

固定バイアス型トランジスタ・マルチバイブレータについて

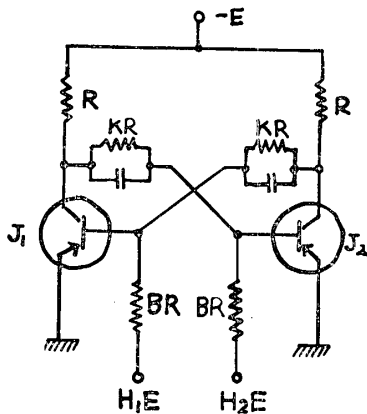
平田 威彦, 桐原 昭雄

1. ま え が き

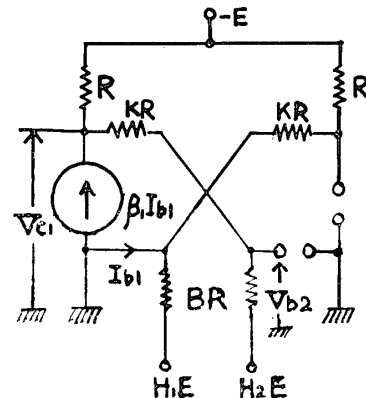
固定バイアス型トランジスタ・マルチバイブレータに関しては、今までに三つの動作形態（無安定，単安定及び双安定）の各々に対する理論がいくつかあるが，^{1)~4)} 統一的な理論はまだ見ない。筆者らはこれらの理論の中^{2), 3)}及び⁴⁾を基礎として三つの動作形態に関し統一的な考察を試みたところ新しい設計理論を見出したのでここに報告する。

2. 基本 条件

第2図は第1図に示すマルチバイブレータにおいてトランジスタ J_1 能動 J_2 遮断の場合の等価回路



第1図 固定バイアス型トランジスタ・マルチバイブレータ基本回路



第2図 J_1 能動 J_2 遮断の場合の等価回路

路を示す。 β_1 と β_2 はそれぞれ J_1 と J_2 のエミッタ接地電流増巾率であって， I_{b1} は J_1 のベース電流， V_{c1} は J_1 のコクタ電圧及び V_{b2} は J_2 遮断とみなしたときのベース電圧である。

この回路方程式は，

$$\left(I_{b1} + \frac{H_1 E}{BR} \right) (1 + K) R = E$$

$$\beta_1 I_{b1} + \frac{H_2 E - V_{c1}}{(B + K) R} = \frac{V_{c1} + E}{R}$$

$$\frac{H_2 E - V_{b2}}{BR} = \frac{V_{b2} - V_{c1}}{KR}$$

上式より，

$$I_{b1} = \left(\frac{1}{1 + K} - \frac{H_1}{B} \right) \cdot \frac{E}{R} \quad (1)$$

$$V_{c1} = \frac{B+K}{1+B+K} \left\{ \beta_1 \left(\frac{1}{1+K} - \frac{H_1}{B} \right) - \left(1 - \frac{H_2}{B+K} \right) \right\} E \quad (2)$$

$$V_{b2} = \left[\frac{KH_2}{K+B} + \frac{B}{1+B+K} \left\{ \beta_1 \left(\frac{1}{1+K} - \frac{H_1}{B} \right) - \left(1 - \frac{H_2}{B+K} \right) \right\} \right] E \quad (3)$$

このとき J_1 は能動であるから $I_{b1} > 0$ でなければならない。従って(1)式より、

$$H_1 < \frac{B}{1+K} \doteq \frac{B}{K} \quad (4)$$

ただし、 $K \gg 1$ に選ばれるものとする。

逆に、 J_1 遮断 J_2 能動の場合には(1)~(4)式においてすべての添字1と2を入れ替えて、式の番号に' を付けるものとする。

次に、 J_1 と J_2 が同時に遮断とならないための条件を求めてみると、先ず J_1 遮断なる時 J_2 も遮断であるとすれば、そのときの等価回路は第3図のごとくなり、これから J_2 のベース電圧 V_{b2}' は、

