

6. トランジスタの特性 I ～静特性～

1. 目的

トランジスタのエミッタ接地における静特性を測定し、その動作機構を理解する。

2. 理論

2-1. トランジスタの構造と図記号

トランジスタの内部構造は、図6.1に示すように、コレクタ層、ベース層、エミッタ層の三層から成っており、2つの接合部を有している。このような構成のトランジスタをバイポーラトランジスタという(他に、ユニポーラトランジスタがある)。各々の層はp(positive)形とn(negative)形の不純物半導体で構成されている。そのため、図6.1(a)npn形と図6.1(b)のpnp形の2種類のトランジスタがある。これらトランジスタは金属ケースや樹脂によって保護され、それぞれの層からリード線が引き出されている。これらがトランジスタの電極でコレクタ(collector)C、ベース(base)B、エミッタ(emitter)Eと呼ばれる。回路図内で用いられるトランジスタの図記号(シンボル)を図6.1のように表わされる。

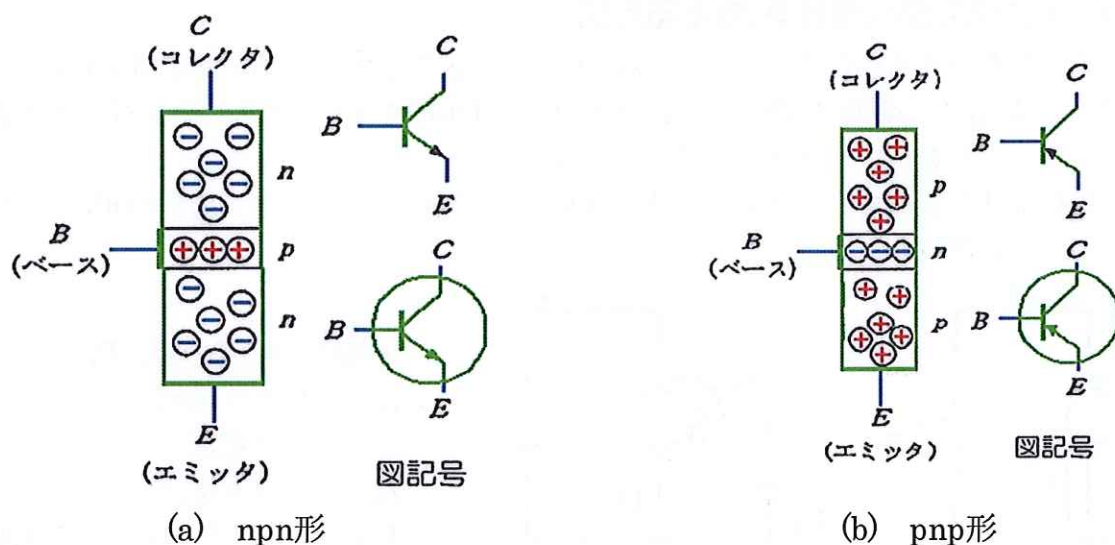


図6.1 トランジスタの構造と図記号

2-2. トランジスタの働き

トランジスタには次の2つの働きがある。

- ① **スイッチング作用**：ベースとエミッタ間はpn接合を形成しており、この部分はダイオードとしての働きをしている。よって、ダイオードと同じようにスイッチング素子として用いられる。
- ② **増幅作用**：トランジスタは二つの接合部をもっており、一つの接合部をもつダイオードより複雑な働きをする。その一つに増幅作用があり、適切にバイアスがかかることによって、ベースに流れ込む電流の何十倍、何百倍という電流をコレクタに流すことができる。

