

トランジスタ特性の一表示法

中 川 孝 之

On the Expression of the Transistor Characteristics.

Tokayuki NAKAGAWA

Author's expression of the transistor characteristics, induced from Ebers-Moll's equations, is conformable with the experiments. In this report, I will summarize the method.

1. 緒 言

すでに“トランジスタと鉄心を用いた弛張発振器について”⁽¹⁾と題した報告に於て、Ebers, Mollの式⁽²⁾を採用したが、使用したトランジスタの特性がこの式を満足しているかどうかを吟味しなかつたので、主としてこの点について吟味した結果を報告する。

2. 考 察

トランジスタ特性表示の方法は種々あるが、それぞれ取扱れる回路により便利な方法を用いる。ここで述べようと思うのは、Ebers, Mollの式にもとづいて図面1枚で特性を表示する事である。

真空管とトランジスタの対応については、emitter接地は真空管の陰極接地に対応することは良く知られている。筆者はこのような場合、トランジスタ動作の状況を考えるに都合のよい特性表示法として、base-emitter, collector-emitter電圧をparameterとしたcollector電流、—emitter電流の関係をあらわす方法を用いた。このような表示法に於て、Ebers, Mollの式はどの様になるかを考える。

Ebers, Mollの式

$$I_e = -\frac{I_{eo}}{1-\alpha_N\alpha_I} \left(e^{\frac{q}{kT}E_{eb}} - 1 \right) + \frac{\alpha_N I_{co}}{1-\alpha_N\alpha_I} \left(e^{\frac{q}{kT}E_{cb}} - 1 \right)$$

$$I_c = \frac{\alpha_N I_{eo}}{1-\alpha_N\alpha_I} \left(e^{\frac{q}{kT}E_{eb}} - 1 \right) - \frac{I_{co}}{1-\alpha_N\alpha_I} \left(e^{\frac{q}{kT}E_{cb}} - 1 \right)$$

$$\alpha_N I_{eo} = \alpha_I I_{co}$$

ここで q , k , T は夫々電子の有する電荷, ボルツマン常数, 絶対温度であり, I_{eo} , I_{co} , α_N , α_I は夫々 collector 電流 0 の場合の emitter 電流, emitter 電流 0 の場合の collector 電流, emitter-base 電圧零のときの I_c/I_b , 電圧零のときの I_b/I_c をあらわす。なおこの場合電流の方向を図-1のように取る。

この式を $e^{\frac{q}{kT}E_{eb}} - 1$, $e^{\frac{q}{kT}E_{cb}} - 1$ について解き E_{eb} , E_{cb} を求めると

$$E_{eb} = \frac{kT}{q} \log \{ I_{eo} - (I_e + \alpha_I I_c) \} \frac{1}{I_{eo}}$$

$$E_{cb} = \frac{kT}{q} \log \{ I_{co} - (I_c + \alpha_N I_e) \} \frac{1}{I_{co}}$$

となる。

次に emitter 接地の場合の特性を求めるため図-2のような回路を考える。そして base 接地の式を emitter 接地の式に変換す

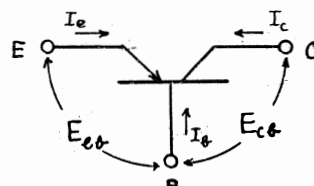


図-1

る。電流、電圧を図のように選べば次の式が立する。

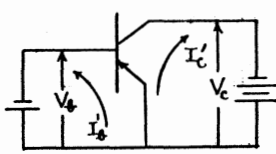


図-2

$$\begin{aligned} I_b &= -I'_b \\ I_c &= -I'_c \\ I_e &= I'_b + I'_c \\ V_b &= -E_{eb} \\ V_c &= -(E_{cb} - E_{eb}) \end{aligned}$$

そこで V_b , V_c を求めると

$$\begin{aligned} V_b &= -\frac{kT}{q} \log \{ I_{eo} - (I_e + \alpha_I I_c) \} \cdot \frac{1}{I_{eo}} \\ V_c &= -\frac{kT}{q} \log \frac{I_{co} - (I_c + \alpha_N I_e)}{I_{eo} - (I_e + \alpha_I I_c)} \cdot \frac{I_{eo}}{I_{co}} \end{aligned}$$

この式を I'_b , I'_c について書換える。

$$\begin{aligned} V_b &= -\frac{kT}{q} \log [I_{eo} - \{ I'_b + (1 - \alpha_I) I'_c \}] \cdot \frac{1}{I_{eo}} \\ V_c &= -\frac{kT}{q} \log \frac{I_{eo}}{I_{co}} \cdot \frac{I_{co} - \{ \alpha_N I'_b + (\alpha_N - 1) I'_c \}}{I_{eo} - \{ I'_b + (1 - \alpha_I) I'_c \}} \end{aligned}$$

