

# 脉冲宽度从 0.5s—7s 连续可调 的单稳态电路分析

苏 安 邦

(应用物理系)

## 摘 要

本文分析输出脉冲宽度从 0.5s—7s 连续可调的单稳态电路的工作原理,并推导出输出脉冲宽度的计算公式,为实际工作提供理论根据。

## 一、前 言

两个 PNP 型晶体三极管组成的“集—基”耦合单稳态电路见图 1 所示。当电路处于稳定状态时,  $BG_1$  截止、 $BG_2$  饱和。暂稳态时,  $BG_1$  饱和、 $BG_2$  截止。暂稳态的时间取决于电容  $C$  放电的时间常数  $\tau = RC$ 。理论分析<sup>[1]</sup>表明,从  $BG_2$  集电极输出脉冲的宽度(即电路处于暂稳态时间)  $t_u \approx 0.69RC$ 。 $R$  和  $C$  的取值必需适当,电路才能正常工作。由  $BG_2$  饱和的条件可以求得<sup>[1]</sup>:

$$R \leq R_{c2} \beta_{2min}, \quad (1)$$

可见  $R$  不能太大,否则  $BG_2$  不饱和。当然  $R$  也不能太小,因为  $R$  太小时,  $BG_2$  饱和太深,触发灵敏度降低,电路恢复到稳定状态的时间变长,影响工作频率。而电容  $C$  太大时,体积大,漏电严重,而且电路恢复到稳定状态的时间变长。 $C$  过小又影响正反馈量,工作不稳定。通常  $C$  应比分布电容大得多。因此,图 1 的典型单稳态电路输出脉冲的宽度在几毫秒到几十毫秒为佳。

有的数字仪表要求数码管显示时间达几秒之长,以使工作人员边观察边记录。显然,如果使用图 1 电路的输出作为控制信号,其脉冲宽度是达不到要求的。

本文 1984 年 12 月 31 日收到。

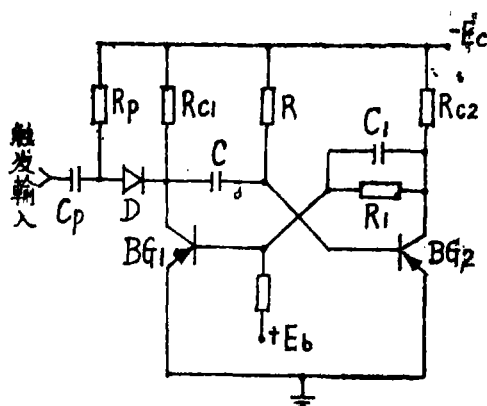


图 1

图2是输出脉冲宽度从 0.5S~7S 连续可调的单稳态电路。该电路由  $BG_1$  和  $BG_2$  组成“集—基”耦合单稳态基本电路。图中,  $BG_3$  和  $BG_4$  是射极跟随器。加入  $BG_3$  可使电路恢复到稳定状态的时间缩短, 也就是电容  $C$  充电的时间常数  $\tau_2 \approx R_{03}C$  可以减小。其中  $R_{03}$  是  $BG_3$  的输出阻抗, 它很小。

射极跟随器有电流放大作用,  $I_{b2} \approx (1 + \beta_4) I_{b4}$ 。所以, 较小的  $I_{b4}$  经  $BG_4$  放大后, 可使  $BG_2$  获得处于饱和所需要的基极电流。电路输出脉冲的宽度由  $R'$  调节。当  $R'$  调大时,  $I_{b4}$  可能太小, 以致虽经  $BG_4$  放大后,  $BG_2$  还不能处于饱和状态。为此在  $C$  的两端并联电阻  $R_3$ 。当  $BG_1$  截止时,  $u_{c1} \approx -E_c$ ,  $u_{e3} \approx -E_c - u_{be3}$ , 它加在  $R_3$  的一端, 可使  $BG_4$  的基极电流加大, 保证  $BG_2$  能饱和。

