

トランジスタの基本事項

山本昌志*

2003年10月8日

1 はじめに

本テキストは、実験実習「トランジスタの静特性の測定」を行う上で必要な基礎知識を記述しています。

- トランジスタ以前
- トランジスタの動作
- 実験内容について

2 トランジスタ以前

電話が発明されたのは、1876年のことです。しばらくの間、電話での長距離通話はできませんでした。というのは、電線の抵抗などにより、音声信号の電力が途中で減衰するからです。それを回避するためには、どうしても減衰した音声信号を元の大きさに戻す増幅器が必要となります。まず、その問題を解決したのが真空管の一種である3極管の発明です。1906年のことです。これにより、長距離の通話が可能になりました。

初期、特定の加入者へ電話回線を接続するためには、電話交換手と言われる人が電線をつなぎ変えていました。しかし、加入者が増加すると間に合わなくなり、リレーと呼ばれる電気機械式のスイッチが使われるようになりました。

この、真空管とリレーで電話は大きく発展しましたが、それぞれに問題を抱えていました。

- 真空管のヒーターは電球のフィラメントのようになっています。電球が球切れを起こすように、真空管も球切れが生じます。数多くの真空管を使うと、その球切れは重大な問題になります。例えば、世界最初の電子計算機 ENIAC は、約 20000 本の真空管が使われていました。平均寿命を 2000 時間とすると、6 分に 1 個の割合で故障します。これは、問題だ一。
- 次の問題は、リレーです。リレーというものは機械的な接点があり、それがついたり離れたりすることでスイッチになっています。これをとてつもない回数 ON と OFF を繰り返すと、接点の接触不良

*国立秋田工業高等専門学校 電気工学科

が生じ、もはやスイッチとして働かなくなります。大量の電話回線があると、それに応じたりレーがあり、絶えずその故障に悩まされます。これも問題だ一。

というようなわけで、フィラメントの無い増幅素子、機械動作の無いスイッチが求められていました。増幅素子とスイッチは同じ素子で可能です。これらを実現するために、米国の ATT のベル研では固体増幅素子の開発がはじまりました。

3 トランジスターの動作

トランジスターは、ショックレーらにより 1947 年に発明されました。実験のテキストにその原理が書かれていますが、それよりもどのように動作するか、理解しましょう。

トランジスターは3本の足(電極)があり、それぞれは「エミッター」と「コレクター」、「ベース」と呼ばれています。これら3本の足に図1のように、電池を接続します。すると、図中の矢印で示すようにベース電流とコレクタ電流が流れます。重要なことは、このベース電流とコレクタ電流の比です。通常このエミッタ接地と呼ばれる回路だと、コレクタ電流はベース電流の100倍程度になります。この比は、大体いつも一定です。比が一定ということは、ベース電流側を入力と、コレクタ電流側を出力と考えると増幅作用を表しています。

