

脉冲电路 在电信方面的应用

人 民 邮 电 出 版 社

673

73.7673

106

脉冲电路在电信方面的应用



内 容 简 介

本书重点结合电子交换机、电报机械等通信设备中实际应用的电路，通俗地介绍晶体管的开关特性、门电路、反相器、双稳态触发器、单稳态触发器、多谐振荡器及时延电路等单元电路。

脉冲电路在电信方面的应用

人民邮电出版社编辑出版
北京东长安街27号
河北省邮电印刷厂印刷
新华书店发行

开本: 787×1092 1/32 1976年5月第一版
印张: 2 28/32 页数46 1976年5月河北第一次印刷
字数: 64千字 印数 1—44,000 册

统一书号: 15045·总2100—有536

定价: 0.23 元

出版说明

在批林批孔运动的推动下，邮电部门学大庆的运动正在各地蓬勃开展。在技术革新和技术改造中，晶体管脉冲技术正被大量地应用到邮电通信领域，例如：脉冲编码多路通信、电子自动交换技术、数据传输、半电子电传机、电子发报机、邮政自动化、机械化及通信设备的自动测试等方面。从事这方面设计、安装及维护工作的人员迫切需要有关的参考读物。我们将有关杂志上“晶体管脉冲电路在电信上的应用”讲座中刊载的各篇文章以及尚未刊载的文章汇编成《脉冲电路在电信方面的应用》一书，以满足读者的要求。

书中首先介绍晶体管开关特性和 RC 充放电回路，然后重点谈通信设备(主要是电子交换机和电传机)中最常用的几种单元电路，包括门电路、反相器、双稳态触发器、单稳态触发器、多谐振荡器及时延电路等，供各地邮电职工参考。

本书的执笔人有昆明市电信局屠关煜、俞经难同志和北京长途电信局有线厂王庆荣同志。

1975年10月

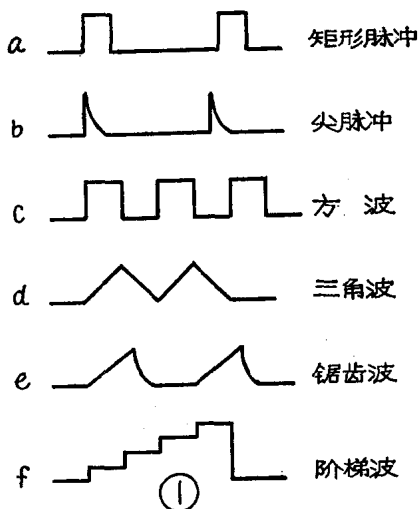
目 录

晶体管的开关特性.....	(1)
二极管门电路.....	(13)
反相器.....	(29)
双稳态触发电路.....	(44)
单稳态触发器和无稳态触发器.....	(59)
时延电路.....	(70)

晶体管的开关特性

脉冲技术是近代电子技术中一项重要的基础技术。脉冲技术所包含的内容是比较广泛的，综合起来讲，它主要是研究脉冲的产生、变换、放大及测量等，并对这些电路进行设计与计算。那么什么叫脉冲呢？脉冲从字面上理解，具有脉动与短促的意思，通常是指作用时间极短的电压或电流。后来，推广到把一切非正弦波形，都统称之为脉冲。常见的各种脉冲波形如图①所示。

脉冲的整个波形是由若干暂态过程段所组成的，获得暂态过程的电路必须包含两个部分：一个是“开关”，用以“接通”和“断开”电路，从而改变电路的稳定状态，使之产生暂态过程；另一个是惰性电路，用来控制暂态过程的快慢和形状。本书所介绍的脉冲电路的



开关元件采用晶体管，惰性电路采用由电阻 R 、电容 C 等构成的阻容充放电回路(以后简称 RC 电路)。因此，了解电容器的充、放电规律和晶体管的开关特性是学习脉冲电路的基础，下面我们就分别介绍一下晶体管的开关特性和 RC 充放电回路。

一、晶体管为什么具有开关特性

1. 机械开关和晶体管开关

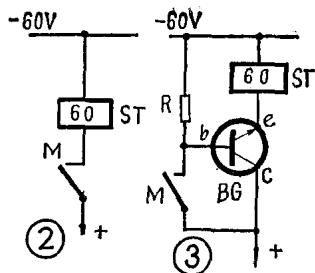
在通信设备中，大量地使用着各种机械式有触点开关，用以接通或切断某一部分电路。象常用的继电器和纵横制接线器等，它们都在设备中起着“开”和“关”的作用。

