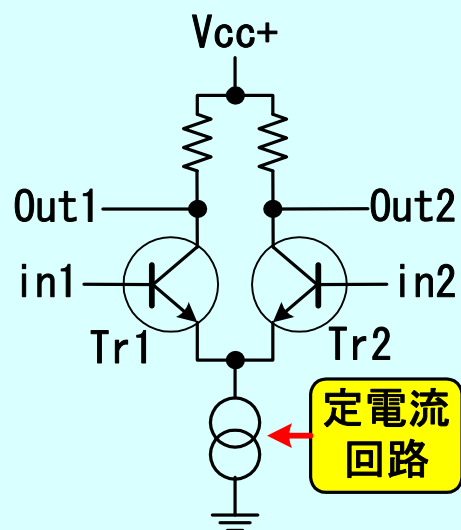
オペアンプは、中に複雑な高性能アンプ回路が実装されています。オープン電圧利得が100dB程度あります。そのオペアンプ回路の初段に差動増幅回路が、実装されています。であれば、差動増幅器とか作らなくても、オペアンプを使えばいいじゃないか？

という話になります。でも、差動増幅回路の事を知っていた方が、オペアンプの理解もより深まると思います。

左の差動増幅回路の図を見てもらうと、2つの特性の揃ったトランジスタ2個を用い、エミッタ同士を連結して、定電流負荷に電流を流し出しています。2つのトランジスタ片側仮に $Tr1$ のベース $in1$ を + 入力とすると、 $Out1$ が 後段に続く+の(逆相)出力になります。

$Tr1$ が、+ 入力と決めてしまえば、 $Tr2$ のベース $in2$ は - 入力になり、 $Out2$ が、後段に続く-の(逆相)出力になります。

差動増幅回路



(逆相)と書いたのは、トランジスタのベースに入れた信号は、コレクタから、増幅されて極性が反転した形で出てくるからです。

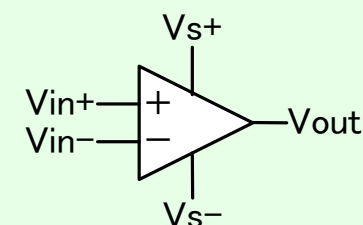
あと、差動増幅回路のトランジスタは特性が揃っている事も大事ですが、

2つのトランジスタを熱結合させる事も大事です。それと共通エミッタの下に定電流回路を入れてますが、これも差動増幅回路として重要な意味を持ちます。共通エミッタ部分の定電流回路を、抵抗に置き換えても一応動きますが、共通エミッタ部分の抵抗値が固定になるので差動増幅回路としての性能が十分発揮出来ません。

Wikipediaの説明では、オペアンプを例にして作動増幅回路の、差動利得、同相利得、同相信号除去比 CMRRの式を書いてあります。

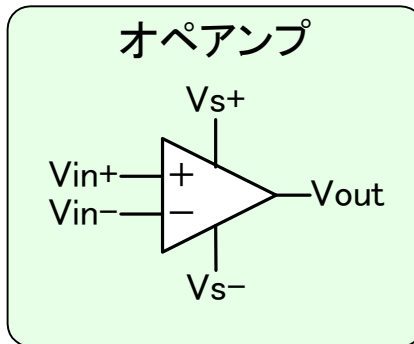
基本考え方は同じですが、オペアンプには出力が、Vout一つしかありません。左のトランジスタによる差動増幅回路では、Out1とOut2の2つありますがちょっと乱暴な話に聞こえますが **Out2は使わない事にします。**

オペアンプ



Out1、Out2の両方を後段の回路に送る場合もありますが、Out1は、既にin1、in2の差分を取った**差動信号**になっています。ただ、反転した信号なので、後段の増幅で再度反転させてin1と同相の**信号**にします。これは、あくまでこのトランジスタによる作動増幅回路をオペアンプ的な増幅回路の初段として使う事が、前提となります。

