

1. トランジスタを使う上での基礎知識

トランジスタとはどのようなものか、そしてどのように使うのか、それを簡単に説明してみました。トランジスタをちゃんと理解するには、半導体工学から学習をはじめることになるのですが、その調子で学習を進めていくと、トランジスタの内部構造を理解するだけでへとへとになってしまい、実際にトランジスタを使う上で必要な知識を付ける前に挫折してしまう可能性があります。ここでは、トランジスタの内部構造についての説明はせず、とにかく、どのように使うのかという使うことを前面に押し出しました。使えるようになってくれば、必然的にトランジスタの内部構造とか、こと細かな特性の意味を理解する必要が出てきますから、そのときに詳しいことは学べばいいと考えたからです。

1-1 トランジスタの種類

トランジスタといえば、バイポーラトランジスタや電界効果トランジスタなど種類がありますが、ここでいうトランジスタは、図1-1の図記号であらわされるトランジスタに限定することにします。この図1-1のトランジスタは、バイポーラトランジスタと呼ばれます。技術者どうしの会話などにおいて、トランジスタとだけいえば、バイポーラトランジスタを指します。そして、電界効果トランジスタというトランジスタは、FET(エフ・イー・ティー)という名称が使われます。

バイポーラトランジスタには、NPN型とPNP型がありますが、NPN型のほうがおおく用いられておりますので、これからはNPN型の説明をメインに行います。現段階では、なんだかかわからんが、この文献はNPN型のバイポーラトランジスタなるものについて説明しようとしているんだな、ということだけわかっていただければよろしいかと思います。

1-2 トランジスタで何をする

トランジスタを使うと、増幅回路や電子スイッチなどを実現することが出来ます。どうして、どうやってそれらが実現できるのかを理解するには、トランジスタがどんなもので、どんな動作をする電子部品なのかを理解しなければなりません。とりあえず、その話に入る前に、トランジスタの外観がどんなものかを紹介しておきます。実際にこれから学ぶ「ぶつ(物)」がどんなやつなのかを見ておいたほうが、精神的に楽かと思ひまして。

1-3 トランジスタの外観

図1-2に、トランジスタの外観を示します。だいたいこんな形をしております。とはいえ、とにかくさまざまな形状がありますから、「トランジスタとは、このような形のものだ」という正確な定義をすること出来ません。2~4本の足が出ている部品はトランジスタである可能性があるという程度でしようか。トランジスタには、型名が刻印されておりますので、そこから判断したほうが確実です。ということで、型名についての説明もしておきます。

1-4 トランジスタの型名

日本のトランジスタは、JISのトランジスタ型名付与法に基づいて決められております。このおかげで、トランジスタの型名から、トランジスタの種類(ここでいう種類とは、バイポーラトランジスタというグループ内における種類をいいます)を知ることが出来ます。以下に、トランジスタの型名例を示します。

$\overline{2S\bar{C}}\overline{1234}\overline{A}\overline{-Y}$



NPN型トランジスタ



PNP型トランジスタ

図1-1 回路図でみられるこの記号が、トランジスタです



右の洗濯バサミは大きさ比較用です

図1-2 トランジスタ外観いろいろ

・2S

有効電極数が3の半導体素子をあらわしております。これから説明するトランジスタは、このトランジスタです。

・C

バイポーラトランジスタの場合、ここにはA,B,C,Dのいずれかの英字が入り、それぞれ下記の意味を表しております。

- A PNP型 高周波用
- B PNP型 低周波用
- C NPN型 高周波用
- D NPN型 低周波用

実際の特性において、低周波・高周波の明確な区切りはありません。2SCの型名が与えられているのに、あまり高い周波数まで使えないものも合ったり、2SDという型名なのに、妙に高い周波数まで使えるものがあったりします。

