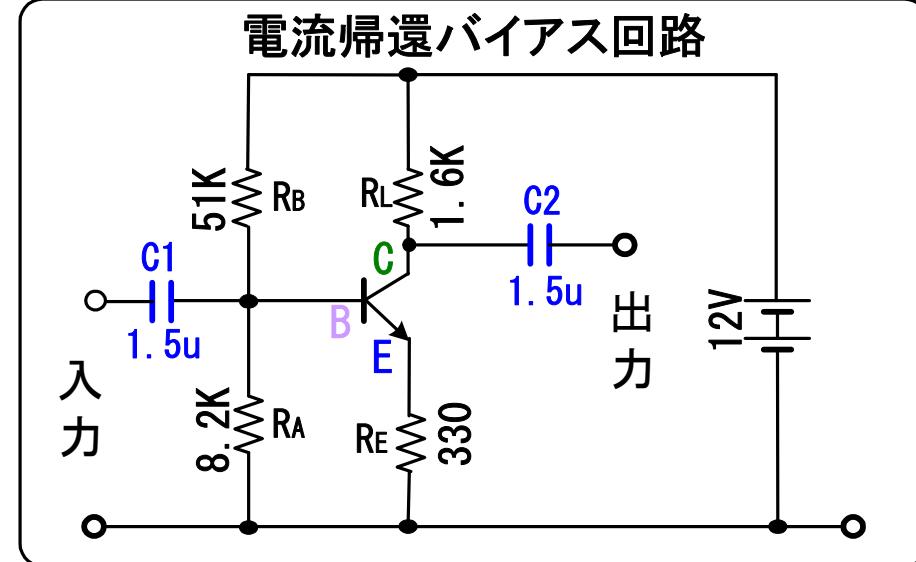


前回の電流帰還バイアス回路の追加

前回、回路図に書いて無かった物が、あります。カップリングコンデンサの C1、C2 です。交流の信号は、ベースに入れたり、コレクタから取り出したりしたいのですが、直流のバイアス電流は、外に流し出したく無いし、また外からの直流は、流し入れたりしたくないので、カップリングコンデンサを 使って交流のみ流し入れたり、流し出したりします。

で、今回は、2つ追加の 実験を行います。

- ① 三角波を使用して、レベルを どのくらい上げると 出力波形がクリップするのか確認します。
- ② 方形波を使用して、大雑把な周波数特性を確認します。



今回の実験前の準備

今回、2つのトランジスタを用いてトランジスタ回路の実験を行います。

- ① ダーリントン接続
- ② 差動増幅器
- ③ カレントミラー回路
- ④ コンプリメンタリのプッシュプル回路

で、その前に 組み合わせるトランジスタの h_{fe} を 出来るだけ揃えておく必要があります。

- ① の ダーリントン接続は、単体使用では h_{fe} を 合わせる必要は、あまりないと思います。 ② 差動増幅器、③ カレントミラー回路、④ コンプリメンタリのプッシュプル回路は、 h_{fe} を 合わせる必要があります。

という事で、前準備として 同じ型式のトランジスタ 20個ほどを デジタルテスタで h_{fe} の測定をして、 h_{fe} の一覧を作成します。

今回使用するのは、2SA1015 と 2SC1815 です。 では、測定を開始します。

トランジスタの測定結果

2SA1015	
番号	hfe
1	184
2	180
3	184
4	180
5	187
6	185
7	187
8	173
9	174
10	173
11	194
12	183
13	175
14	184
15	174
16	180
17	175
18	175
19	178
20	175

2SC1815	
番号	hfe
1	189
2	189
3	208
4	204
5	193
6	184
7	178
8	187
9	177
10	191
11	180
12	193
13	178
14	180
15	192
16	190
17	194
18	194
19	188
20	182

hfeの小さい順に
並べ替えます

2SA1015	
番号	hfe
8	173
10	173
9	174
15	174
13	175
17	175
18	175
20	175
19	178
2	180
4	180
16	180
12	183
1	184
3	184
14	184
6	185
5	187
7	187
11	194