2-3. トランジスタの命名法

図6.2は、トランジスタと半導体素子の命名法を示した図である。命名法は日本工業規格(JIS規格)で定められている。

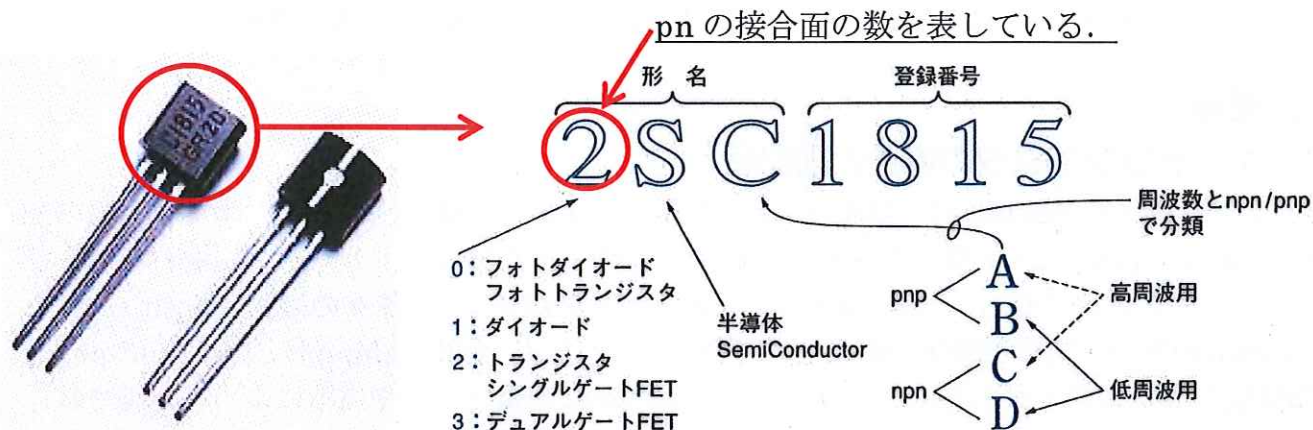
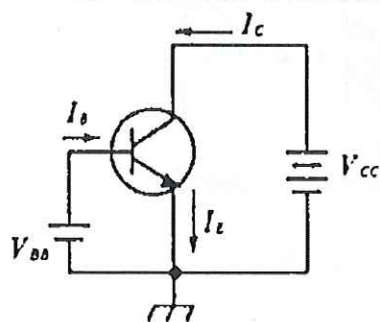


図6.2 トランジスタ(例:2SC1815)と命名法

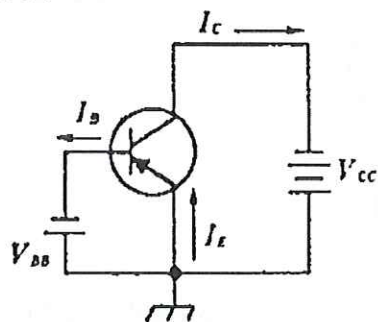
2-4. トランジスタへ電圧を加える方法

トランジスタを働かせるには次のルールがあり、これを守らなければうまく動作しない。

- 1: 図6.3のように各々の電極の間に直流電圧を加える(印加すること)でトランジスタを動作状態にする。これを、「バイアスをかける」という。
- 2: バイアスをかけた状態で、トランジスタの増幅やスイッチングなどの作用を利用する信号電圧または信号電流を加える。



(a) npn形



(b) pnp形

～電圧・電流の呼び方～

I_C : コレクタ電流

I_B : ベース電流

I_E : エミッタ電流

V_{CE} : コレクタ・エミッタ間電圧

V_{BE} : ベース・エミッタ間電圧

図6.3 トランジスタへ電圧をかける方法

2-5. トランジスタの接地方法

トランジスタを用いる際は、一般に図6.4に示したように「入力ポート」と「出力ポート」をもつ2ポートの回路内にトランジスタを組み込む。しかし、トランジスタには3端子しかなく、1つの端子を共通に用いなければならない。また、この共通部分は接地されることが多い。したがって、トランジスタの接続法には図6.5に示した3種類がある。図6.5(a)をエミッタ接地、(b)をベース接地、(c)をコレクタ接地という。それぞれに特徴があるが、本実験では、この中で増幅回路によく用いられるエミッタ接地での検討を行う。