更にこれ等を書きかえると

$$\begin{aligned} e^{-\frac{q}{kT} V_b} - 1 &= \frac{-1}{I_{eo}} [I'_b - (1 - \alpha_I) I'_c] \\ e^{-\frac{q}{kT} V_c} - 1 &= \frac{I'_b (I_{co} - \alpha_N I_{eo}) + I'_c \{ I_{co} (1 - \alpha_I) - (\alpha_N - 1) I_{eo} \}}{I_{co} [I_{eo} - \{ I'_b + (1 - \alpha_I) I'_c \}]} \\ &= \frac{(I_{co} - \alpha_N I_{eo}) I'_b - (2\alpha_N I_{eo} - I_{eo} - I_{co}) I'_c}{I_{co} [I_{eo} - \{ I'_b + (1 - \alpha_I) I'_c \}]} \end{aligned}$$

そこで V_b , V_c を parameter とした特性を求めるにあたり、 V_b , V_c にその代表的な値、即ち 0 と ∞ の値をあたえると上式は次のようになる。

先ず $V_c = 0$, $V_b = 0$ として

$$I'_c = \frac{I_{co} - \alpha_N I_{eo}}{2\alpha_N I_{eo} - I_{eo} - I_{co}} I'_b \quad (V_c = 0 \text{ としたとき})$$

$$I'_c = \frac{1}{\alpha_I - 1} I'_b \quad (V_b = 0 \text{ としたとき})$$

次に $V_c = \infty$, $V_b = \infty$ として

$$I'_c = \frac{\alpha_N}{1 - \alpha_N} I'_b + \frac{I_{co}}{1 - \alpha_N} \quad (V_c = \infty \text{ としたとき})$$

$$I'_c = \frac{I_{eo}}{1 - \alpha_I} - \frac{1}{1 - \alpha_I} I'_b \quad (V_b = \infty)$$

これ等の式は何れも直線の方程式を示しているから、之を $I'_c \sim I'_b$ 面上で図示すると図-3となる。

一方トランジスタは製品個々のものについて大いに異なるが、だいたい $I_{co} = 2\mu\text{A}$, $I_{eo} = 1.6\mu\text{A}$, $\alpha_I = 0.78$, $\alpha_N = 0.97$ 程の値を有することがわかっているの、これ等の値を上式に代入して定数を定めると

$$\tan \theta_1 = \frac{1}{\alpha_I - 1} = -4.5$$

$$\tan \theta_2 = \frac{I_{co} - \alpha_N I_{eo}}{2\alpha_N I_{eo} - I_{eo} - I_{co}} = -0.76$$

$$\tan\theta_3 = \frac{\alpha_N}{1 - \alpha_N} = 36$$

の値にだいたい計算される。

又電圧の零と無限大の任意の値に対してはこの代表的な直線の間の直線群で表されるであろう事は明かである。

(図-3 参照)

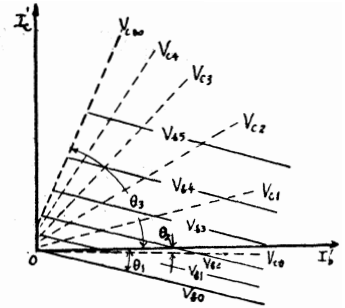


図-3

3. 実験結果

図-2 の回路を用いて得られた結果を図示すると図-4 のようになる。これから

わかる事は電圧を parameter とした曲線はその傾向に於て非常によく計算した式と一致している。

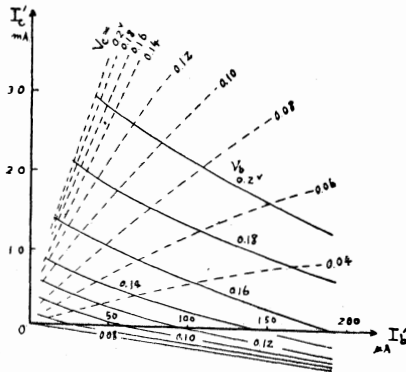


図-4

4. 結 言

図-3 と 図-4 を比べると、Ebers-Moll の式はトランジスタ特性を表現する式と見て良いと考えられる。

終りに御指導下さった山内二郎教授(東大工), 西野治助教授(東大工)に感謝すると共に、いつも適切な御教示、御配慮下さった南雲仁一助教授(慶大)に厚くお礼申し上げます。

文 献

- (1) 中川孝之 非線型理論専門委員会資料(電気通信学会)昭 32.3
- (2) Ebers-Moll. I.R.E. 卷 42, 年 1954, 頁 1773
- (3) 電気通信学会 最新のトランジスタ工学
- (4) (2)に同じ