20個ぐらいで一致する値が出てくるかなとちょっと不安でしたが、意外と同じ値の hfe が出てきて安心しました。メーカーである程度 hfe を合わせて出荷してあったのかもしれません。

2SC1815	
番号	hfe
9	177
7	178
13	178
11	180
14	180
20	182
6	184
8	187
19	188
1	189
2	189
16	190
10	191
15	192
5	193
12	193
17	194
18	194
4	204
3	208

① ダーリントン接続回路

これは、Tr1とTr2のコレクタを接続し、Tr1のエミッタをTr2のベースに接続し、この2つのトランジスタを一つのトランジスタとして扱う物です。Bの端子がベース、Cの端子がコレクタ、Eの端子がエミッタとなります。

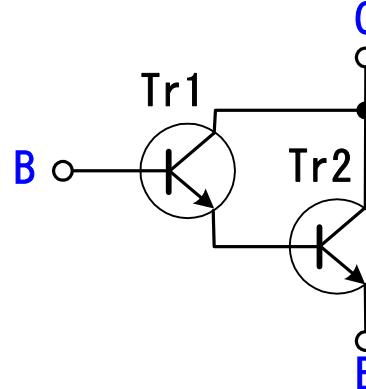
このように接続する事のメリットは、2つのトランジスタを合体したトランジスタの h_{fe} は、Tr1のトランジスタの h_{fe1} と Tr2のトランジスタ h_{fe2} の積となります。 $h_{fe} = h_{fe1} \times h_{fe2}$

仮に $h_{fe1} = 200$ 、 $h_{fe2} = 100$ であれば、合体した h_{fe} は、 200×100 で、20000になります。

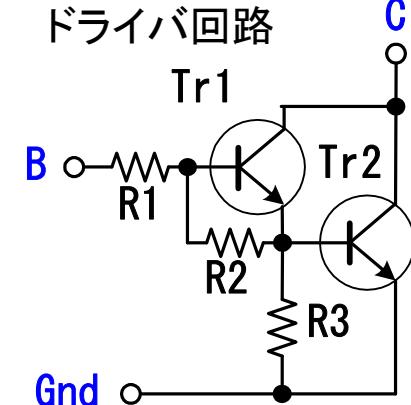
よってより僅かな電流で、大きな電流を制御できます。一般的に Tr2の方がパワートランジスタである場合が、多いです。

