

# 一种快速多用途 TD-TTL 弛豫振荡器\*

邓 兆 扬

(中国科学院半导体研究所)

## 提 要

本文提出 TD-TTL 组合弛豫振荡电路<sup>[1]</sup>。由于综合利用了两种快速器件(隧道二极管与高速晶体管-晶体管逻辑)的特点,又加上特有的反馈网络,因而呈现出一系列优越的电学性能。诸如波形好、高速、宽带频率变换、便于程控以及灵活多变的电路功能等。

本文研究了 TD 与 TTL 接口电平的匹配关系,分析计算了电路的振荡周期,列出了性能特点,给出了应用实例,指出了应用前景。

## 一、引言

多种用途的快速脉冲电路在仪器、通讯等领域中是广泛需要的。作为具有特殊性能的隧道二极管,曾与晶体管相结合以扩展其应用范围<sup>[2-5]</sup>,解决一般脉冲电路难以解决的问题。随着集成技术的发展,各种类型集成的脉冲电路应运而生,但在诸如高频同步、释抑触发、幅度甄别、时域脉冲以及宽范围高速整形等方面仍见长于隧道二极管。近十几年来,TTL 系列电路在双极型快速脉冲及数字电路中的应用相当广泛,各种仪器、装置与脉冲或数字有关的接口电平都以转换成 TTL 电平作为共同的趋势。当前,将隧道二极管与 TTL 电路相结合的基本电路及应用方面的研究已经成为进一步扩展隧道二极管应用范围的一种新的需要。这种研究的成果将赋予这两种器件以新的生命力。

本工作基于对上述两种快速器件接口的研究,从综合利用各自特点的思想出发,建立了电容定时、压控电流源反馈的 TD-TTL 组合弛豫振荡器的基元电路<sup>[1]</sup>。通过性能分析和应用研究,将该基元电路成功地发展为一种快速多用途脉冲电路。这种电路便于程控,在电路的功能上可方便地实现宽范围快沿脉冲的产生、整形、单稳、双稳、斜波产生、高倍比同步分频、释抑触发、门控脉冲及门控斜波产生、脉冲波形处理,以及在一定条件下 TD-TTL 双元逻辑的功能。

以隧道二极管为主的弛豫振荡器,值得提及的有,(1)传统的电感( $L$ )定时 TD 振荡器<sup>[2,7]</sup>;(2)电容定时电阻反馈的隧道管与晶体管组合振荡器<sup>[2]</sup>。应用中多采用前一种电路,优点是电路简单,重复频率的上限高。缺点是电感的数值与体积限制了振荡的低频端;改变电流调节周期的范围小;改变电感的程控不易。因此,作为定时振荡的通用性大受限制,只多见用于高频同步和单稳态触发器。第(2)种电路由于采用了无源电阻反馈,

\* 1979年9月15日收到一稿,1980年7月11日收到修订稿。

对隧道管的偏置电流未另加调节和控制,至使电学性能不佳,应用面很窄。虽然如此,该项工作<sup>[2]\*</sup>仍不失为电容定时 TD 驰豫振荡器的一种雏型。

本文的电路与上述两种电路相比,除振荡频率的上限和结构的简单程度上不及第一种振荡器外,它以快速多用途为特征,在克服前两种振荡器缺点的基础上,将 TD 驰豫振荡的工作推进到电容定时的 TD-TTL 组合驰豫振荡器。这样便使性能特殊的 TD 振荡器具有了定时振荡的通用性和灵活多变的电路功能。从而,大为丰富和改善了驰豫振荡器的性能。