$$V_{b2}' = H_2 E - \frac{B(1+H_2)}{1+K+B} E$$

従って、 $V_{b2}' < 0$ なるごとくすれば J_2 は遮断ではありえないから、これより、

$$H_2 < \frac{B}{K} \quad (5)$$

でなければならない。同様に J_1 が J_2 の状態如何に拘らず遮断を維持しないためには、

$$H_1 < \frac{B}{K} \quad (5)'$$

でなければならない。(5)及び(5')式はそれぞれ(4')及び(4)式に一致する。

次に J_1 が能動なる時不飽和であるためには、コレクタ電圧 $V_{c1} < 0$ でなければならない。従って、(2)式より、

$$\beta_1 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) - \left(1 - \frac{H_2}{B+K} \right) < 0$$

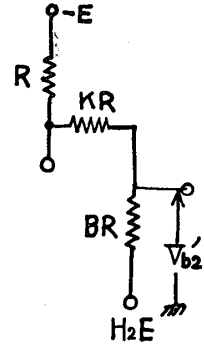
この式の中の $\frac{H_2}{B+K}$ は(5)式より、

$$\frac{H_2}{B+K} < \frac{B}{K(B+K)} = \frac{1}{K} - \frac{1}{B+K} \ll 1$$

従って、

$$H_1 > -\frac{B(K-\beta_1)}{\beta_1 K} = \frac{B(\beta_1-K)}{\beta_1 K} \quad (6)$$

同様に、 J_2 が能動なる時不飽和であるためには、



第3図
 J_1 及び J_2 が同時に遮断なる場合の等価回路

$$H_2 > -\frac{B(K-\beta_2)}{\beta_2 K} = \frac{B(\beta_2-K)}{\beta_2 K} \quad (6')$$

次に、(3)及び(3')式より V_{b2} あるいは V_{b1} の正負に応じて次の四つの条件が考えられる。

a. J_1 能動 J_2 遮断の状態が不安定なるための条件。

$V_{b2} < 0$ であればよいから(3)式より、

$$H_2 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_1 \left(-\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) \right\} \quad (7)$$

あるいは、これを H_1 について解き、

$$H_1 > \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_1} \left(1 - \frac{K}{B} H_2 \right) \right\} \quad (7')$$

b. J_1 能動 J_2 遮断の状態が安定なるための条件。

$V_{b2} > 0$ であればよいから、

$$H_2 > \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_1 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) \right\} \quad (8)$$

あるいは、

$$H_1 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_1} \left(1 - \frac{K}{B} H_2 \right) \right\} \quad (8')$$

c. J_1 遮断 J_2 能動の状態が不安定なるための条件。

$V_{b1} < 0$ より

$$H_1 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_2 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_2}{B} \right) \right\} \quad (9)$$

あるいは、

$$H_2 > \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_2} \left(1 - \frac{K}{B} H_1 \right) \right\} \quad (9')$$

d. J_1 遮断 J_2 能動の状態が安定なるための条件。

$V_{b1} > 0$ より

$$H_1 > \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_2 \left(-\frac{1}{K} - \frac{H_2}{B} \right) \right\} \quad (10)$$

あるいは、

$$H_2 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_2} \left(1 - \frac{K}{B} H_1 \right) \right\} \quad (10')$$

3. 設 計 条 件

三つの動作形態の各々は、基本条件(5), (5'), (6), (6') 式及び以下に述べるごとく安定に関する四つの条件 a, b, c, d, の中の適当な組合せにより決定される。

(a, c); 無安定回路

J_1 能動 J_2 遮断も J_1 遮断 J_2 能動も共に不安定であるから、コンデンサにより決められた週期²⁾で自ら発振する。

(7)式と(9')式または(7')式と(9)式は同時に成立しなければならないから、これらより、

$$K > \sqrt{\beta_1 \beta_2} \tag{11}$$

なるごとくしなければならない。

(5), (5'), (6), (6'), (7)及び(9') 式を同時に満足する範囲を図示すれば第4図において斜線を施した部分となり、これを数式にまとめて表わせれば次のごとくなる。