前置きが、長くなりましたが、先ほどのトランジスタの差動増幅回路を右の オペアンプとみなして計算式を示します。



V_{s+} : 正電源

V_{s-} : 負電源

V_{in+} : 正極入力

V_{in-} : 負極入力

V_{out} : 出力

$$V_{out} = A_d * (V_{in+} - V_{in-}) + A_c * ((V_{in+} - V_{in-}) / 2)$$

ここで、 A_d は 差動利得、 A_c は 同相利得です。差動利得と同相利得の比を 同相信号除去比 CMRR と呼びます。

$$CMRR = A_d / A_c$$

CMRRの式で、 A_c がゼロに近づくと CMRRは無有限大に近づく事になります。従って完全に対照的な作動増幅回路で $A_c = 0$ なら、出力電圧は、次のようになります。

$$V_{out} = A_d (V_{in+} - V_{in-})$$

応用:

差動増幅回路は 入力が1つの増幅回路よりも汎用的形態です。ここで、入力の片方 V_{in-} に基準電圧 V_{ref} を入力し、もう片方の入力 V_{in+} に信号を入力すると、出力 V_{out} は

$V_{out} = A_d * (V_{in+} - V_{ref})$ となり、出力 V_{out} は、基準電圧 V_{ref} と入力信号の差を増幅した結果が出力されます。即ち基準電圧と入力信号の対比を増幅するように見える事からコンパレータとして利用出来ます。差動増幅回路は、負帰還を使ったシステムでよく使用されます。と、書いてありました。

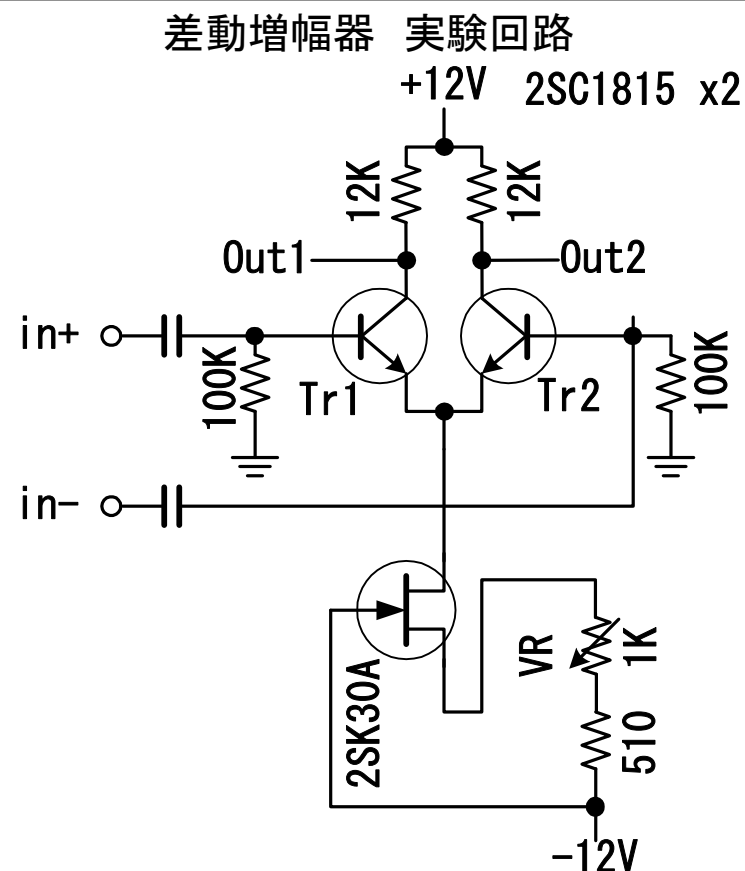
ちなみに、トランジスタの差動回路だけと、オペアンプの違いは、

- ① トランジスタ1段なので、
電圧利得が、桁外れに小さい。
- ② トランジスタ、コレクタ出力1段なので
信号が反転している。
- ③ 出力インピーダンスが高く、
ドライブ能力が、低い。
- ④ 入力インピーダンスが、やや低いので
入力信号に影響を及ぼす恐れがある。