## 二、关于 TD 与 TTL 的接口

隧道二极管的伏安特性和 TTL 与非门的电压传输特性<sup>[6]</sup> 分别如图 1 和图 2 所示。

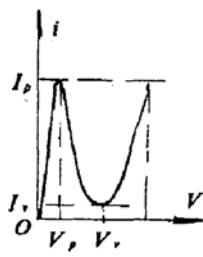


图 1 隧道二极管伏安特性

$V_p$ —峰点电压     $I_p$ —峰点电流  
 $V_g$ —谷点电压     $I_g$ —谷点电流

$V_T$ —TTL 与非门电压传输特性过渡区电压中心值。

$V_a, V_b$ —分别为过渡区两个边界电压值

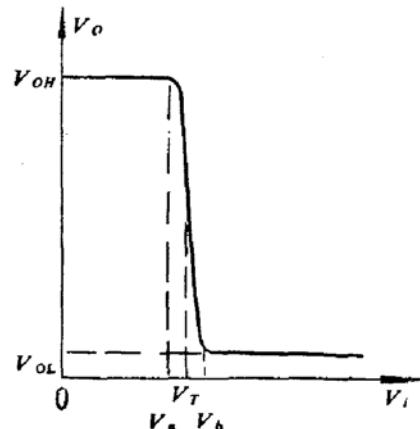


图 2 TTL 与非门输入输出特性

要使隧道二极管与 TTL 输入端达到接口所需的电平匹配,应满足以下关系:

$$V_x + (V_g + V_p)/2 = V_T. \quad (1)$$

$$(V_g - V_p) > (V_b - V_a). \quad (2)$$

式中:  $V_x$ —配置的电平值(或转移电平值)。

(1)式为电平转移条件,(2)式为逻辑摆幅条件。

由以上分析可见,适当设置  $V_x$ ,选择隧道二极管的类型(即伏安特性参数),掌握TTL 电压传输特性,对于实现这两种器件的接口是非常重要的。

为了形象地表示出上述关系式,现将图 1 与图 2 座标系的  $V_i$  及  $V$  轴重合,并将经电平配置后隧道二极管的伏安特性绘于  $iV$  平面,则构成图 3。

考虑到上述要求,选用 ST<sup>2</sup>L(肖特基二极管推位 TTL)或 TTL 高速与非门和

\* 见文献[2] pp. 211—212.

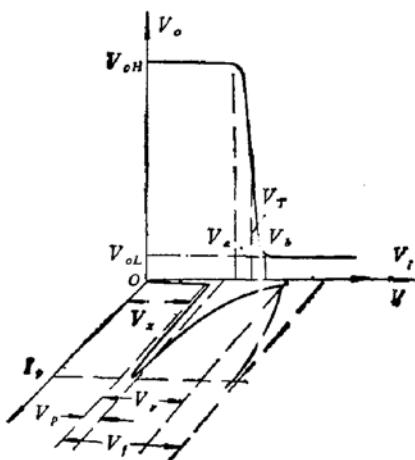


图3 表征 TD 与 TTL 与非门接口电平示意图

GaAs 隧道二极管相结合，并以 Ge、Si 两个二极管串联作电平配置，成功地实现了隧道二极管和 TTL 与非门之间接口电平的匹配，由于隧道二极管是具有负阻特性的两端器件，在实现逻辑接口时，为了避免双稳态，须有反馈措施。

两种快速器件接口的成功导至了综合应用 TD 与 TTL 各自优越性的可能性与现实性。

下面提出一种 TD-TTL 组合弛豫振荡器。

### 三、基本电路及工作原理

利用 TD-TTL 与非门的组合电路，增加定时电容和压控电流源组成的反馈电路，并对隧道二极管的偏置电流加以调节和利用，则构成图 4(a) 的基本弛豫振荡电路。

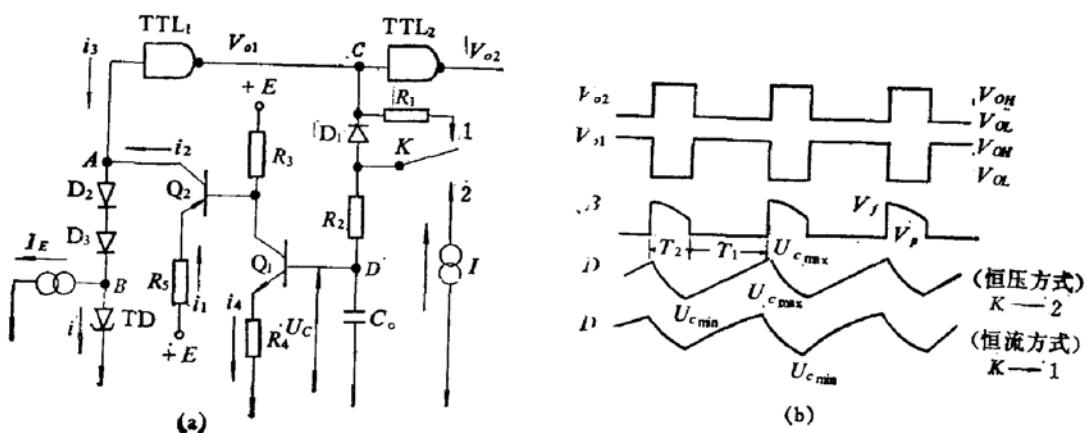


图4 TD-TTL弛豫振荡器电路图(a)及波形图(b).