・1234

登録順につけられる番号です。

・A

改良品種を示します。2SC1234 を改良したものが2SC1234A、さらに改良したものは2SC1234Bというようになります。アッパーコンパチですから、2SC1234のかわりに2SC1234Aを使うことが出来ます(逆はだめ)。

・-Y

hFEのランクです。いきなりhFEといわれてもワケわからないと思いますので、この部分はざっと読んで、あとで見直してみてください。

トランジスタは、同じ型番であってもhFEにおおきなばらつきがあります。トランジスタを使うとき、ばらつきがあっては困るという人のために、hFEの範囲を区切って、hFEがこの範囲にあるものY、この範囲に入っているものをGなどというようにランク付けします。回路設計をするとき、hFEがばらついて大丈夫なように設計をした場合は、部品を購入するとき特にランクを指定しません(ランク無し品を使う)。

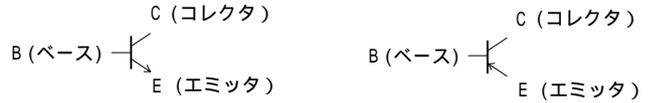


図1-3 トランジスタの図記号と端子名称

1-2 トランジスタの動作

トランジスタの図記号は図1-3のように、コレクタ・エミッタ・ベースという3つの電極を持ち、エミッタと呼ばれる電極は矢印であらわされています。この矢印は電流の流れる方向を表しています。いま、各電極に図1-4のように電源をつけてみましょう。すると、それぞれベース電流 I_B 、コレクタ電流 I_C 、エミッタ電流 I_E という電流がそれぞれ流れます。 I_B はベースに入ってエミッタに抜けます。 I_C はコレクタから入ってエミッタに抜けます。 I_E は I_C と I_B の和です。

ここでトランジスタについて押さえておく重要なポイントが2つありますので、ひとつひとつ説明していくことにしましょう。

1) V_{BE} は I_B さえ流れていれば一定である

図1-5を見てください。トランジスタのベース・エミッタ間に電圧を加えてベースに電流を流し込んでいる図です。このようにベース・エミッタ間に電圧をかけてあげればベースに電流が流れ込んでくれます。ここでベースに電流を流してあげた状態で V_{BE} を測定すると、 I_B の大きさに関係無く V_{BE} はほぼ一定値となります。実際に何Vになるかは、トランジスタが作られる材料の種類によって異なるのですが、いま一番主流のシリコンで作られたトランジスタの場合、およそ $V_{BE}=0.7V$ となります。図1-6に I_B に対する V_{BE} の特性を示します。ほかにゲルマニウムやガリウム砒素といった材料で作成されているトランジスタもありますが、現在使用する多くのトランジスタはたいがいシリコンのトランジスタですから、これからは $V_{BE}=0.7V$ で話を進めていくことにします。さて、図1-5において $V_B=5V, R_B=10k$ の場合、 I_B は幾らになるでしょうか。 V_{BE} は $0.7V$ 一定ですから、

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B} = \frac{5V - 0.7V}{10k\Omega} = 0.43mA$$

となります。次に図1-6のように抵抗 R_E が入った場合を計算してみましょう。このように R_E が入っても電流 I_B が流れれば $V_{BE}=0.7V$ ですから