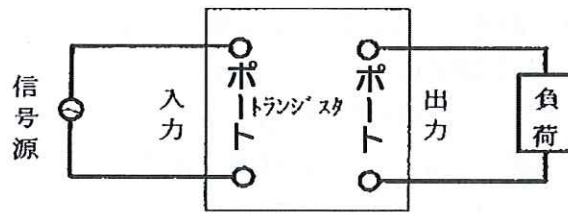


図6.4 2ポート回路内へのトランジスタの組み込み

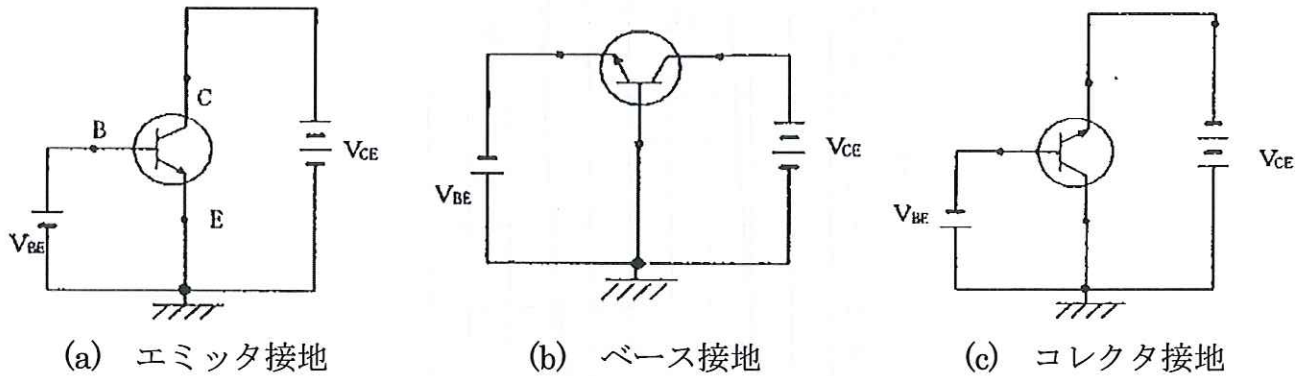
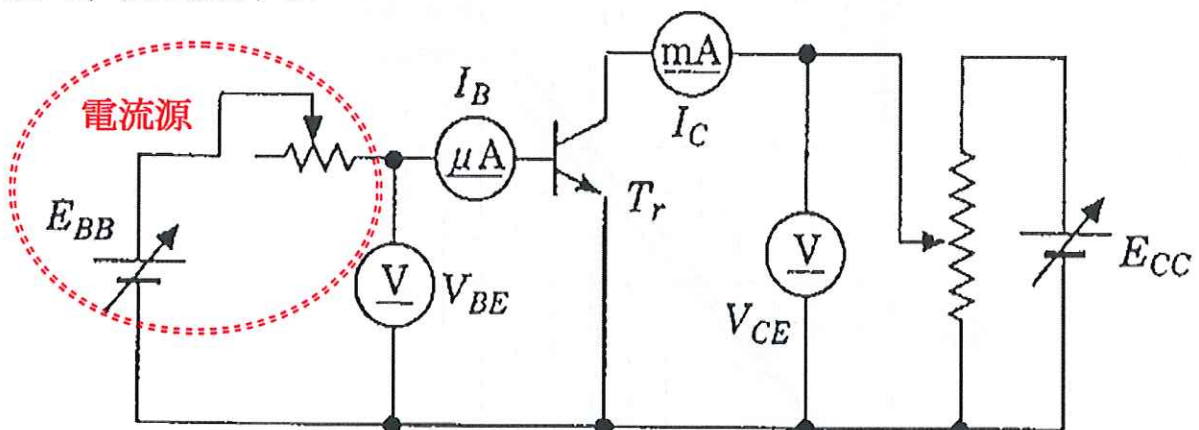


図6.5 トランジスタの接地

3. トランジスタの静特性

トランジスタの静特性とは、トランジスタ単体に所定の電圧を加えた時のトランジスタが示す電気的性質をいう。トランジスタの端子間に電圧を加えたときに流れる電流は、必ずしも電圧に比例しない。すなわち、トランジスタは非線形な素子である。よって、トランジスタを活用するには、この静特性を用いて回路の設計を行うことになる。

接地方式によって静特性は異なるが、ここではエミッタ接地の場合について検討する。エミッタ接地の3つの主要な静特性について、図6.6に示したトランジスタの静特性測定回路を参照しながら、次に説明する。



I_B : ベース電流(入力) V_{BE} : ベース・エミッタ間電圧(入力)
 I_C : コレクタ電流(出力) V_{CE} : コレクタ・エミッタ間電圧(出力) T_r : トランジスタ