该电路具体组成及工作原理如下。GaAs 隧道二极管 (TD);由晶体管 Q<sub>1</sub> 和 Q<sub>2</sub> 组成的压控电流源 (VCCS);两个 TTL 与非门电路 (NAND);一个定时电容 C<sub>0</sub>;两个二极管 D<sub>2</sub> 和 D<sub>3</sub> 用作电平转移。

近似恒流源 I<sub>E</sub> 用以偏置 D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub> 和 TD, 电容 C<sub>0</sub> 上的充电电压 u<sub>c</sub> 通过 VCCS (Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>) 提供 TD 的工作电流。

为了解释电路工作原理,假定隧道二极管最先处于低电压态,此时, TTL<sub>1</sub> 的输出为高电平  $V_{OH}$ ,于是电容  $C_0$  通过  $R_1$ ,  $R_2$  被  $V_{OH}$  充电,  $u_c$  增加, VCCS 的输出电流和 TD 的电流也随着增加,当电流  $i$  超过  $I_p$ (TD 的峰点电流)时, TD 翻转至高电压态,接着 TTL<sub>1</sub> 的输出跳变至低电平  $V_{OL}$ . 此后, D<sub>1</sub> 导通,电容  $C_0$  通过  $R_2$  和 D<sub>1</sub> 放电,对应着 VCCS 输出电流减少,当电流  $i$  低于  $I_v$ (TD 的谷点电流)时, TD 又跳变回低电压态,电路状态又发生相应的变化,过程将往复地进行着. 上述工作过程表明,在图 4(a) 的电路中发生了自激弛豫振荡.

为了改善充电电压波形的线性度,电路中还增加了恒流充电工作方式. 开关 K 置于“2”,即为此种情形.

#### 四、振荡周期的计算和实验结果

忽略器件的时间延迟和杂散电容,可以直接根据主要的过渡过程来计算振荡周期.

对于  $I = 0$  的情形,(即 K 置于“1”)电路工作在电压源充电方式.

我们可以作出在 TTL<sub>1</sub> 的输出处于高电平  $V_{OH}$  时对电容  $C_0$  的充电过程;以及 TTL<sub>1</sub> 的输出处于低电平  $V_{OL}$  时对电容  $C_0$  的放电过程的等效电路,分别示于图 5(a) 和 (b).

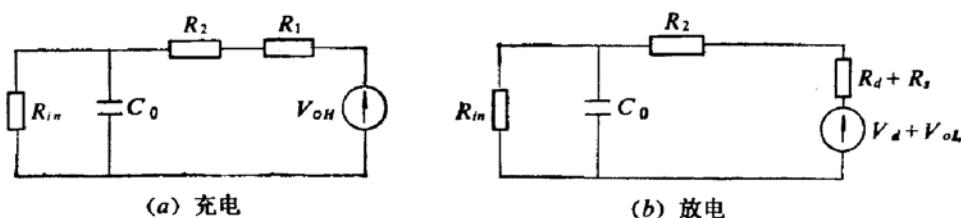


图 5 电容  $C_0$  充、放电期间的等效电路

为了得到更精确的计算结果,在充、放电期间均计及 Q<sub>1</sub> 的输入电阻.

$$R_{in} = \beta_1 \cdot R_4$$

式中,  $\beta_1 \gg 1$ .  $\beta_1$  是 Q<sub>1</sub> 的电流增益.

显然,在充电期间,  $u_c(0) = u_{cmin}$  和  $u_c(T_1) = u_{cmax}$ , 分别对应于  $C_0$  开始充电和充电结束时的电压值.