使用机械式有触点开关作为开关元件的主要缺点在于它的机械惯性。因此，这些触点的动作时间比较长。例如普通继电器每秒最多只能动作一、二百次，目前动作速度最快的笛簧继电器也只能动作近千次。因此限制了它在高速开关方面的应用。另外，在机械式有触点开关闭合时，由于簧片抖动，还会引起火花，它不但会损伤接点，缩短使用寿命，而且在通信回路中还会产生干扰和杂音，降低通信质量。

晶体管出现以后，它与电子管比较，在性能上具有更多的优点。因此晶体管电子开关电路(无触点开关电路)在工农业和国防建设等各方面的应用得到了迅速的发展。

事物总是一分为二的，除了晶体管参数离散性较大和受环境温度影响较严重等缺点外，晶体管开关与机械开关相比，它的输出功率一般比较小，开关落差系数还不够理想。所谓落差系数是指开关在“切断”状态时与“接通”状态时的电阻比值。落差系数越大越好。电子开关的落差系数一般为 $10^5 \sim 10^7$ ，而机械式接点的落差系数可达 10^{10} 。但是，只要我们掌握了开关电路的规律，正确、合理地选择和使用晶体管，晶体管开关特性的上述缺点是可以避免或克服的，电路中的要求也是可以得到满足的。

图②是步进制自动电话交换机选组器中常用的上升、回转电磁铁的脉冲驱动电路， M 是脉冲继电器 M 的动合接点，根据脉冲继电器 M 的动作来驱动电磁铁 ST ，使选组器上升到所需的层数，由于电磁铁所需驱动电流较大(需1安左右)，其反向电势加在脉冲接点 M 上，从而在脉冲接点上产生严重的电火花，使脉冲接点严重烧损，造成错号和串话障碍。



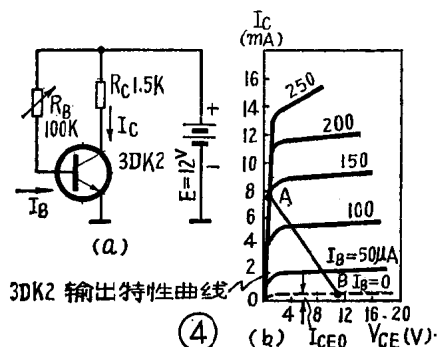
为了解决这个问题，我们可以采用一个晶体管开关来代替原来的机械接点开关(见图③)。当脉冲接点 M 断开时，晶体管 BG 因基极没有正向偏压而处于接近截止状态，发射极 e 输出电流极小，电磁铁 ST 不能动作，相当于开关处于“切断”状态。当脉冲继电器 M 动作而使 M 接点关合时，基极 b 上就有正向偏压而导通，经过放大作用，发射极就有1安左右的输出电流，使电磁铁 ST 随脉冲而动作。因为电磁铁 ST 需要的驱动电流较大，图③中的晶体管 BG 需选用较大功率的 $n-p-n$ 型三极管，偏置电阻 R 则根据采用的大功率晶体管的有关参数来选定。

从图③中可以看出晶体管开关具有与普通开关相似的性质，它也能象开关一样接通或断开电路。当晶体管处在导通状态时，它呈现很小的电阻使电路导通，在晶体管截止时，它又能呈现出极大的电阻将电路阻断，这样就相当于一个机械接点在动作。所不同的地方，只是机械开关开通时，开关的接触电阻要比晶体管导通时的电阻小得多(晶体管导通时的电阻称为它的开关内阻，一般约为二至十欧)。机械开关打开时，开关电阻比晶体管截止时所呈现的电阻要大得多(晶体管截止时所呈现的电阻称为它的开关漏电阻一般约数十兆欧到数百

兆欧)。

2. 晶体管开关特性

图④a是一个晶体管放大电路，图④b是晶体管3DK2的



输出特性曲线，从放大电路的基本知识可以知道，在电源电压给定以后，放大器的工作状态(工作点)即由负载电阻 R_C 和所供偏流 I_B 来确定。直线 AB 称为负载线，放大器的工作点即位于

于 AB 线上。当我们向发射结注入 150 微安正向电流时，它工作于 A 点。此时 $I_C = 7.9$ 毫安，如再继续加大 I_B ，集电极电流 I_C 不再增大，仍保持原值，这种现象称为晶体管达到饱和状态。在饱和状态时的晶体管集电极——发射极电压降称为晶体管的集电极——发射极饱和压降，用 V_{CES} 表示。 I_B 再增大，饱和程度更深，管子将处于过饱和状态。当 I_B 从 150 微安逐渐减小时，工作点逐渐向右移动进入放大区。当基极开路时， $I_B = 0$ ，放大器工作于 B 点，曲线 OB 以下称为晶体管的截止区，当晶体管工作在截止区时，流过晶体管的电流，等于晶体管的 I_{CE0} ，如果我们给晶体管发射结以反偏置，则流过晶体管的电流还可以继续减小，说明晶体管截止得更好了。

