

## 第 3(7/17) トランジスタを使った記憶回路の作成

- 3.1 トランジスタの特性と図式解法
- 3.2 トランジスタのアナログ動作
- 3.3 2段縦続接続の反転増幅回路
- 3.4 2段の反転増幅回路の組み立て
- 3.5 フリップフロップ（記憶回路）
- 3.6 まとめ

### 3. 1 トランジスタの特性と図式解法

a) NPN バイポーラトランジスタは、図 17 に示すように半導体の単結晶に NPN の領域を形成すると電圧を加えていない状態では中央の P 領域のフェルミ準位が低いので熱的に励起される自由電子は殆ど存在しません。

b) C と E の間にだけ電圧を加えると、B と C の PN 接合領域がダイオードの逆方向になって電圧を増加しても空乏層が広がるだけで電流は増加しません。

c) B 領域に正の電圧を加えると B-E 間の PN 接合から B 領域に自由電子が流れ込み、B 領域のフェルミ準位が高くなり、B-C 間の空乏層領域の自由電子が増加してコレクタ電流が流れます。

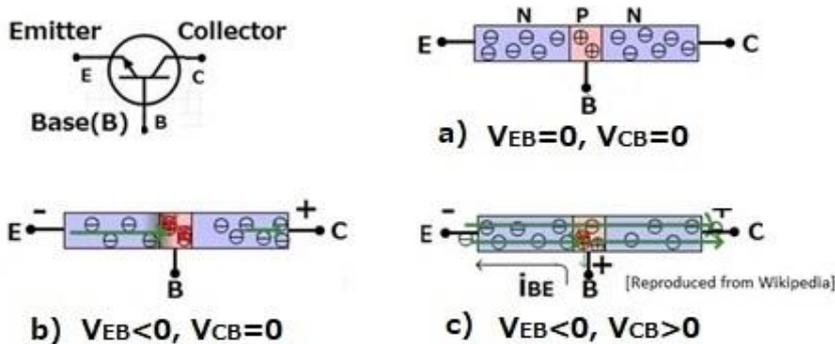


図17 NPNトランジスタの原理

### [NPNトランジスタのエミッタ接地増幅回路]

図18 にNPNトランジスタの増幅器の実験回路を示します。

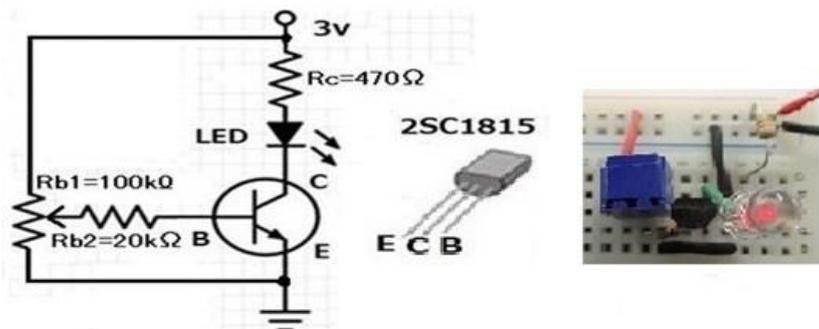


図18 NPNトランジスタの増幅器の実験回路

### [トランジスタの入出力特性]

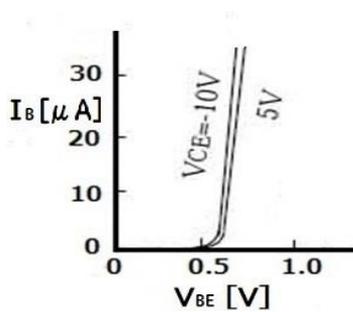


図19 NPN トランジスタの入力特性

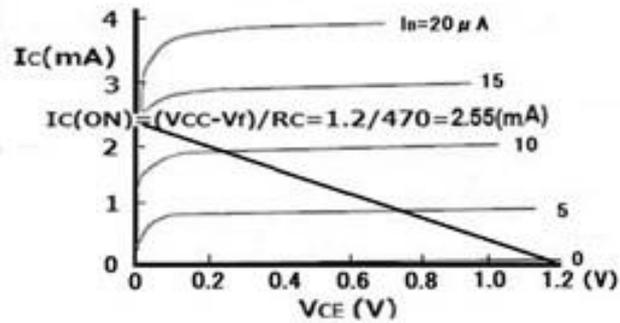


図20 NPN トランジスタの出力特性

図19に示すように出力側の  $V_{CE}$  電圧が変化しても入力側の  $V_{BE}$  電圧は僅かしか変化しないので、入力側に影響が及びません。