無安定回路の条件は、 $K > \sqrt{\beta_1 \beta_2}$ に選び、 $-\frac{B(K-\beta_1)}{\beta_1 K} < H_1 < \frac{B}{K}$ なる H_1 の或る値に対して、 H_2 の範囲は、

$$\left. \begin{aligned} H_1 \geq 0 \text{ならば} & \quad \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_2} \left(1 - \frac{K}{B} H_1 \right) \right\} < H_2 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_1 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) \right\} \\ H_1 \leq 0 \text{ならば} & \quad -\frac{B(K-\beta_2)}{\beta_2 K} < H_2 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_1 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) \right\} \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

逆に、 H_2 を先に指定する場合は、(12)式においてすべての添字1と2を入れ替えばよい。

また、 H_1 及び H_2 を共に同じ値にする場合には、 $H_1 = H_2 = H$ とおき、(5), (6), (7)及び(9)式より、

$$\left. \begin{aligned} \beta_1 > \beta_2 \text{ならば} & \quad -\frac{B(K-\beta_1)}{\beta_1 K} < H < \frac{B}{K} \\ \beta_1 < \beta_2 \text{ならば} & \quad -\frac{B(K-\beta_2)}{\beta_2 K} < H < \frac{B}{K} \end{aligned} \right\} \tag{13}$$

これは第4図において座標 $\left(\frac{B}{K}, \frac{B}{K} \right)$ と原点を結ぶ直線が飽和線(6)又は(6')のいずれかと最初に交わるまでの範囲すなわち鎖線で示した区間である。図は $\beta_1 < \beta_2$ の場合である。

(b, d); 双安定回路

J_1 能動 J_2 遮断と J_1 遮断 J_2 能動とは共に安定である。(8)式と(10')式又は(8')式と(10)式は同時に成立しなければならないから、これより、

$$K < \sqrt{\beta_1 \beta_2} \tag{14}$$

なるごとくしなければならない。

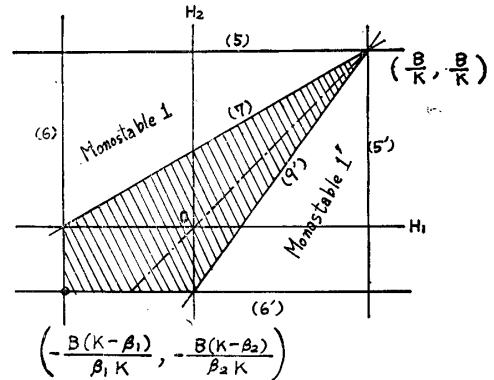
(5), (5'), (6), (6'), (8)及び(10')式を同時に満足する範囲は第5図の斜線部分となり、これを数式にまとめれば次のごとくなる。

双安定回路の条件は、

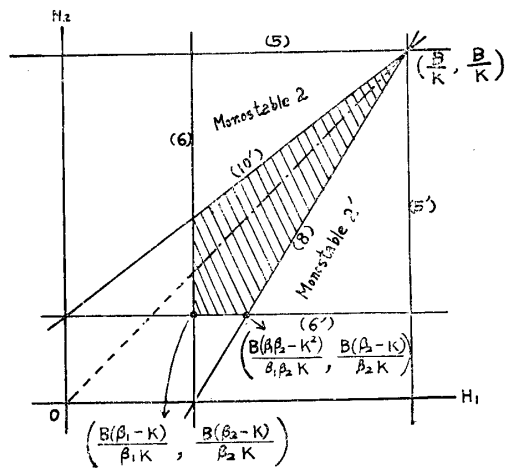
$$K < \sqrt{\beta_1 \beta_2} \text{ に選び}$$

$$\frac{B(\beta_1 - K)}{\beta_1 K} < H_1 < \frac{B}{K} \text{ なる } H_1 \text{ のある値に}$$

対して、 H_2 の範囲は、



第4図 無安定領域 ($K > \sqrt{\beta_1 \beta_2}$)