晶体管脉冲电路是以晶体管开关特性为基础的，晶体管不是工作在饱和状态就是工作在截止状态，两种状态在转换时，只是瞬间经过放大区而已。为了便于分析脉冲电路的工作原理

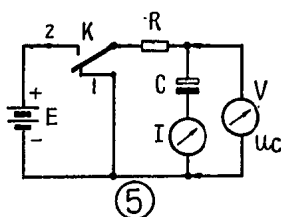
和估算元件数值，通常把饱和管的 e 、 b 、 c 三极看成一点，而把截止管的 e 、 b 、 c 三极看成开路，这种概念在今后经常会用到。

二、RC充放电回路

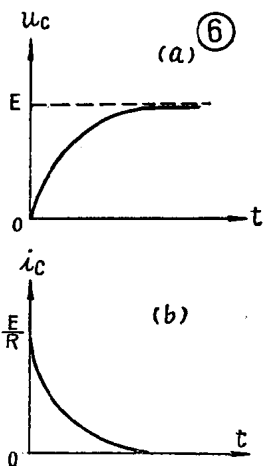
1. RC充放电回路的规律

当我们在使用万用表检查正常的大容量电解电容器好坏时，开始用万用表接触电容器两端时，我们发现表针会先向零欧方向急速摆动，然后再向电阻值较大的方向慢慢移动，移动的规律是起先较快，越来越慢直到停止。这个现象就是电容器充电。那么电容器充电究竟是怎么回事呢？它为什么有这种先快后慢的规律呢？

图⑤是电容器充放电过程的一个实验电路，开关 K 先放在



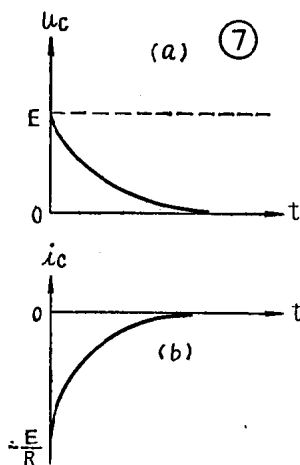
1 的位置，电容器两端没有电压。现在将开关 K 扳到 2 的位置。此时电压表 V 与电流表 I 均有摆动，电压表指针的变化规律如图⑥ a 所示，电流表指针有一次瞬间大幅度摆动，然后恢复到



零(如图⑥b所示)。

在 K 倒向2的瞬间 $t=0$ ，因为此时电容器还没有电荷，所以也就没有电压， $u_c=0$ ，电容器可以看作短路，此时产生的电流为 $i_c=\frac{E}{R}$ 。当电荷向电容器极板上积累时，电压 u_c 就很快升高，因此，电阻 R 两端的电压降低了，电流也就减少，这时的变化速度还是较快的。当极板上的电荷积累多了，其 u_c 也就上升较高，阻挡了电荷的运动，使电流减小，反过来使 u_c 的上升越来越慢。当 u_c 上升到 E 时，电流 $i_c=0$ ，充电停止。

在充电完毕后，将图⑤中 K 置于1位置，这时电容器极板上的电荷就通过电阻 R 释放，这就是放电过程。同样可将电

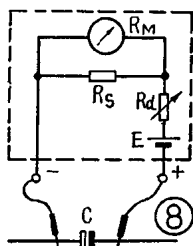


压、电流与时间的关系画成曲线，如图⑦所示。当 K 置于1的瞬间 $t=0$ ，电容器极板上的电荷尚未释放，故 $u_c=E$ ，电压最高，回路中电流也最大，其数值为 $\frac{E}{R}$ ，因方向与充电电流方向相反，故用负值表示，画在横坐标轴的下方。当极板上电荷逐渐减少时，端电压 u_c 也就降低，电流 i_c 也减小，电荷释放完毕后，放电电流 $i_c=0$ ，放电过程停止。

RC 回路中充放电时间的快慢，常用时间常数 τ 来表示， $\tau=R \times C$ 。式中 R 的单位为欧， C 的单位用法拉，则 τ 的单位为秒。在通信中常用毫秒、微秒来计算时间，1秒=1000毫秒，1毫秒=1000微秒。回路的时间常数 τ 越大，表示 R 越大或 C 越大。 R 越大，使充放电电流变小，充放电过程变慢。 C 越大，表示极板面积大，用同样电压