図20にコレクタ側の特性を  $I_C$ - $V_{CE}$  特性で示します。前節2.1で述べたように、バイポーラトランジスタではコレクタ電流 ( $I_C$ ) がベース電流 ( $I_B$ ) により制御されます。そこで、電流増幅率 ( $h_{FE} = I_C / I_B$ ) の値を使って設計します。典型的な  $h_{FE}$  の値は200程度でバラツキがあります。

トランジスタの図式解法は1.3節で述べたダイオードの同様です。 $I_C$ - $V_{CE}$  特性と電源側の  $I_C$ - $V_{CE}$  特性 (負荷線) を重ね書きします。両方の  $I_C$ - $V_{CE}$  特性を同時に満足する交点が動作点です[1]。  $I_B$  が増加すると  $I_C$  が増加します。その変化で負荷抵抗の端子電圧が増加して  $V_{CE}$  が減少します。そこで、反転増幅器となります。増幅器では負荷線の中央に動作点を定めます。図20は  $h_{FE} = 200$  で、ベース電流は  $I_B = 0.006 \text{ mA}$  となります。

### 3.2 トランジスタのアナログ動作

3.2節で説明したトランジスタ増幅器 (図18) において、半固定抵抗を変化させ入力電圧を変化した場合のLEDの発光の変化を図21に示します。

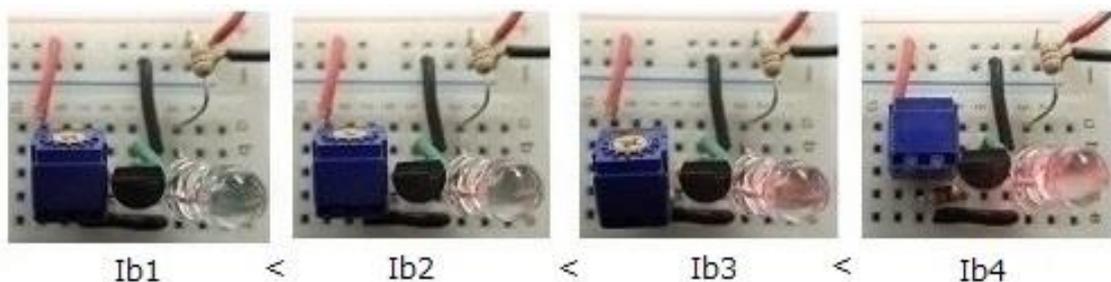


図21 トランジスタのアナログ動作

線形増幅器では動作点を負荷線の中央において、その点をベース電流に変化として入力信号を加えて変化させます。その動作点が負荷線の範囲内で変化しておれば、入力と出力が比例するので、「線形電子回路」あるいは「アナログ (相似) 回路」といいます。線形電子回路は複数のコパッシブ要素とアクティブ要素を組み合わせて実現し、その回路の入力と出力の特性は相似しています。アナログ回路には条件分岐するような状態を遷移する機能はありません。