これは、アナログ回路でも、デジタルの OCドライバとしても使えます。

① ダーリントン接続回路

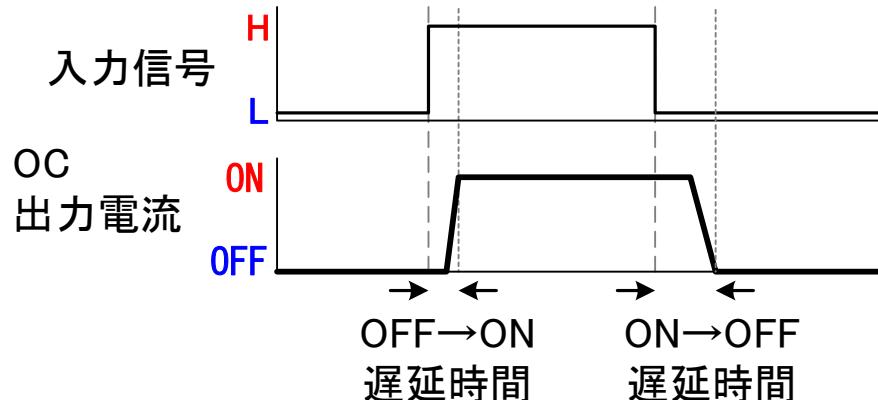


①' ダーリントン接続のOCドライバ回路



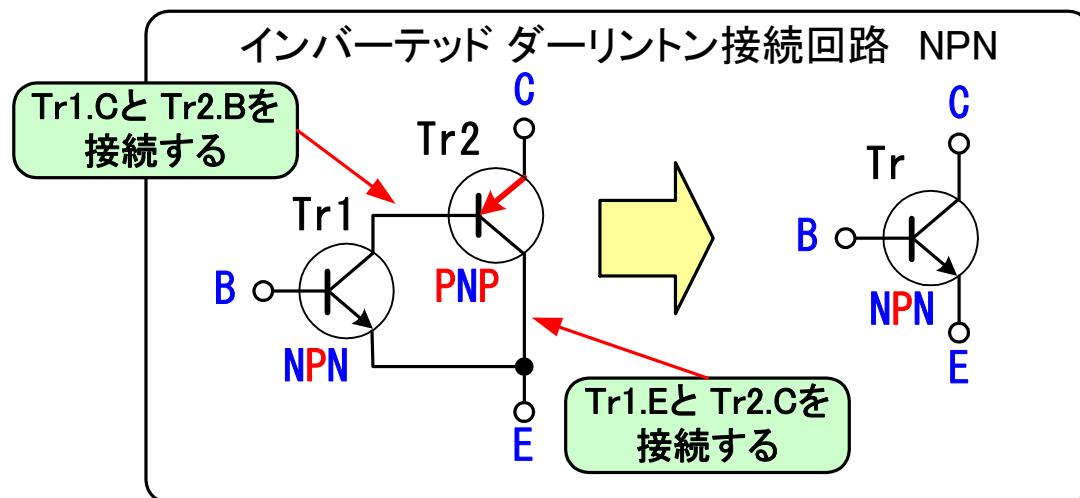
アナログの場合は、活性領域(能動領域)で使用しますが、デジタルの OCドライバでは、遮断領域か、飽和領域しか使いません。で、この場合、比較的 OFF状態から ON状態への移行は、早いのですが、ON状態から OFF状態への移行は、やや遅いです。これは、飽和領域で使うと少数キャリア蓄積効果が影響するとの事です。右側の OCドライバ回路ですが、R1はベースに流し込む電流の電流制限抵抗ですが、R2と R3は B-E間の少数キャリアを多少でも早く放出させる目的があると思います。

デジタルを扱われる方にとっては、信号の遅延は、極力あって欲しくない現象なので、気になる事でもあると思います。



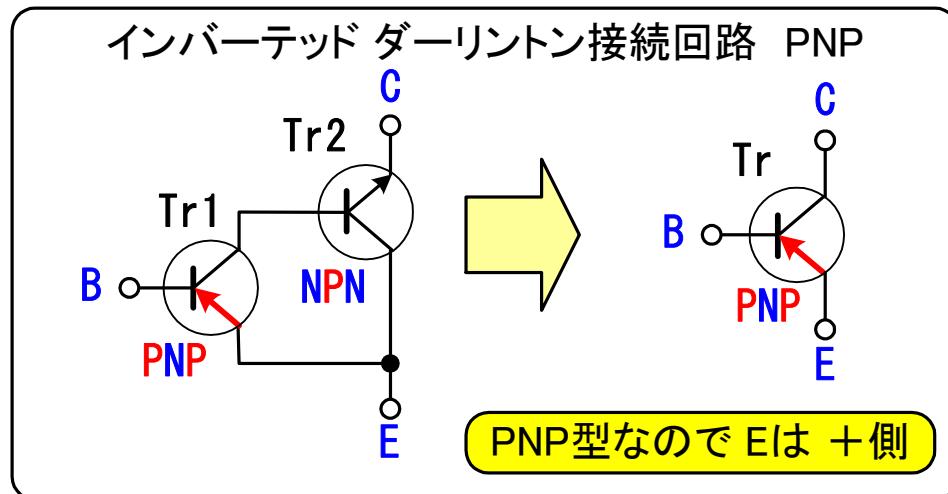
一般的に、電流を多く流す出力回路が、電流の遅延も大きいです。意外と、遅延が大きい物に普及品のフォトカプラ 二次側のフォトトランジスタがあります。ベース電流の代わりに LEDの光を当てて フォトトランジスタを ON させる関係で OFF時に蓄積キャリアを、放出する回路が無いようです。その関係で OFF時の遅延が大きいです。10KHzの方形波を、通すのが限度です。