図6.6 トランジスタの静特性測定回路

3-1. $V_{BE} - I_B$ (入力特性)

6. トランジスタの特性 I ～静特性～

図6.7は、コレクタ・エミッタ間電圧(V_{CE})を一定に保った場合の、入力側電圧(V_{BE})に対する入力側電流(I_B)の関係である。入力端子はベースとエミッタであるから、pn接合になる。つまり、ダイオード特性と同様となることが推測される。シリコン・トランジスタとゲルマニウム・トランジスタでは立ち上がりに違いがあることに注意されたい。

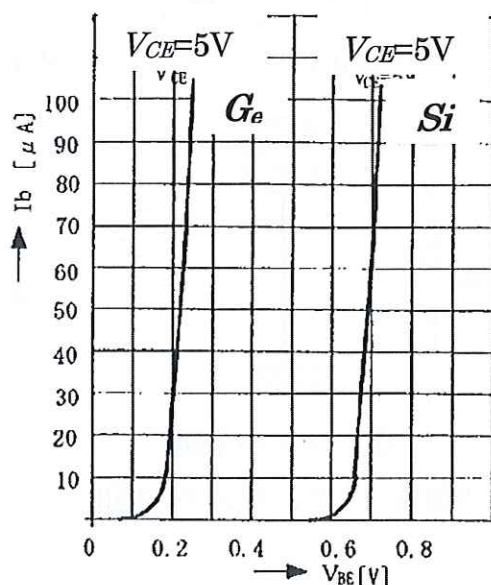


図6.7 $V_{BE} - I_B$ 特性(入力特性)

3-2. $I_B - I_C$ (電流伝達特性)

図6.8は、 V_{CE} を一定に保った時の、 I_B に対する出力電流(I_C)の関係である。ここで、 I_C は I_B に比例する。この比例定数(直線の傾き)のことをエミッタ接地における電流増幅率(h_{FE})という。

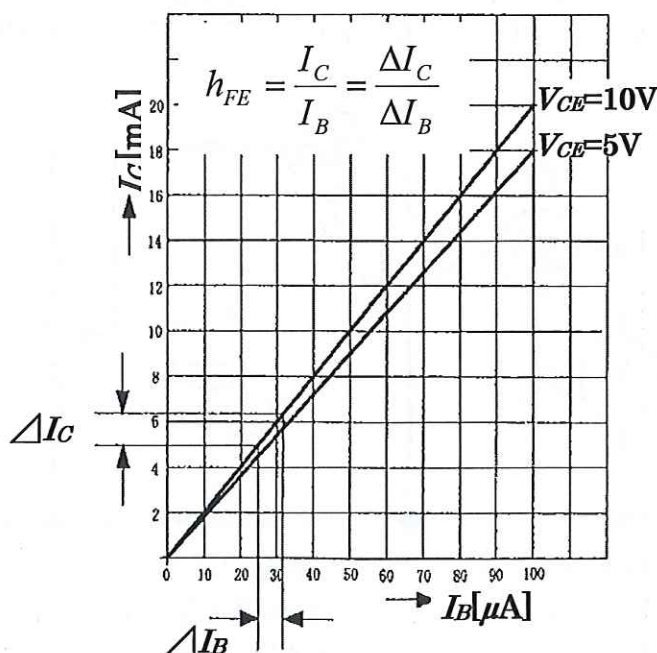


図6.8 $I_B - I_C$ 特性(電流伝達特性)の例

3-3. $V_{CE} - I_C$ (出力特性)