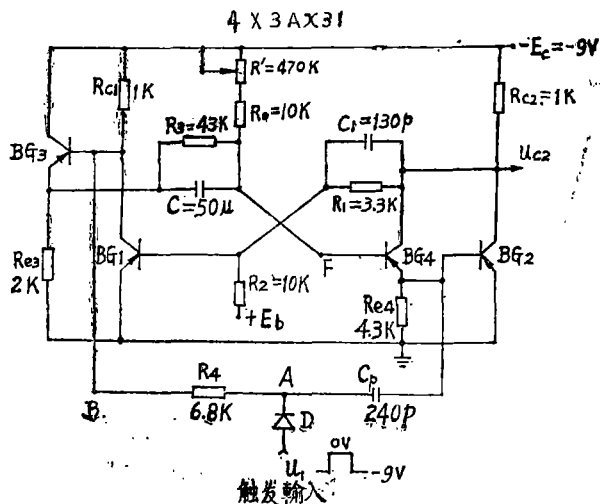


图 2

输入电路采用可控触发方式, 工作原理见图3。图中  $R_{04}$  是  $BG_4$  的输出阻抗。B 点的电位视  $BG_1$  截止或饱和而定。当  $BG_1$  饱和时,  $u_B = u_{c1} \approx -0.2V$ , 因而  $u_A \approx -0.2V$ , 二极管  $D$  反偏, 输入的正触发信号无法通过, 电路状态不会翻转。当  $BG_1$  截止时,  $BG_3$  导通,  $u_B = u_{c1} \approx -9V$ , 所以  $u_A \approx -9V$ , 输入的正触发通过二极管  $D$  后, 经  $C_p$ 、 $R_{04}$  微分后加到  $BG_2$  的基极, 使电路状态翻转。

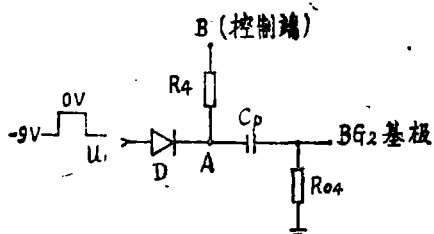


图 3

## 二、电路的工作原理和波形图

首先考虑没有加入外触发的情况。

电源接通后, 要求  $BG_1$  截止、 $BG_2$  饱和, 从而  $BG_3$  和  $BG_4$  导通。  $u_{e3} = -E_c - u_{ce3} \approx -8.8V$ ,  $u_{b4} \approx -0.4V$ ,  $u_{b2} = u_{bs2} \approx -0.2V$ ,  $u_{o2} = u_{os2} \approx -0.2V$ 。电容  $C$  充电到 8.4V 左右。这是电路唯一的稳定状态。

$BG_2$  的饱和条件要求  $I_{b2} \geq I_{bs2}$ 。

因为

$$I_{b2} \approx (1 + \beta_{4min}) I_{b4} \approx \frac{E_c}{R' + R_0} (1 + \beta_{4min})。$$

而

$$I_{bs2} = \frac{I_{cs2}}{\beta_{2min}} \approx \frac{E_c}{R_{c2}\beta_{2min}}.$$

所以

$$R' + R_0 \leq R_{c2} (1 + \beta_{4min}) \beta_{2min} \quad (2)$$

式中  $\beta_{2min}$  和  $\beta_{4min}$  分别是  $BG_2$  和  $BG_4$  的最小电流放大倍数.

$BG_1$  的截止条件和典型电路一样<sup>[1]</sup>:

$$R_2 < \frac{|E_b| + V_{r1}}{u_{ces2} - V_{r1} + I_{cbo}R_1} R_1, \quad (3)$$

式中  $V_{r1}$  是  $BG_1$  的阀电压.

稳定状态时, 各点电位见波形图 5 中 0— $t_1'$  部分.