あとダーリントン接続に インバーテッド ダーリントン回路というのが、あります。



これは、極性の異なる NPNと PNPを ダーリントン接続した物です。これにより 合成トランジスタTr は、1段目の Tr1と 同じ NPNとして振舞います。同極性のトランジスタ2個を組み合わせたダーリントントランジスタは、 V_{be} は 1.4Vになりますが、インバーテッドダーリントンの場合は 0.7Vです。

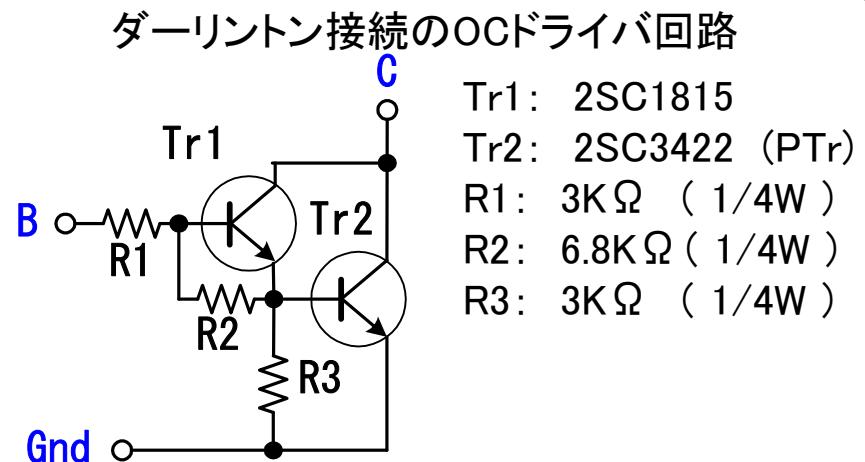
ついでに PNP トランジスタとして振舞う インバーテッド ダーリントン回路も 示しておきます。



アナログ出力回路というか、オーディオ回路の場合 PNPのパワートランジスタと、NPNのパワートランジスタを組み合わせて コンプリメンタリップッシュプル回路を 構成する事があります。

デジタル用途というかスイッチング用途では、昔は、あったかもしれません、あまり PNPのパワートランジスタは 使わないと思います。

今回の ダーリントン接続の実験回路



デジタル用途の オープンコレクタドライバとして、組み立て実験します。 信号源として、ファンクションジェネレータは、 50Ω 負荷を想定したドライバで、信号出力されているので、ドライブ能力が強すぎるので、マイコンで 信号出力する事を想定して、百円マイコンで信号出力を行います。

次の実験

ダーリントン回路は、どちらかというとパワー段に使用する回路です。

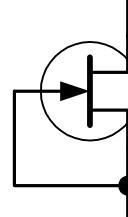
それに対し、② 差動増幅器、③ カレントミラーアンプ回路は、小信号の純粋なアナログ回路として使われます。で、次は 差動増幅器をやろうと思っていた時、アチャ一 定電流回路を忘れてた。という事に気付きました。差動増幅器は、定電流回路を使わない事もあります。でもカレントミラーでは、必ず必要です。

という事で、急遽 定電流回路の説明と実験を、今回の動画に入れる事にします。

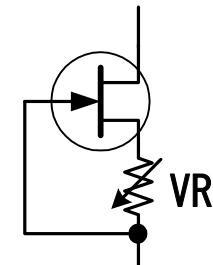
定電流回路は、いくつかの回路があるのですが、回路がシンプルな JFETを使用した定電流回路で、試してみます。たまたま 2SK30Aが 多数見つかった事もあります。

ちなみに 定電流ダイオード CRDの中身は、FETのソースと ゲートを ショートしたような物が入っています。

定電流回路 FET.1

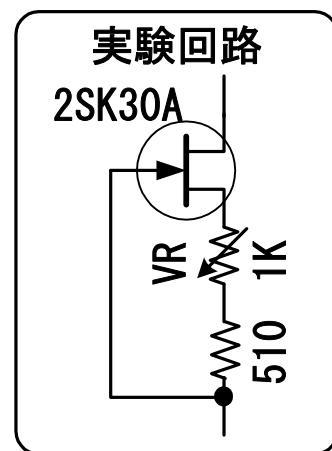


定電流回路 FET.2



FET.1の方が、CRDの中身の等価回路とみなせます。メーカーさんは、大量に作って V_{gs} - I_d 特性の選別を行っているのでしょうが、アマチュアは、そういう訳にも行かないので、FET.2の回路を使用します。 V_{gs} - I_d の特性が、かなりバラツキが、あるようなので VRで、所定の電流になるように 調整します。VRは、事前にこの程度の値を入れれば OKという事も 分からないのでカットアンドトライで、作業を行います。