I_B を一定に保った時の、 V_{CE} に対する I_C の関係を見たもの。

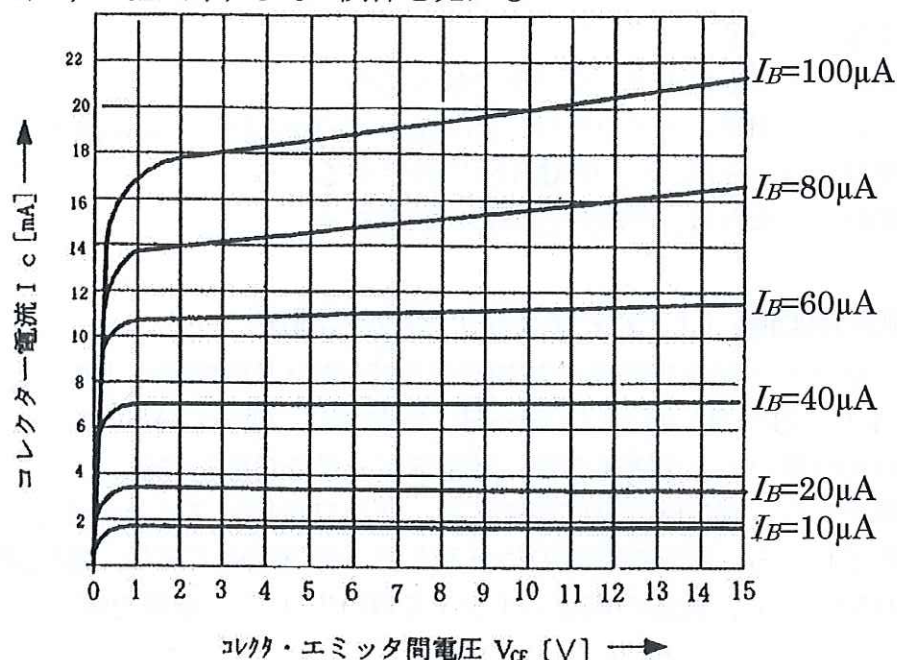


図6.9 $V_{CE} - I_C$ 特性(出力特性)の例

4. 測定

4-1. 測定項目

これまで述べてきたトランジスタの以下(ア)～(ウ)における静特性の測定を行う。

- (ア) $V_{BE} - I_B$ 特性(入力特性)(表6-1により、(イ)と併せて測定する。* V_{CE} は5Vと10Vの2通り)
- (イ) $I_B - I_C$ 特性(電流伝達特性)(表6-1により、(ア)と併せて測定する。)
- (ウ) $V_{CE} - I_C$ 特性(出力特性)

4-2. 使用機器

- [1] 半導体実習装置：ITF-05 (図6.10を参照のこと)
- [2] 直流電圧計 DC 10V max 2台
- [3] 直流電流計 DC 30 mA max 1台
- [4] DC 100 μA max 1台
- [5] npn トランジスタ 2SC1815Y, 2SC2120Y のいずれか、余裕があれば両方とも測定

4-3. 測定用回路の組立てと初期設定

図6.10に示した「半導体実習装置 ITF-05」(以下、実習装置)に次の(1)～(10)に従って、被測定トランジスタ、電圧計および電流計を接続し、測定用回路を組立てる。(以下、端子**とは、実習装置に配置されている端子を表わしている。)

- (1) 実習装置の電源をOFFにする。
- (2) 電源コードを実習装置に接続する。
- (3) 図6.10を参照し、実習装置に測定回路を組立てる。

⑨ 図6.10の E_{cc} は、実習装置の電圧源を使い、図6.10の $[E_{BB} + \text{可変抵抗}]$ は、実習装置の電流源を用いる。

- (4) 実習装置のパネル上にトランジスタを組み込む。
- (5) 電流源のレンジ切替えスイッチは、 $0.01\text{mA} \sim 0.1\text{mA}$ のレンジに設定する。
- (6) 電流調整器のつまみは、左一杯(MIN)に設定する。
- (7) 電圧調整器のつまみは、中央付近(0V)に設定する。

4-4. 測定用回路 (トランジスタ) 特性の測定

実習装置に組立てた測定用回路の初期設定(電圧値など)確認後、「4-1」の測定項目について、「3-1」、「3-2」および「3-3」を参考に、次の(1)～(3)に従って測定を行う。

- (1) 結線に誤りの無いことを確認の後、電源スイッチをONにする。
- (2) 測定に着手する。測定値を表に書き込み、グラフ用紙にプロットする。
- (3) 測定が終了したら、電流調整器のつまみを左一杯(MIN)に戻し、電圧調整器のつまみを中央付近(0V)に戻し、機器の電源スイッチをOFFにして、結線を解く。

5. 測定結果の考察と課題

- (1) 測定結果(表6-1, 表6-2およびグラフ)を整理し、それぞれ結果について考察する。
- (2) 報告書には、実験結果から電流増幅率(図6-8)を求めて記し、考察すること。