他方、トランジスタの動作点を負荷線の両端の[0]と[1]を停留する動作でデジタル回路を

構成できます。デジタル回路では動作点が変わるので、動作を切り替えることができます。知能の回路は経験によって付け加えられる建て増し方式の回路で実現します。

### 3.3 2段縦続接続の反転増幅回路

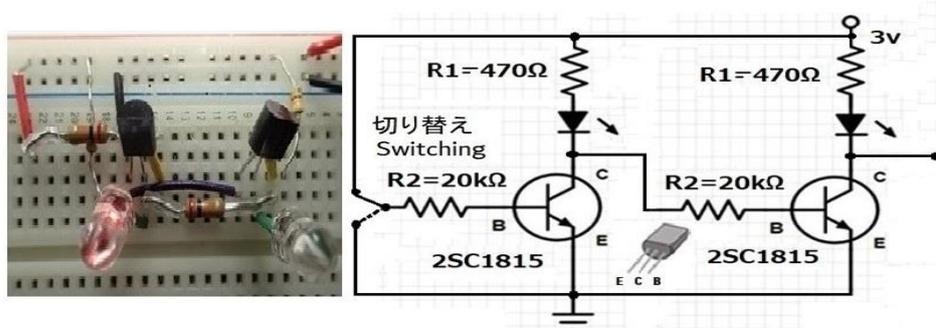


図22 2段のトランジスタ反転増幅器の実験回路

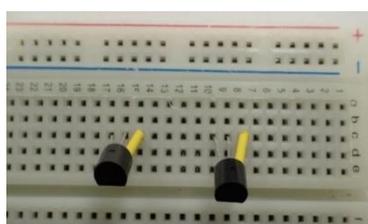
図22に図14の反転増幅器を2段に接続して反転の動作を確認する実験の回路を示します。図22の左側は回路図で、右側の写真は実際の回路の写真です。回路図によって回路を製作したことがない読者は次の2.5節を参考に作製して下さい。

この回路の入力端子を高い電圧レベル[5V]にした状態から低い電圧[0V]にすると各ステージの状態が反転することを確認できます。反転増幅器をデジタル回路で用いる時は NOT 回路といいます。

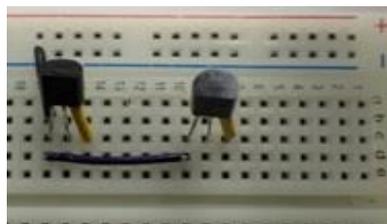
なお、図22の実験回路では、トランジスタがスイッチ ON として働く状態を維持するために余分に電流を供給するようにベース抵抗の値は  $2=20k\Omega$  に設定しています。なお、トランジスタのコレクタ抵抗と LED を通過して次の段のベース電流が流れます。そこで、OFF] 状態のトランジスタのコレクタに接続した LED が少し発光します。

### 3.4 2段の反転増幅回路の組み立て方法

下記の順番で下記の位置に注意深く配線して下さい。



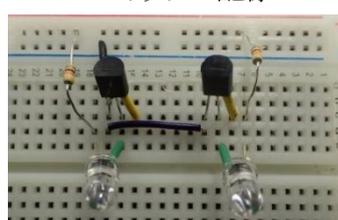
No.1 トランジスタの配線



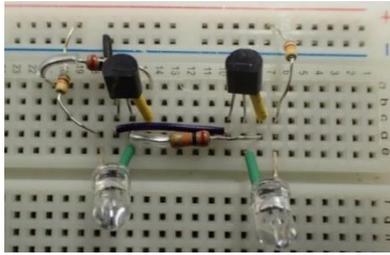
No.2 エミッタの配線



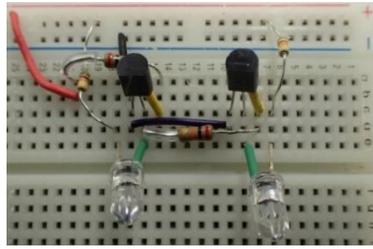
No.3 LED の配線



No.4 コレクタ抵抗



No.5 ベース抵抗



No.6 入力の配線

図23. 2段の反転増幅回路の組み立て方法

### 3.5 フリップフロップ (記憶回路)

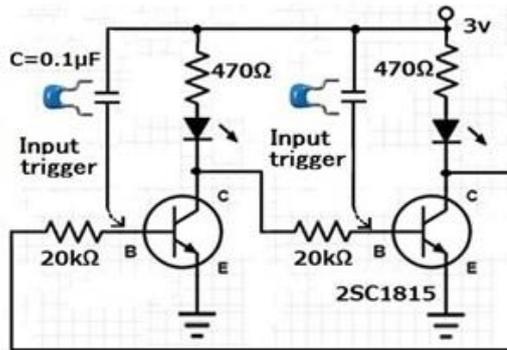
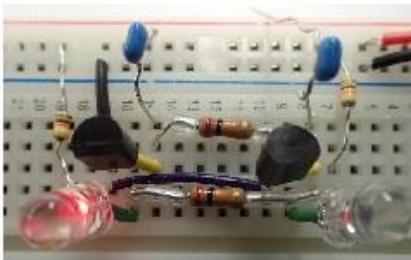