当  $t = t_1^+$ , 外加正触发信号经二极管  $D$  和  $C_p$ 、 $R_{04}$  使  $BG_2$  的基极电流减小, 引起以下正反馈链锁反应:

$$\begin{aligned} I_{b2} \downarrow &\rightarrow I_{c2} \downarrow \rightarrow u_{c2} \downarrow \rightarrow u_{b1} \downarrow \rightarrow I_{b1} \uparrow \rightarrow I_{c1} \uparrow \\ &\uparrow \quad \quad \quad I_{b4} \downarrow \leftarrow u_{b4} \uparrow \leftarrow u_{e3} \uparrow \leftarrow u_{c1} \uparrow \leftarrow \end{aligned}$$

使电路状态迅速翻转成  $BG_1$  饱和、 $BG_2$  截止.

由于正反馈链锁反应进行极快,  $u_{c1}$  和  $u_{e3}$  都从  $-8.8\text{V}$  跃升到  $u_{cs1} \approx -0.2\text{V}$ , 跃升幅度  $u_{m1} \approx 8.6\text{V}$ . 因为此时电容  $C$  两端的电压不能突变, 所以  $u_{b4}$  也跃升  $8.6\text{V}$ , 即  $u_{b4}(t_1^+) \approx 8.2\text{V}$ . 这一电压使  $BG_4$  和  $BG_2$  截止.  $BG_2$  截止时,

$$u_{c2} \approx -\frac{E_c R_1}{R_1 + R_{c2}}.$$

$t > t_1$  后, 电容  $C$  放电, 放电的等效电路见图 4. 这是一个脉冲分压器. 为了求出  $C$  的放电规律, 先设  $BG_4$  的基极和  $F$  点断开. 放电开始时刻,  $u_F(t_1) = 8.2\text{V}$ . 当  $t \rightarrow \infty$  时,  $F$  点的电位由电阻分压:

$$u_F(\infty) \approx -\frac{E_c R_3}{R_3 + R}.$$

放电的时间常数

$$\tau = \frac{R_3 R}{R_3 + R} C.$$

由此可以画出  $F$  点的电压指数衰减曲线<sup>[2]</sup>. 通过运算微积分法<sup>[3]</sup>, 可得:

$$u_F(t) = u_F(\infty) + [u_F(t_1) - u_F(\infty)] e^{-(t-t_1)/\tau}, \quad (4)$$

其中  $t_1 \leq t \leq t_2$ .

因为  $F$  点实际上和  $BG_4$  的基极相连接, 所以  $BG_4$  的基极电压按同一指数规律下降. 设  $t = t_2$  时,  $u_{b4}$  下降到  $BG_4$  即将进入放大区的基极电压, 此时  $BG_4$  即将出现基极电流. 当  $u_{b4}$  再稍微下降时,  $I_{b4}$  出现, 从而引起下列正反馈链锁反应:

$$\begin{aligned} I_{b4} \uparrow &\rightarrow I_{b2} \uparrow \rightarrow I_{c2} \uparrow \rightarrow u_{c2} \uparrow \rightarrow u_{b1} \uparrow \rightarrow I_{b1} \downarrow \\ &\uparrow \quad \quad \quad u_{b4} \downarrow \leftarrow u_{e3} \downarrow \leftarrow I_{b3} \uparrow \leftarrow u_{c1} \downarrow \leftarrow I_{c1} \downarrow \leftarrow \end{aligned}$$

电路迅速翻转为  $BG_1$  截止、 $BG_2$  饱和的稳定状态.