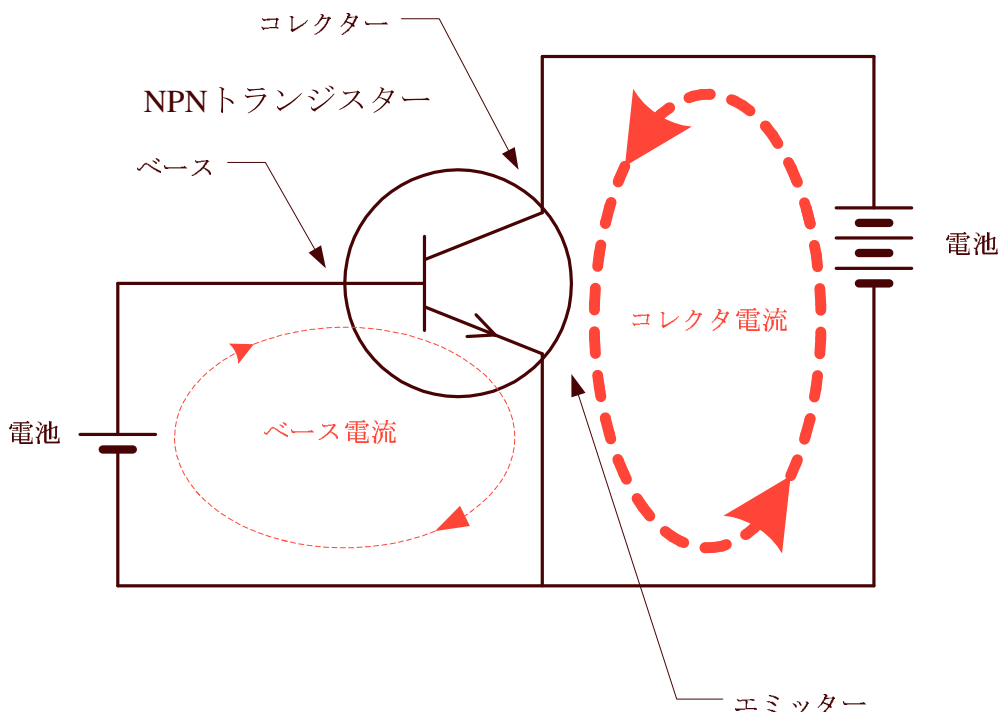


図 1: NPN トランジスターの動作の原理図。エミッタ接地回路。

ただし、トランジスターは極性があり、図で示した方向にしか電流が流れませんので、実際には増幅した

い交流信号にバイアスをかけます。この様子を図2に示します。図から分かるように、信号のほかにバイアス電流が流れています。

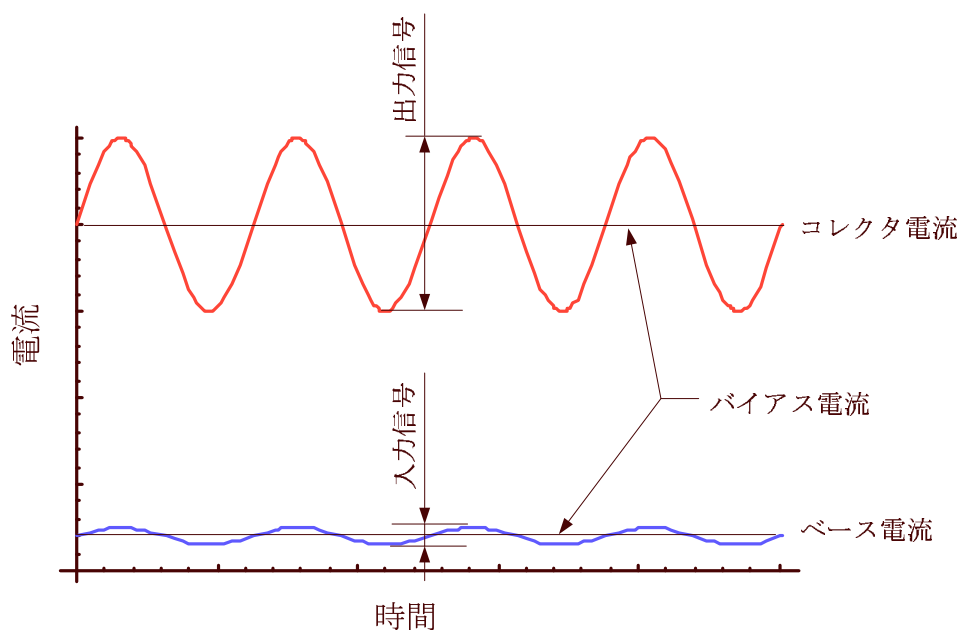


図 2: 増幅時のベース電流とコレクタ電流の様子。

入出力に必要な信号は交流のみなので、実際には図3のような回路にします。直流成分は通さないが交流を通すコンデンサーを利用して、入出力から直流成分を取り除きます。このコンデンサーを利用した回路をRC結合増幅回路といいます。

このトランジスタの発明により、真空管が駆逐されたのです。安価で寿命は半永久、そして消費電力が少なく、小型とほとんどの面において真空管より優れています。電話回線の真空管の問題は片付けられました。もうひとつの問題のリレーも、トランジスタをスイッチに用いることで解決します。ベース電流をON/OFFすることで、コレクタ電流をON/OFFできます。まさに、スイッチです。これで、電話回線の2つの問題が固体増幅素子であるトランジスタで解決されたこととなります。