という事で、そのままでは、使いずらく、あまり実用的ではない。という事がいえます。

それに対しオペアンプは、汎用的に使いやすいように 作られており、入力は ハイインピーダンス、出力はローインピーダンスで、かつ利得が 100dBもあるので、演算増幅器として、いろんな使い方が出来ます。

今回の差動増幅器の実験回路



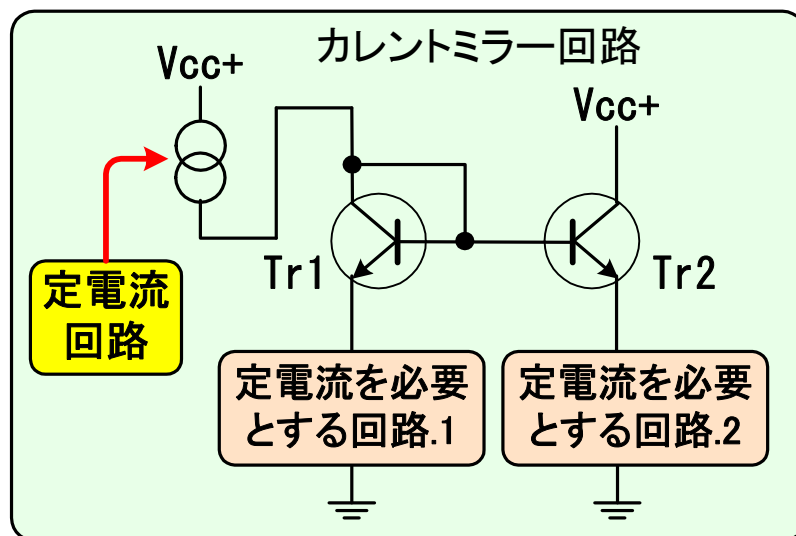
都合により、飛び越し

カレントミラー回路

カレントミラー回路とは、カレント（電流）を、ミラー（鏡移しのように正確にコピー）する回路です。要は、一つの基準になる定電流源があって、その定電流源と同じ電流値の定電流回路を、複数用意するための回路です。

回路構成：

カレントミラー回路は、基準となる定電流源に加えて、バイポーラトランジスタを 2つ使用します。

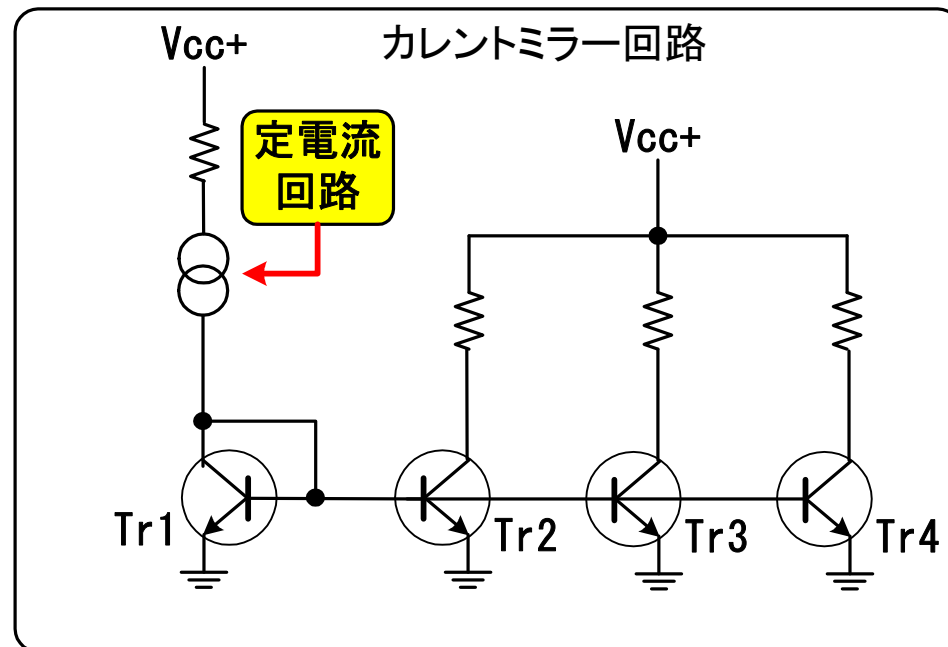


左下のカレントミラーの図で、定電流を必要とする回路の 1 と 2 が、ありますが、元の原理図には、書いてありません。でも、実際の使い方を考えると、定電流源を複数必要とする回路が、存在しているはずですので、書いておきました。