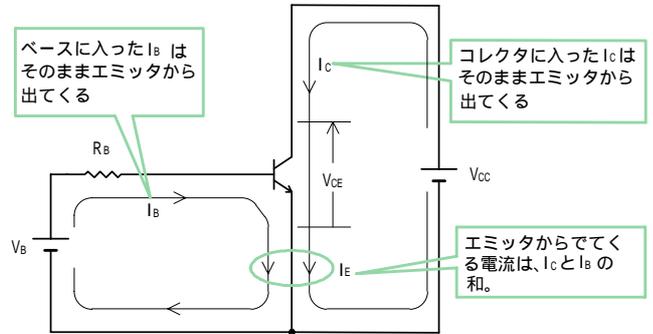


図1-4 NPNトランジスタに流れる電流

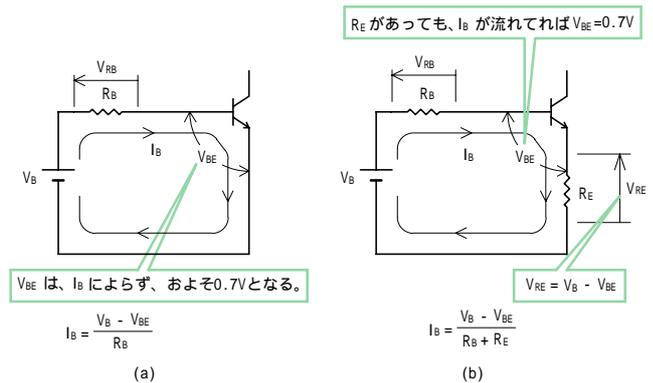


図1-5 ベースに電流を流す

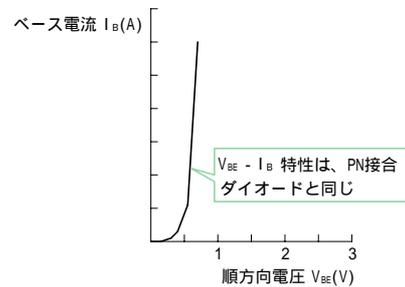


図1-6 $V_{BE} - I_B$ 特性

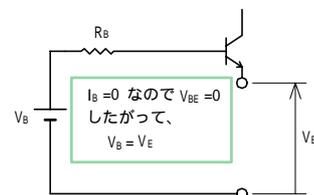


図1-7 ベース電流が無い場合

$$I_B = \frac{V_B - V_{BE}}{R_B + R_E} = \frac{5V - 0.7V}{10k\Omega + 100} = 0.426mA$$

と計算できます。次に R_E が無い場合を見してみます。 $I_B=0$ の場合は $V_{BE}=0V$ となります。したがって、エミッタの電位は

$$V_E = V_B - V_{BE} = V_B - 0 = V_B$$

となります。

2) I_C は I_B によって決まる

今、図1-4のように、各電極に電源をつないでトランジスタに電流を流したとします。トランジスタは、ベース電流 I_B を流した場合、コレクタ-エミッタ間に電圧がかかっている場合、その電圧に関係無く I_C は $I_B \times h_{FE}$ という値の電流が流れるという特徴があります。つまり、 I_B によって I_C の電流をコントロールできるというわけです。ちなみに、 I_C は I_B の h_{FE} 倍流れるということで、 h_{FE} をそのトランジスタの直流電流増幅率と呼び、

$$h_{FE} = \frac{I_C}{I_B}$$

であらわされます。 h_{FE} はトランジスタ固有のもので、 h_{FE} が10のトランジスタもあれば、 h_{FE} が1000のトランジスタもあり、トランジスタによって h_{FE} の値は異なります。図1-4では $h_{FE}=100$ のトランジスタを用いています。では、この $h_{FE}=100$ のトランジスタを用い、 I_C は I_B によって決まるということについて、もう少し詳しく見てみましょう。

図1-9を見てください。トランジスタのコレクタ、そしてエミッタに抵抗を入れてみました。このように抵抗を入れても I_C は I_B によって決まり、 I_B に1mA流せば、 I_C は100mA流れてくれるのです。ただ、 I_C は電源 V_{CC} の電圧によって流れますから、どんなにがんばっても

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

以上の電流は流れてくれません。見方を変えれば

$$V_{CC} > V_{RC} + V_{RE}$$

が成り立っているときだけ I_C は I_B の h_{FE} 倍の電流が流れるということです。なお、抵抗が入っても V_{BE} はベース電流 I_B が流れている限り0.7Vになっています。

では、さらに一步進めてみましょう。図1-10を見てください。図1-5の回路から V_B を無くし、 I_B は V_{CC} から流すようにしてみました。このときコレクタ電流 I_C は次のように計算で求めることができます。