⑨ 電流増幅率を計算する際、分母分子の単位に注意すること。

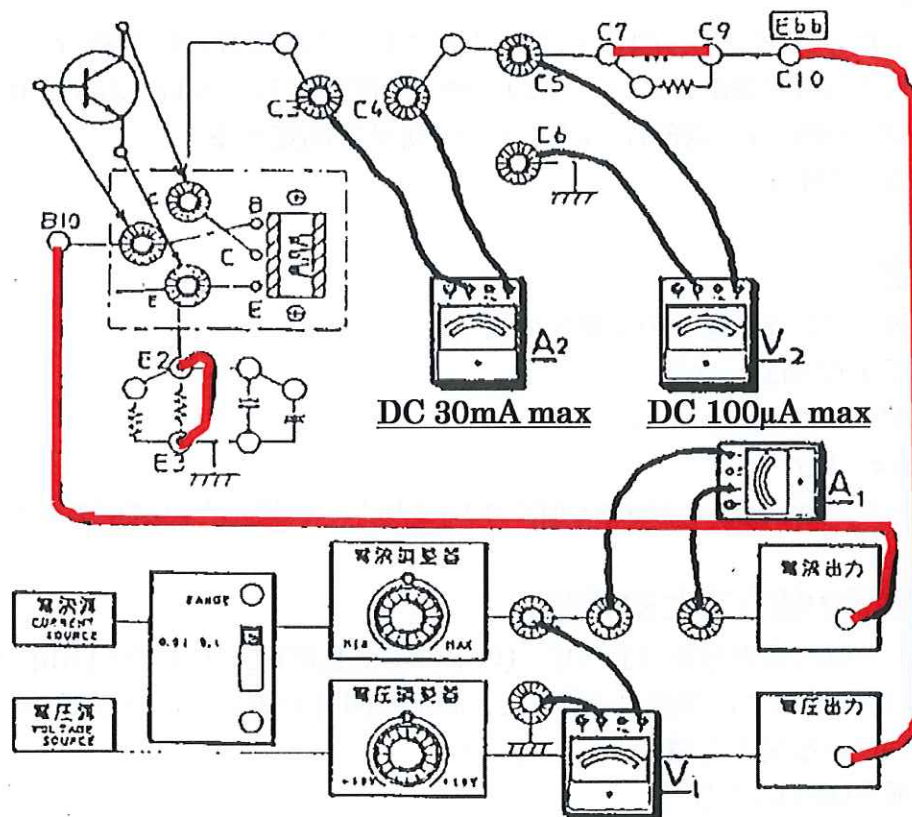


図 6.10 静特性測定回路の実態配線図

6. トランジスタの特性 I ～静特性～

表6-1 $V_{BE} - I_B$ 特性と $I_B - I_C$ 特性の測定結果記入表
被測定トランジスタ 2SC()

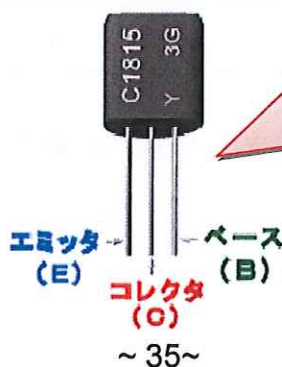
[illegible][illegible]

参考 トランジスタ 2SC1815の最大定格と外観

□ h_{FE} の分類($V_{CE}=6V$, $I_C=2mA$)

O : 70~140, Y : 120~240, GR : 200~400, BL : 350~700

項目	記号	定格	単位
コレクタ・ベース間電圧	V_{CBO}	60	V
コレクタ・エミッタ間電圧	V_{CEO}	50	V
エミッタ・ベース間電圧	V_{EBO}	5	V
コレクタ電流	I_C	150	mA
ベース電流	I_B	50	mA
コレクタ損失	P_C	400	mW
接合部温度	T_j	125	°C



トランジスタ電極の覚え方 「エクボ」と覚える！！

E(エニッタ) : E

C(コレクタ) : ク

B(ベース)：ボ

6. トランジスタの特性 I ～静特性～

表6-2 $V_{CE} - I_C$ 特性の測定結果記入表

被測定トランジスタ 2SC()

[illegible]

*表の枠数は一例であるため、各自、必要な測定数を測定・記入すること！！