この2つのトランジスタは、それぞれベース端子が、ショートしており、さらに このうち Tr1はコレクタ端子ともショートしています。この回路において、定電流源から Tr1のベース端子に電流が流れると、トランジスタが導通してコレクタ電流が流れます。このとき、ベース、エミッタ間電圧 V_{be} は 0.6~0.7V程度で固定され、それと同じ電圧が Tr2のベース端子にも掛かります。

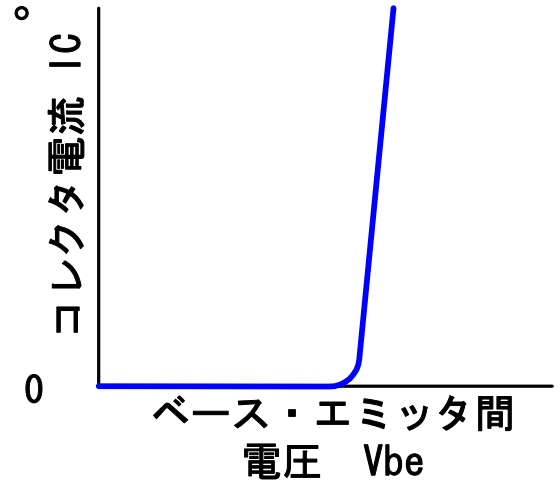
するとトランジスタ Tr2も導通し、定電流源の電流と同じ大きさの電流が コレクタ、エミッタ間に流れます。つまり、定電流源の電流を複製しているという事です。

これが、カレントミラーと呼ばれている所以でこの性質を利用する事で、**2つ**だけでなく**3つ**、**4つ**と更に多くの定電流を複製する事が出来ます。但し、トランジスタ $Tr1$ には、定電流源から**ベース端子にも電流が流れているため**、**トランジスタの数が増えるほど、 $Tr1$ と他のトランジスタとの間で、電流値の差が大きくなります。**



カレントミラーにおいて、電流を複製するためには、トランジスタ同士の $I-V$ 特性が一致している必要があります。

ここでいう $I-V$ 特性というのは、トランジスタのベース・エミッタ間電圧 V_{be} とコレクタ電流 I_c の関係を表したものです。



$I-V$ 特製:

トランジスタは、一定以上のベース・エミッタ間電圧が、掛かると コレクタ電流が急速に流れ出します。このコレクタ電流の大きさは、トランジスタ毎に異なるためカレントミラーに使用するトランジスタは、型式が 同じである事はもちろん、 IC チップとして集積化された(同一ウェハー上に

制作されたトランジスタを使用する必要があります。ディスクリート部品を使ってカレントミラーを作ったとしても、各トランジスタの特性が一致していないために思ったような性能は得られません。

応用回路：

ベーシックなカレントミラーでは、トランジスタ Tr2 に掛かる電圧を 0 ～ 5 V まで連続的に変化させていくと、それぞれのトランジスタのコレクタ電流にわずかな差が生じます。