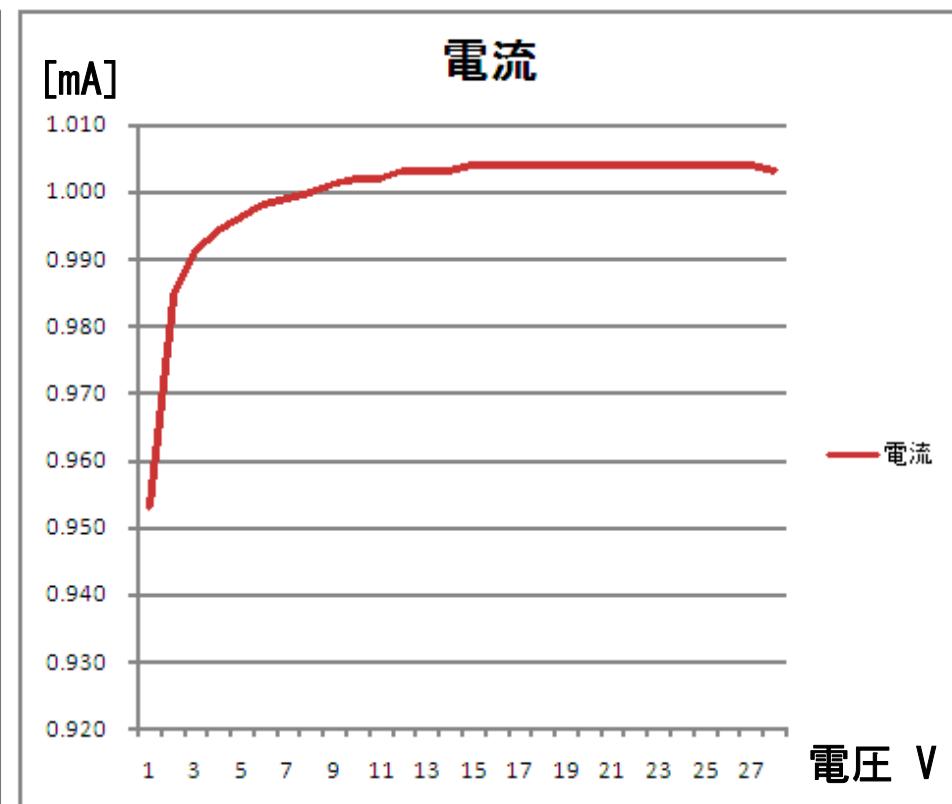
定電流実験回路の結果



左の実験回路ですが、何故 1K VRと 510Ωを直列にして接続しているかというと、1Kの抵抗を最後まで回し切って 1.1mA だったのでもう少し抵抗値を

大きくする必要があったので、510Ωを追加しました。2SK30Aを使って定電流回路を作る場合、バラツキが結構あるらしいので、S-G間抵抗は、3K~5Kぐらいの可変抵抗が、いいと思います。右は、3Vから 30Vまで、電源電圧を、1V刻みで可変して、その時のドレイン電流を計りました。

電圧	電流
3	0.953
4	0.984
5	0.991
6	0.994
7	0.996
8	0.998
9	0.999
10	1.000
11	1.001
12	1.002
13	1.002
14	1.003
15	1.003
16	1.003
17	1.004
18	1.004
19	1.004
20	1.004
21	1.004
22	1.004
23	1.004
24	1.004
25	1.004
26	1.004
27	1.004
28	1.004
29	1.004
30	1.003



グラフは、変化している部分が拡大されているので、10V以下が、だら下がりのように見えますが、電流の数値を見ると、かなり変化部分が拡大されているのが分かります。