4 実験内容

実験では、ベース電流・電圧とコレクタ電流・電圧の関係を測定します。これによって、トランジスタの基本動作を理解します。

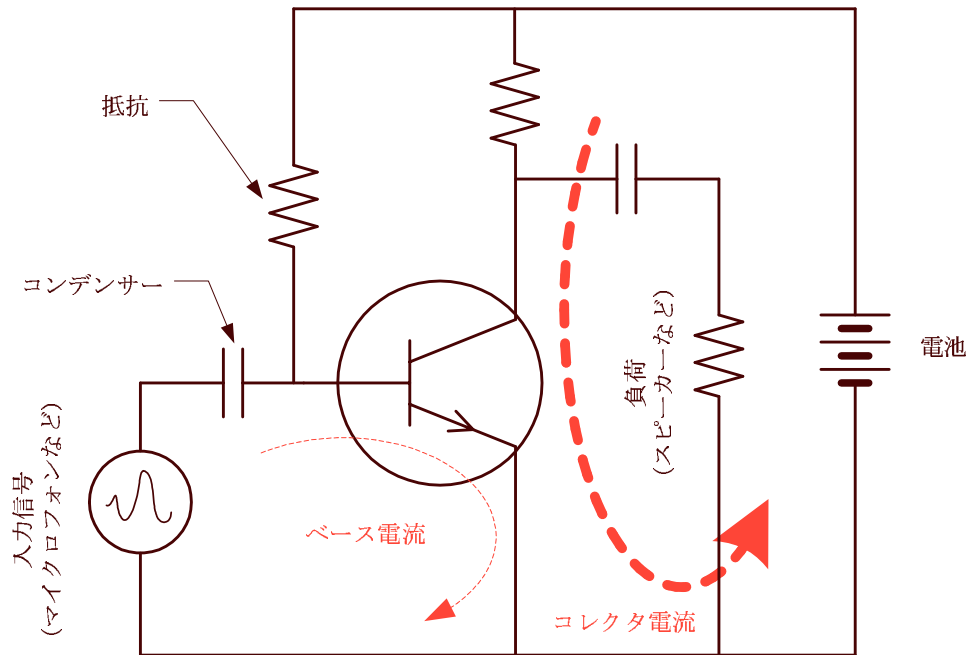


図 3: RC 結合増幅回路

5 付録

5.1 ENIAC の故障確率

ENIAC の故障確率を計算してみよう。真空管の平均寿命を T_f とすると、1 本が ΔT の時間に故障する確率は $\frac{\Delta T}{T_f}$ となる。故障しない確率は、 $1 - \frac{\Delta T}{T_f}$ となる。この真空管が N 本あって、 $\Delta T \times n_t$ の間故障しない確率 $P(n_t T)$ は、

$$P(n_t T) = \left(1 - \frac{\Delta T}{T_f}\right)^{N n_t} \quad (1)$$

となる。これが、 $n_t T$ の間故障しない確率である。ここで、 $\Delta T \rightarrow 0$ を計算したいわけであるが、そのために、 $n_T \Delta T = T$ とおいて、式を整理すると、

$$P(T) = \left(1 - \frac{\Delta T}{T_f}\right)^{\frac{N T}{\Delta T}} \quad (2)$$

となる。この式でも、まだ見通しが悪い。そこで $x = -\frac{\Delta T}{T_f}$ とおく。すると、

$$\begin{aligned} P(T) &= (1 + x)^{-\frac{N T}{x T_f}} \\ &= \left\{ (1 + x)^{\frac{1}{x}} \right\}^{-\frac{N T}{T_f}} \\ &\quad x \rightarrow 0 \text{ の場合} \\ &= e^{-\frac{N T}{T_f}} \end{aligned} \quad (3)$$

となる。従って、 N 本の真空管、全てが健全である平均時間間隔 T_p は、

$$\begin{aligned} T_p &= \int_0^{\infty} P(T) dT \\ &= \int_0^{\infty} e^{-\frac{NT}{T_l}} dT \\ &= \frac{T_l}{N} \end{aligned} \tag{4}$$

となる。この結果は、至極あたりまえで、平均寿命を真空管の本数で割ったことになっている。このようにあたりまえの結果では有るが、ちゃんと計算して導くことができるのは面白いことである。私は、小一時間程度、この式を導くために遊んだ。

約 20000 本の真空管が使われている ENIAC の場合、その寿命が 2000 時間とすると、約 1/10 時間 (6 分) で故障することになる。これでは使い物にならないので、ENIAC の開発スタッフは猛烈な努力をして、これを改善したようである。大体、真空管の故障は、週に 2~3 本程度であったということである。