易于导出:

$$T_1 = R_1 C_0 \ln \frac{u_{cmin} - K_1 V_{OH}}{u_{cmax} - K_1 V_{OH}}, \quad (3)$$

式中

$$R_1 = \frac{R_{in}(R_1 + R_2)}{R_{in} + R_1 + R_2}, \quad K_1 = \frac{R_{in}}{R_1 + R_2 + R_{in}}.$$

同样,在放电期间, D<sub>1</sub> 导通,注意到 D<sub>1</sub> 的正向压降为  $V_d$ , 内阻为  $R_d$ , TTL<sub>1</sub> 的输出串联电阻为  $R_s$ , 于是可导出

$$T_2 = R_{11} C_0 \ln \frac{u_{cmax} - K_2(V_d + V_{OL})}{u_{cmin} - K_2(V_d + V_{OL})}, \quad (4)$$

式中

$$R_{II} = \frac{R_{in}(R_2 + R_d + R_s)}{R_{in} + R_2 + R_d + R_s}, \quad K_2 = \frac{R_{in}}{R_{in} + R_2 + R_s + R_d}.$$

$u_{C_{max}}$ —— $C_0$  放电的初始电压值,  $u_{C_{min}}$ —— $C_0$  放电终了的电压值。

显然, 振荡周期

$$\begin{aligned} T = T_1 + T_2 &= R_{in}C_0 \ln \frac{u_{C_{min}} - K_1 V_{OH}}{u_{C_{max}} - K_1 V_{OH}} \\ &\quad + R_{II}C_0 \ln \frac{u_{C_{max}} - K_2(V_d + V_{OL})}{u_{C_{min}} - K_2(V_d + V_{OL})}. \end{aligned} \quad (5)$$

当  $I \neq 0$  时(即  $K$  置于“2”时)电路处于恒流工作方式。类似地, 用图 6(a) 和(b) 的等效电路导出振荡周期  $T'$ 。

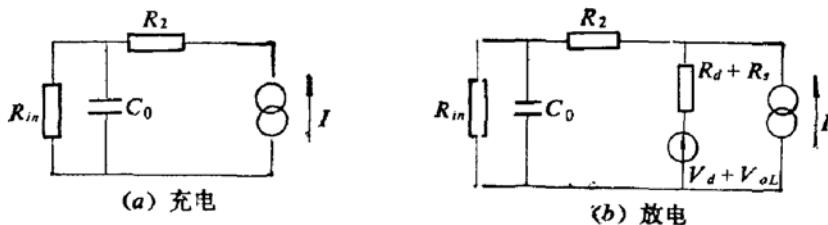


图 6 恒流充、放电等效电路图

$$\begin{aligned} T' = T'_1 + T'_2 &= R_{in}C_0 \ln \left( \frac{u_{C_{min}} - IR_{in}}{u_{C_{max}} - IR_{in}} \right) \\ &\quad + R_{II}C_0 \ln \frac{u_{C_{max}} - K_2[I(R_d + R_s) + (V_d + V_{OL})]}{u_{C_{min}} - K_2[I(R_d + R_s) + (V_d + V_{OL})]}. \end{aligned} \quad (6)$$

当  $R_{in} \rightarrow \infty$  时, 如  $Q_1$  采用场效应晶体管时, 由式(6)无法得到此时的表达式。可根据简单恒流充电导出

$$T'_{(R_{in} \rightarrow \infty)} = \frac{(u_{C_{max}} - u_{C_{min}})C_0}{I} \quad (6a)$$

### $u_{C_{max}}$ 和 $u_{C_{min}}$ 的计算

要从式(3)—(6)计算周期, 还有  $u_{C_{max}}$  和  $u_{C_{min}}$  是未知数, 我们必须求出它们与电路之间的关系。

由图 4 可得

$$u_C = V_{be_1} + \frac{R_4 R_5}{R_3} (i + I_B - i_3) + \frac{R_4}{R_3} V_{be_2}. \quad (7)$$

在 TD 处于低电压态, 电流增大期间, 因  $i \leq I_p$  时,  $i_3 \approx 0$ , 故

$$u_{C_{max}} = V_{be_1} + \frac{R_4 R_5}{R_3} (I_p + I_E - i_3) + \frac{R_4}{R_3} V_{be_2}. \quad (7a)$$

在 TD 处于高电压态, 电流减少期间, 因  $i \geq I_v$  时,  $i_3 \approx 0$ , 故

$$u_{C_{min}} = V_{be_1} + \frac{R_4 R_5}{R_3} (I_v + I_E) + \frac{R_4}{R_3} V_{be_2}. \quad (7b)$$

式中:  $i_3$ ——TTL<sub>1</sub> 输入端电流,  $V_{be_1}$ —— $Q_1$  发射结压降,  $V_{be_2}$ —— $Q_2$  发射结压降。

这样, 从(7)式可得到  $u_C$  与电路参数之间的普遍关系, 再由隧道二极管的特性参数从

(7a)和(7b)求出  $u_{C_{\max}}$  和  $u_{C_{\min}}$ .