I_B は、 V_{RB} さえ求められれば、

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B}$$

で求めることができます。ここで、

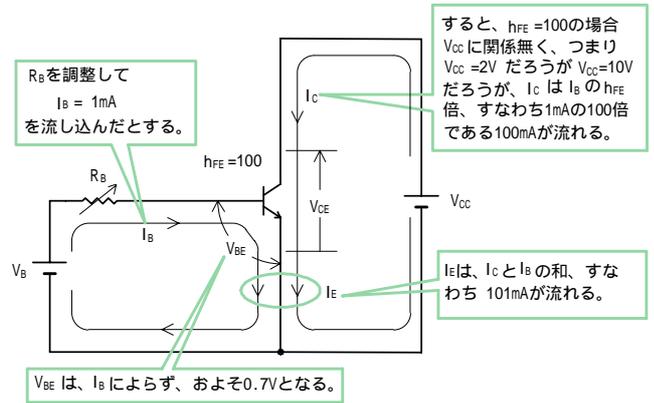


図1-8 NPNトランジスタの動作

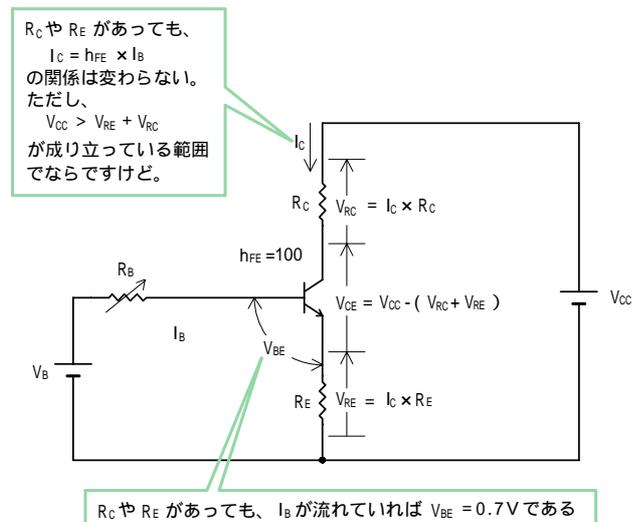


図1-9 抵抗が入っても $I_C = h_{FE} \times I_B$ の関係は保たれる

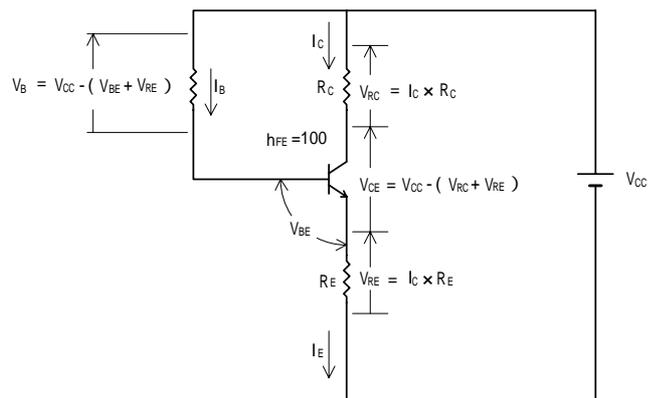


図1-10 V_B をなくした回路

$$V_{RB} = V_{CC} - (V_{BE} + V_{RE})$$

$$V_{RE} = I_E R_E \approx I_C R_E$$

ですから、

$$I_B = \frac{V_{RB}}{R_B} = \frac{V_{CC} - (V_{BE} + I_C R_E)}{R_B}$$

と I_B を求めることができました。 I_B が求められれば、 I_C は I_B を h_{FE} 倍すれば求められますし、 I_B と I_C を足して I_E を求めることもできます。ここまでの計算がわかると、トランジスタに流す、もしくは流れている電流を計算できるようになり、トランジスタを用いた設計に必要な計算力を身につけることが出来たこととなります。