図 24(a) フリップフロップ回路

フリップフロップの回路を図 24 に示します。フリップフロップ回路は双安定マルチバイブレータと言います。この回路の前段のトランジスタのベースに電流を流してトランジスタを[ON]状態にすると出力は低レベル状態となります。その出力を入力とする後段のトランジスタは[OFF]状態になり、その出力電圧が高レベルの状態[1]になります。高レベルの出力を前段に入力するので、正帰還ループを構成して ON 状態のトランジスタは ON、OFF 状態のトランジスタは OFF の状態を保ちます。

図 19 に状態の変化を引き起こす信号であるトリガー (引き金) の入力を矢印で示しています。トリガーを入力すると正帰還増幅作用により状態が変転します。この正帰還増幅作用があるために、別のフリップフロップ回路に直接接続すると状態変化を起こす状態において巡回するデータが別のフリップフロップ回路にも伝達してしまいます。そこで、フリップフロップ回路に入力するタイミングと出力するタイミングを別にして使います。

フリップフロップ回路はレジスタ (置数器) として出力のデータを保持するので、データの処理ができます。コンピュータをレジスタマシンと呼ぶことがあり、レジスタはコンピュータで重要な役割を担います。

### 3.5 フリップフロップ（2進数動作の実験回路）

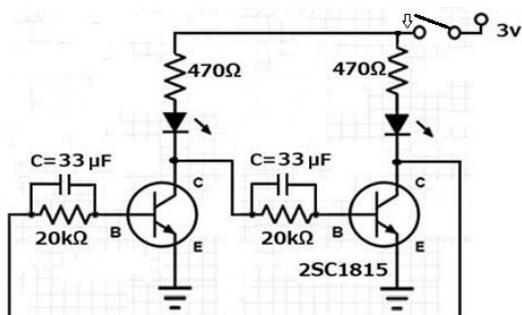


図 24(b) フリップフロップ回路による計数動作の実験回路

図 24(a)のベース抵抗に並列にコンデンサを接続すると、入力の変化を直ちに伝えて動作が確実になります。図 24(b)の回路は、両方の入力にトリガーを入力すると定常状態で充電された電荷により状態が反転します。そこで、スピードアップコンデンサと言います。この回路は電源をオフにして、すぐにオンすると状態が反転します。

フリップフロップ回路の2進数動作を実験してみてください。また、一つのパルスが入力すると態が反転し、2個のパルスで元に戻ります。この回路をスイッチに使うと、一つのボタンを押すだけで状態が反転するスイッチになります。コンピュータでは指で押した瞬間ではなく、指を離した瞬間に動作します。デジタルのICではプラスになった時に動作する回路をポジティブゴーイングと言い、マイナスになった時に動作する回路をネガティブゴーイングと言います。

### 3.6 まとめ

- A) トランジスタのエミッタ接地増幅器ではベースの電流が変化すると、コレクタ電流が200倍程度変化します。コレクタ電流を変化してもベース電流は変化しません。
- B) トランジスタの反転増幅器では動作点を中心に变化して、入力に反転して比例する出力を取り出します。入力と出力が比例して変化するのをアナログ的な変化と言います。
- C) トランジスタを不連続的に導通状態と遮断状態を変化させる時にデジタル的な変化と言います。
- D) トランジスタの2段のデジタル反転増幅器の出力を入力に戻すフリップフロップでは「オン」または「オフ」の状態を保持できます。
- E) フリップフロップの出力を配線につなげると配線にデータを保持できるので、デジタルデータを照合できます。
- F) 第2回で学習した、解読器によって配線に載せられたデジタル情報が処理できます。

#### [課題]

トランジスタでは、なぜ、一方向にしか信号がつかないのでしょうか。制御のしくみを説明してください。