## 实验结果

为用于此实验, 参照上述各公式, 拟出了图 4 电路中各零件的具体数值及型号, 现分列如下:

TTL 与非门——高速 ST<sup>2</sup>L,  
 $Q_1$  (NPN 晶体管)——3DG19E.  
 $Q_2$  (PNP 晶体管)——3CK3H,  
TD (砷化镓隧道二极管)——2ESA (或 B)5,  
 $D_1$  (硅二极管)——EK<sub>1</sub>,  
 $D_2$  (锗二极管)——2AK1,  
 $R_3 = R_4$  ——  $510\Omega$   $R_5$  ——  $100\Omega$ ,  
 $R_2$  ——  $1K\Omega$ ;  $100\Omega$  (取两个值作两组数据),  
 $R_1$  —— ( $100\Omega$ — $2K\Omega$ ) 此实验中不用,  
 $I$  ——  $0.16\text{mA}$  至  $1.5\text{mA}$  连续可变,  
 $I_E$  ——  $2\text{mA}$  至  $12\text{mA}$  连续可变,  
 $C_0$  ——  $0.01\mu F$ .

实验内容及目的如下:

- (1) 在 TD-TTL 振荡器处于恒流工作方式, 测量振荡周期、脉冲宽度与恒流源电流之间的关系. 取  $R_2 = 1K\Omega$  及  $100\Omega$  测两组数据, 并与(6)式的计算值比较.
- (2) 在电感( $L$ )定时 TD 振荡器处于线性偏置条件下, 测量周期、脉宽与偏置电流  $I$  的关系.
- (3) 分析和比较第(1)(2)两项实验结果.
- (4) 对第(1)项实验, 作速度特性测量.

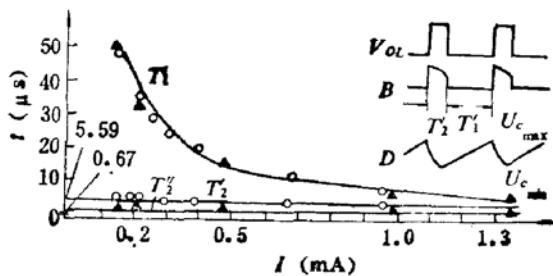


图 7 TD-TTL 振荡器周期、脉宽与电流  $I$  的关系

为了说明 TD-TTL 驰豫振荡器在振荡性能方面的特点, 同时作了电感定时 TD 驰豫振荡器的实验数据, 以便比较. 关于后者的工作原理可参阅[2,7], 在此不赘述.

由图 7 可以看出, (6)式的计算结果与实验结果符合甚好. 图 7 与图 8 比较, 显然它们的振荡周期都能由电流( $I$ )调节. 但是, 前者周期的变化远大于后者. 同时, 在周期变化时, 脉冲宽度变化甚微\*. 联系到隧道二极管优越的同步性能, TD-TTL 振荡器的这

\* 由(6)式中  $T_2'$  可见, 该项受电流( $I$ )的影响甚小.

一特点，在同步调节及自动跟踪系统中将甚为有用。实验已经表明，这种振荡器与同频段的电感( $L$ )定时 TD 振荡器相比，在同步能力、分频倍比等方面都有显著的优点。

#### 关于速度特性及最高振荡频率

用普通印制电路板作  $50\Omega$  微带线，并以  $50\Omega$  电阻作终端匹配，测隧道二极管的电压输出波形，其跳变时间可达  $10^{-1}\text{ns}$  量级。