第5図 双安定領域 ($K < \sqrt{\beta_1 \beta_2}$)

$$\begin{aligned}
 H_1 &\geq \frac{B(\beta_1\beta_2 - K^2)}{\beta_1\beta_2 K} \text{ ならば,} \\
 \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_1 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) \right\} &< H_2 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_2} \left(1 - \frac{K}{B} H_1 \right) \right\} \\
 H_1 &\leq \frac{B(\beta_1\beta_2 - K^2)}{\beta_1\beta_2 K} \text{ ならば,} \\
 \frac{B(\beta_2 - K)}{\beta_2 K} &< H_2 < \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_2} \left(1 - \frac{K}{B} H_1 \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{15}$$

逆に、 H_2 を先に指定する場合は、(15式においてすべての添字1と2を入れ替えばよい。

また、 H_1 及び H_2 を共に同じ値にする場合には、 $H_1 = H_2 = H$ とおき、(5)、(6)、(8)及び(10)式より

$\beta_1 > \beta_2$ ならば、

$$\begin{aligned}
 \frac{B(\beta_1 - K)}{\beta_1 K} &< H < \frac{B}{K} \\
 \beta_1 < \beta_2 \text{ ならば,} \\
 \frac{B(\beta_2 - K)}{\beta_2 K} &< H < \frac{B}{K}
 \end{aligned} \tag{16}$$

これは第5図においては第4図の場合と同様に鎖線で示した区間である。図は $\beta_1 > \beta_2$ の場合である。

(b, c)及び(a, d); 単安定回路

J_1 能動 J_2 遮断が安定で、 J_1 遮断 J_2 能動が不安定なる状態は(5)、(5')、(6)、(6')、(8)及び(9')を同時に満足する範囲であり、

$$\begin{aligned}
 K &> \sqrt{\beta_1\beta_2} \text{ なる場合は,} \\
 -\frac{B(K - \beta_1)}{\beta_1 K} &< H_1 < \frac{B}{K} \text{ なる } H_1 \text{ のある値に対して,} \\
 \frac{B}{K} \left\{ 1 - \beta_1 \left(\frac{1}{K} - \frac{H_1}{B} \right) \right\} &< H_2 < \frac{B}{K}
 \end{aligned} \tag{17}$$

これは第4図中の“Monostable 1”の領域である。

$$\begin{aligned}
 K &< \sqrt{\beta_1\beta_2} \text{ なる場合は,} \\
 \frac{B(\beta_1 - K)}{\beta_1 K} &< H_1 < \frac{B}{K} \text{ なる } H_1 \text{ のある値に対して,} \\
 \frac{B}{K} \left\{ 1 - \frac{K}{\beta_2} \left(1 - \frac{K}{B} H_1 \right) \right\} &< H_2 < \frac{B}{K}
 \end{aligned} \tag{18}$$

これは第5図中の“Monostable 2”の領域である。

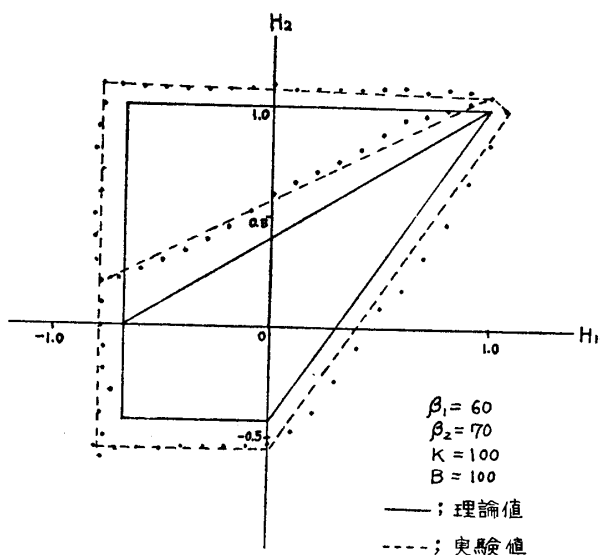
逆に、 J_1 遮断 J_2 能動が安定で、 J_1 能動 J_2 遮断が不安定なる状態は(5)、(5')、(6)、(6')、(7')及び(10)式を