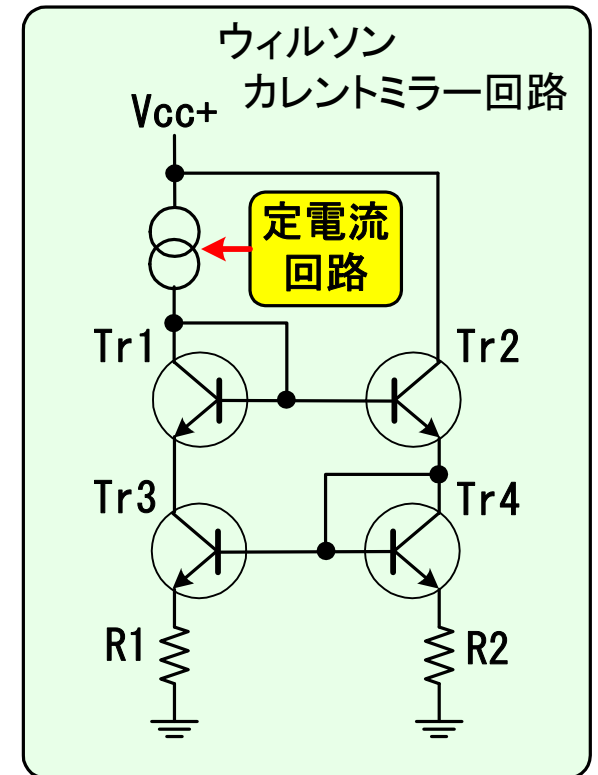
このわずかな電流値の差は、微小なバイアス電流でも影響を受けるオペアンプなどの素子において問題になってしまうことがあります。

ウィルソンカレントミラー：

このような場合は、ウィルソンカレントミラーを使用します。

ウィルソンカレントミラーは、4つのトランジスタで回路が構成されており、Tr1とTr2 Tr3とTr4のそれぞれのベース端子がショートされています。

また、上下のペアで別々の回路からベース端子にショートさせる事で、全ての同じ大きさの電流が流れるようになっています。

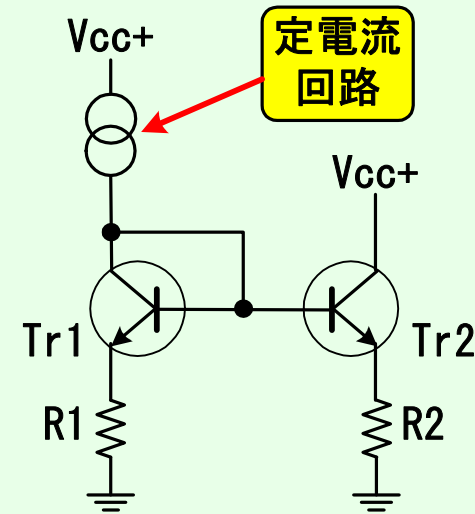


今回の カレントミラー実験回路

I-V特性が、きっちり合ったトランジスタペアは難しいので、今回は カレントミラーが、どのような動作をする回路なのかを、理解するための実験なので 精度は追及せずに、凡その 傾向が 分かればよい。という事にします。

右の実験回路は、定電流回路は、前回作成した FET を 用いた **1mA の 定電流回路** を 用います。 **Tr1、Tr2** は、差動増幅回路で使った **アルミブロックを 被った物** を使用します。 負荷抵抗？ の **R1 と R2** は、共に **1K Ω** とします。