电路中， $\text{ST}^2\text{L}$  在如此条件的隧道二极管作为脉冲源的驱动下，其速度特性实测为：

$$t_{PDL} = 1.2\text{ns}, t_{PDH} = 1.0\text{ns}$$

$$t_{THL} = 2.6\text{ns}, t_{TLH} = 1.5\text{ns}$$

其中，

$t_{PDL}$ ——输出自高态到低态的传输延迟时间，以输入输出脉冲前沿中点计；

$t_{PDH}$ ——输出自低态到高态的传输延迟时间，以输入输出脉冲后沿中点计；

$t_{THL}$ ——开启时间(10%—90% 所需时间)；

$t_{TLH}$ ——关闭时间(90%—10% 所需时间)。

在脉冲波形的矩形度较好的条件下，实验电路的最高重复频率可达  $17\text{MHz}$ 。若对压控电流源的频响和布线技术加以改善，重复频率可进一步提高。

上述各项实验的细节可参阅文献[1]。

## 五、基元电路的性能特点及应用考虑

根据电路的特点作性能分析，可将图 4 的电路发展成为一种具有多种功能的基元电路，其特点可概括地指出以下几个方面。

(1) 从逻辑电路着眼，本工作实现了 TD(GaAs) 与 TTL 之间的接口。因此，可以构成高速组合逻辑电路。

(2) 充分发挥 TD 的同步、分频、整形及触发的功能，加之电容定时的长处，电路的输入信号的适应范围可以宽到从微波至极低频。

(3) 由于电路的结构及器件的特点，该电路宜作为基元电路使用，可方便地实现快沿矩形脉冲的产生、延迟、单稳、双稳、整形、分频、释抑、脉宽检测、斜波产生等基本电路的类型。上述电路的主要时间参数能够方便地在甚宽范围调节。

(4) 由于具有 TTL 的输入输出功能，又有定时电容接地的特点，基元电路与 TTL 系统互通、兼容，便于程控。

(5) 若脉冲信号仅取自隧道二极管，则可构成高速时域脉冲发生器，以用于时域测量系统。

(6) 由于所用器件特殊，因而具有特殊性能的内在因素，其特点为一般单片集成所不

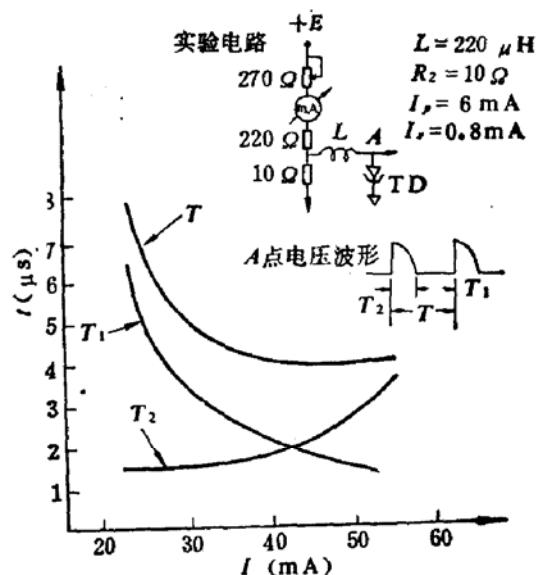


图 8 电感( $L$ )定时 TD 振荡器周期、脉宽与电流  $I$  的关系

及,又有多功能的开发,使之宜于以基元电路方式作混合集成,或在印制电路上组装.

## 六、应用电路例

根据前节的性能分析,进行了应用研究,现将部分结果提供如下.为了方便,先规定基元电路各引出端的符号,然后以方框示于图9.下述各例,都使 $K_1$ 置于“2”,即电路处于恒流充电方式工作.