同時に満足する範囲であり、(17)及び(18)式において、すべての添字1と2を入れ替えたものとなる。ただし、これらの場合は H_2 が先に指定されることになる。両者はそれぞれ第4図中の“Monostable1”及び第5図中の“Monostable2”の領域である。

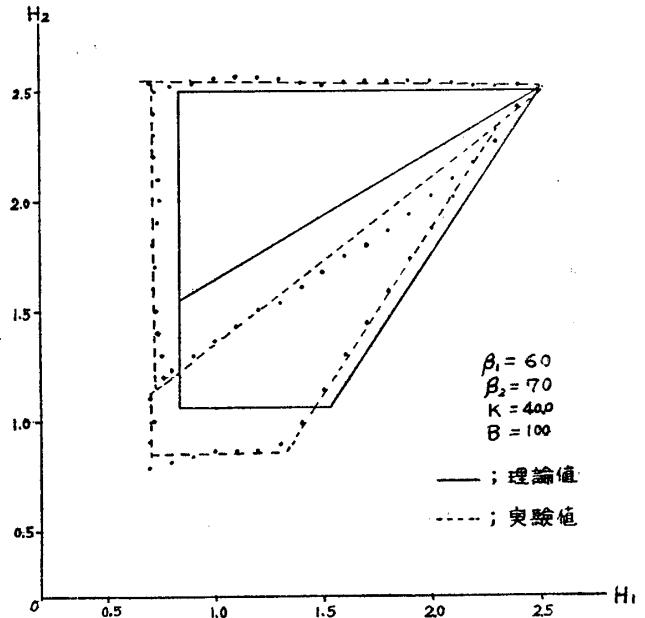
以上は H_1, H_2 及び K に関する条件である。 B に関しては条件は設けなかったが、第4図及び第5図を見れば判るごとく、各点の座標は B に比例するので、 H_1 及び H_2 のとりうる範囲も B に比例するのは注意すべきである。

4. 実験結果

トランジスタ J_1 及び J_2 としてそれぞれ $\beta_1=60$ 及び $\beta_2=70$ のものを使用し、 $R=2\text{K}\Omega$ 、 $B=100$ とした。第6図には、 $K=100$ として不安定領域と“Monostable1”の領域の理論値(実線)と実験値(点線)を示し、第7図には $K=40$ として双安定領域と“Monostable2”の領域の理論値と実験値を示した。理論と実験のある程度の差異はトランジスタの等価回路を電流源のみにとったこと及び電流増巾率 β を能動域での平均値に選んだことに基づくものと考えられる。



第6図 不安定及び“Monostable 1”領域の実験結果



第7図 双安定及び“Monostable 2”領域の実験結果

5. 結 言

実際に同一回路のマルチバイブレータを多数使用する場合、第4図又は第5図を用いれば、トランジスタ定数のばらつきや変動あるいは電源電圧、バイアス電圧の変動に対する余裕度(マージン)の判定に役立つものと思う。

回路の設計に当りコンデンサの値、出力電圧等を知る必要がある場合には文献(2), (3), (4)及び(5)等を参照されたい。

本文中の理論は、学生実験の一項目に採用する目的で作られたもので、理論と実験の非常に一致は見られないけれども、統一的に三つの動作を観察できる利点がある。

終りに当り種々御助言を賜った九州大学米山教授に深甚なる謝意を表す。

文 献

- 1) 青柳・宮脇・佐々木；不飽和トランジスタフリップフロップ回路について，
信学誌Vol. 40, No.11(昭32.11), P.1196
- 2) 米山；固定バイアス形トランジスタ無安定マルチバイブレータ，
九大工集，34巻1号(昭36.9), P.37
- 3) 米山；固定バイアス形トランジスタ・フリップフロップ，九大工集掲載予定。
- 4) 米山；固定バイアス形トランジスタ単安定マルチバイブレータ，
九大工集，34巻2号(昭36.10), P.42
- 5) 平田；トランジスタ固定バイアス型不飽和フリップフロップのスピードアップコンデンサにつ
いて，
昭35電四連予稿，(昭35.7), 1606