カレントミラー実験回路

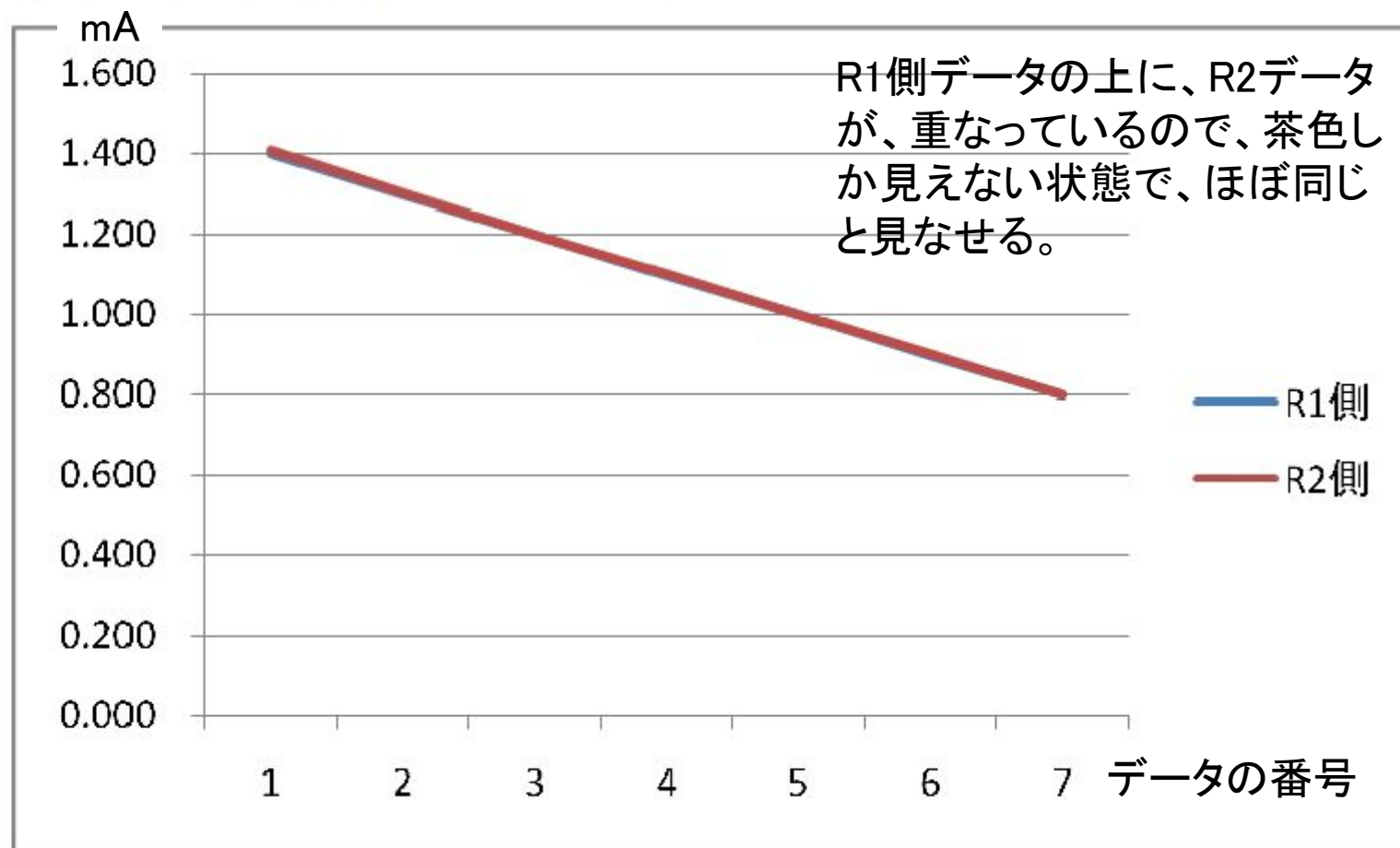


カレントミラー実験回路/計測値.1

定電流回路のボリュームを、0.8mAから 1.4mAまで 0.1mA刻みで変更して R2のコピー側の電

カレントミラー実験回路 (電源 12Vにて) 流値を測定したデータ

R1側	R2側
1.401	1.409
1.300	1.304
1.200	1.202
1.100	1.102
1.000	1.002
0.900	0.902
0.800	0.801



カレントミラー実験回路/計測値.2

カレントミラー実験回路 (電源 を動かす)

電源電圧	R1	R2
5	0.986	0.986
6	0.991	0.991
7	0.994	0.995
8	0.996	0.997
9	0.997	0.999
10	0.998	1.000
11	0.999	1.001
12	1.000	1.002
13	1.001	1.003
14	1.002	1.004
15	1.002	1.005
20	1.003	1.007
25	1.004	1.008
30	1.004	1.009

電源電圧を上げていくと R1(元の電流源)より、R2(コピーの電流源)の方が、電流の変化が、やや大きい。R1の電流も電源の上昇と共に 上がっている。