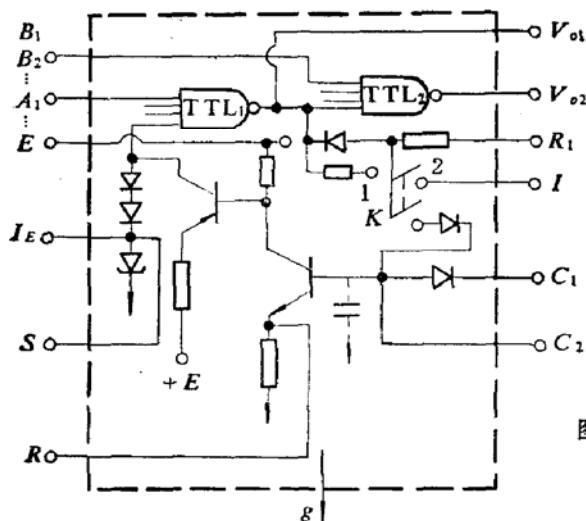


图9 TD-TTL 振荡器基元电路方框表示图

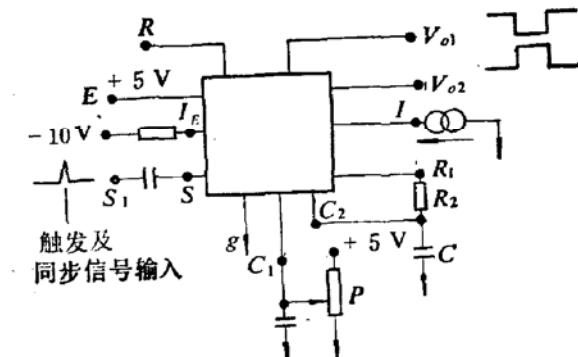


图10 脉冲发生、斜波产生、同步分频及单稳态触发器  
图中  $V_{o1}, V_{o2}$ : 脉冲和同步分频信号输出;  
 $S_1 - S$ : 同步及触发信号输入;  
 $R$ : 斜波输出;  
 $R_1, C$ : 脉宽调节;  
 $P$ : 自激和单稳转换调节.

### 例1 脉冲自激振荡、斜波产生、同步分频和单稳触发器

具有上述功能的电路接法示于图10.

调节电流  $I$ , 可方便地调节输出脉冲的周期和斜波的斜率.

改变电容  $C$ , 可以改变脉冲的重复频率, 易于做到从低于 1 Hz 至 15Hz 的脉冲源. 在此范围, 电路具有甚优的同步分频效果. 在振荡频率的低端其同步分频比的范围甚大, 可达  $10^6$  或更高, 当电路振荡于 10MHz 时, 其同步信号频率可超过 1 GHz.

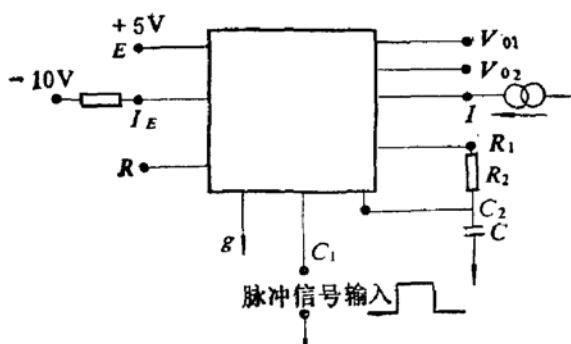


图11  $V_{o1}, V_{o2}$ : 例2诸功能脉冲信号输出  
 $C_1$ : 脉宽鉴别及被调宽脉冲输入  
 $R$ : 门控斜波输出, 脉冲的时间-高度转换输出  
 $I$ : 各功能主要时间参数调节

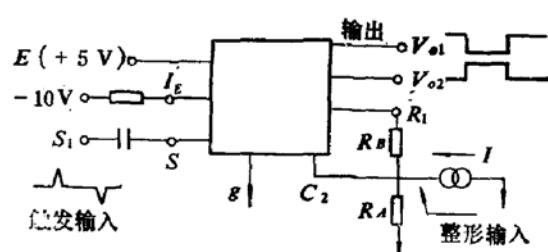


图12 双稳及整形电路  
 $V_{o1}, V_{o2}$ : 双稳或整形后快沿脉冲输出  
 $S_1 - S$ : 触发输入  
 $C_2$ : 整形慢信号输入

调节电位器  $P$ , 可使该电路方便地在自激振荡和单稳态之间转换。

**例2** 脉冲延迟、脉宽鉴别、脉冲宽度解调、门控斜波产生和门控脉冲链产生具有上述诸功能的电路接法示于图

11.

**例3** 整形及双稳态触发器

电路联结如图 12.

**例4** 触发释抑及计数分频

电路联结如图 13.