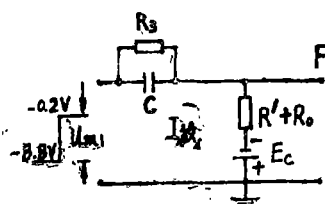


图 4

各点的波形见图 5。其中  $u_{c1}$  和  $u_{c2}$  的前、后沿时间的求法和典型单稳态电路相同，不细述。

### 三、输出脉冲宽度分析

如果要求的是负脉冲，则从  $BG_2$  的集电极输出。负脉冲的宽度  $t_u = t_2 - t_1$ ，它就是电容  $C$  的放电时间。

由式 (4)，当  $t = t_2$  时，设

$$u_F(t_2) = V_{r4},$$

可得：

$$t_u = \tau \ln \frac{u_F(\infty) - u_F(t_1)}{u_F(\infty) - V_{r4}}. \quad (5)$$

其中  $V_{r4}$  是  $BG_4$  开始出现基极电流的电压。由式 (5) 可知，调节  $R'$  可以改变  $t_u$ ，其变化范围其下：

当  $R' = 0\Omega$  时， $t_u$  最小。计算如下：

此时， $R = R_0 = 10k$ 。

$$\tau_{min} = \frac{43 \times 10^3 \times 10 \times 10^3}{43 \times 10^3 + 10 \times 10^3} \times 50 \times 10^{-6} = 0.41(s).$$

$$u_{Fmin}(\infty) = \frac{9 \times 43 \times 10^3}{43 \times 10^3 + 10 \times 10^3} = -7.3(v).$$

$$u_F(t_1) = 8.2v, \text{ 取 } V_{r4} = -0.4v.$$

则

$$t_{umin} = 0.41 \ln \frac{15.5}{6.9} = 0.33(s)$$

当  $R' = 470k$  时， $t_u$  最大。计算如下：

因为

$$R = R' + R_0 = 480k.$$

$$\tau_{max} = \frac{43 \times 10^3 \times 480 \times 10^3}{43 \times 10^3 + 480 \times 10^3} \times 50 \times 10^{-6} = 2.0(s).$$

$$u_{Fmax}(\infty) = -\frac{9 \times 43 \times 10^3}{43 \times 10^3 + 480 \times 10^3} = -0.74(v).$$

取

$$V_{r4} = -0.4v$$

则

$$t_{umax} = 2.0 \ln \frac{8.9}{0.34} = 6.5(s).$$

可见，调节  $R'$  可以使输出脉冲的宽度从 0.33s~6.5s 连续可调。

实验表明， $t_u$  的变化范围在 0.35s~7s。可见，理论计算值和实验结果基本符合。

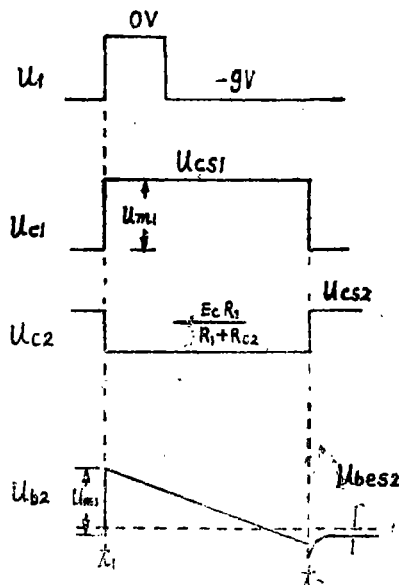


图 5

## 参 考 文 献

- [1] 复旦大学物理系编, 半导体线路(脉冲技术部分), 上海人民出版社, (1973)。  
[2] 林定基等, 晶体管脉冲数字电路(上册), 科学出版社, (1982)。  
[3] 顾著、龔林同, 脉冲技术(上册), 北京科学教育出版社, (1961)。

The Analysis of Single Stabilizing Circuit Which  
Can be Modulated Continuously Between  
0.5s—7s Pulse Breadth

Su Anbang

Abstract

This paper analyses the principle of operation of single stabilizing circuit which can be modulated continuously between 0.5s~7s output pulse breadth. The calculation formula of the output pulse breadth can be thus deduced and the thoretical basis for practical work can thus be offered.