该电路综合利用了单稳、自激、同步分频以及 TD 与 TTL 的组合逻辑功能。它使触发分频单元化。调节电位器  $P$  使 TD (在方框中) 处于同步状态,  $TD_1$  处于触发状态从而实现自动触发分频; 使 TD 及  $TD_1$  都处于触发状态, 则电路可方便地转变为释抑及计数分频电路。

实验表明, 在 20MHz 以内, 自动触发分频是不难实现的。

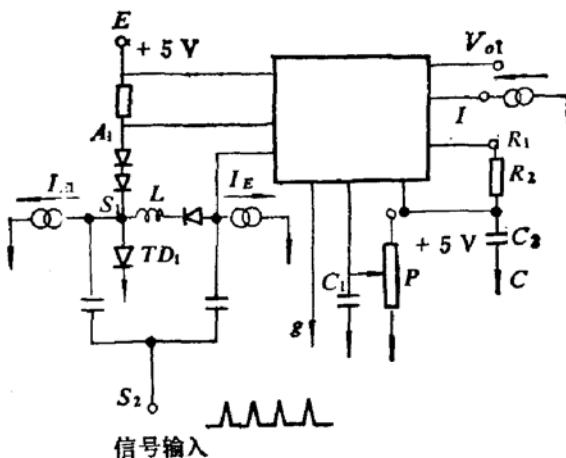


图 13 触发分频单元电路原理图

$S_1$ : 信号输入

$V_{01}, V_{02}$ : 释抑或计数分频输出

$I, C_1, C_2$ : 控制释抑的低频周期调节

$P$ : 触发分频、自动触发分频及计数分频调节。

## 七、结语

本文从隧道二极管与 TTL 的接口研究出发, 取得了 GaAs 隧道二极管与高速 TTL 与非门之间接口电平匹配的结果, 又将这种 TD-TTL 组合电路加上压控有源反馈网络, 构成了一种新型的脉冲振荡器。实验证明了电路的构想和分析是基本正确的。通过性能分析进而将它发展成了快速多用途的基本脉冲电路。应用研究和实验分析已经表明, 它使性能特殊的 TD 振荡器具有了定时振荡的通用性和灵活多变的电路功能。预计, 在快速脉冲的基本电路、混合集成以及程控多用途仪器方面将发生影响。

电路的理论工作, 除原理的定性解释外, 本文仅就弛豫过程作了线性近似分析, 这是研究脉冲电路的常用方法。分析的表达式着眼于比较普遍的情形, 在各种特定的情况下, 易于简化, 适于工程设计。

关于分析工作的发展方面, 此电路曾引起国内非线性振动理论学者的兴趣和关注, 笔者与虞厥邦、易明锐同志合作的工作已经报道<sup>[8]</sup>。现将提出此振荡器的工作<sup>[11]</sup>经压缩整理后公开发表, 以便映证参考, 有利于更广泛地交流。

在开展工作的过程中, 曾得到庞秉涓、许善兴同志的帮助, 南余、谢志国同志的关心和支持, 并与李怡群、周霆同志进行过有益的讨论, 谨致谢意。

## 参 考 文 献

- [1] 邓兆扬, 半导体通讯, 1(1), 1-14 (1979).
- [2] S. P. Gentile, Basic Theory and Application of Tunnel Diodes, D. Van Nostrand Co, Inc.

(1962).

- [3] 伏见和郎, 电气通讯学会杂志, 47, No. 4, 115—123 (1964).
- [4] Z. C. Tan, *Proc. IEEE*, 60, 1241—1242 (1972).
- [5] Z. C. Tan, *Proc. IEEE*, 61, 489—490 (1973).
- [6] J. A. Coekin, *High-Speed Pulse Techniques*, Oxford, Pergamon Pr. 140—149, 156—167 (1975).
- [7] Sowa, *toule, Special Semiconductor Devices*, Holt Rinehart and Winston. Inc. (1968).
- [8] Yu Juebang, Deng Zhaoyang, Yi Mingguang, 1980 IEEE ISCAS. Proc. 1047—1051.

## A Fast Versatile TD-TTL Relaxation Oscillator

Deng Zhaoyang

(Institute of Semiconductors, Chinese Academy of Sciences)

### Abstract

This paper gives a composite TD-TTL relaxation oscillator circuit. This circuit makes a comprehensive use of the features of two fast devices, tunnel diode and fast TTL, and constitutes a feed-back network by means of voltage-controlled current source and timing capacitor. Thus it presents a series of excellent electrical performances in the field of pulse circuit, such as good waveform, high speed, wideband frequency coverage, and convenience for programming control as well as versatility, etc.

This paper also presents analyses and studies on TD and TTL interface configuration and on the oscillating period of the elementary circuit. It gives illustrations of several fast versatile circuits, and lists the performance features and application prospects of the elementary circuit.