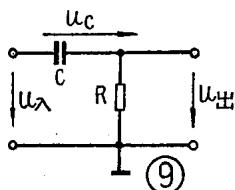
去充电时，大电容需要更多的电荷才能充足，因此充电过程也就延长了。反过来， τ 越小，充放电过程就越快。

知道了 RC 电路的充放电规律后，再分析用万用表检查电容器的现象就容易了，原来是万用表放在电阻档时，表内是电池与电阻的串联电路，它与被测电容器一起构成了 RC 充电回路（见图⑧），图中 R_d 为调零电阻， R_s 为分流电阻， R_M 为电流表表头内阻， C 为被测电容器。在刚接上 C 的瞬间 i_c 最大，使电流表针向右急速摆动，然后随着 u_c 的增大而使 i_c 逐渐变小直到停止。



2. 微分电路

微分电路是将矩形脉冲变换为尖脉冲的电路。如在电子自动电话交换机中，用户拨号盘发出的矩形脉冲，在整形以后就是通过微分电路的变换产生尖脉冲，然后用尖脉冲去触发计数器中的双稳态电路，将被叫用户号码记录下来的。



微分电路见图⑨。图中三个电压的关系是： $u_\lambda = u_c + u_\text{出}$ ， $\therefore u_\text{出} = u_\lambda - u_c$ ，实际上它就是一种 RC 电路，在外加电压作用下，存在着充放电过程。现在假定输入电压 u_λ 是一个理想的矩形脉冲（见图⑩a），且 τ 较小。当 $t = t_1$ 时，输入电压 u_λ 突然由零跳变到 E ，由于电容器极板上还没有电荷，所以 $u_c = 0$ ， C 好象短路一样，输入电压完全降在电阻 R 上，因此 $u_\text{出} = E$ 。然后电容器被充电， u_c 逐渐升高，其变化规律如图⑥a 所示。输出电压 $u_\text{出}$ 逐渐下降直至零。这样就在电阻 R 上产生

了一个向上的尖脉冲，即正向尖脉冲。

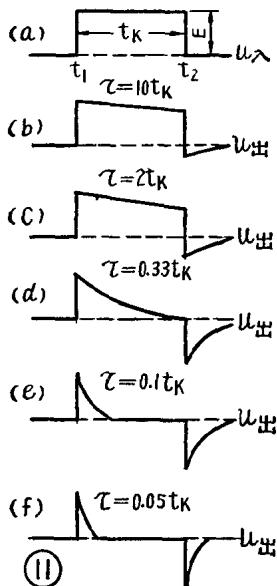
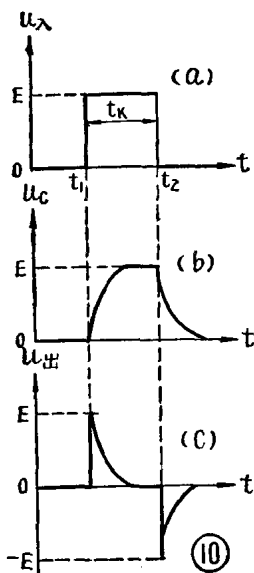
当 $t = t_2$ 时，输入电压突然由 E 下降到零，相当于此时输入端突然短路，因此时电容 C 上的电荷尚未释放，故电容器两端电压不变，仍保持 $u_c = E$ ，输出电压 $u_{\text{出}} = u_{\text{入}} - u_c = 0 - E = -E$ 。表示此时的输出电压为 E ，但方向相反。也可以这样来理解，我们将充足电荷的电容当作一个具有电压为 E 的一个电池，当输入端短路时，电容器正极接地（相当于电池正极接地），其另一极板（负极）接电阻 R ，所以 R 两端的电压等于 $-E$ ，即 $u_{\text{出}} = -E$ 。

然后由于电容器通过电阻 R 放电，使输出电压很快回升至零，这样便形成了一个向下的尖脉冲，即负向尖脉冲。

由上述讨论可以看出，微分电路的输出电压大小是由输入电压变化速度来决定的，当输入电压的变化很快时，输出电压就大；当输入电压不变时，输出电压为零。这样能反映出变化快慢的电路，符合数学中的微分概念，故称它为微分电路。

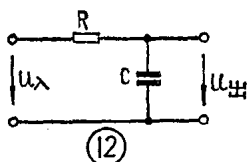
不是所有这种 RC 电路都能产生尖脉冲的。这要由两个条件来确定，一个是矩形脉冲 t_1 至 t_2 的时间间隔 t_K ，另一个是 RC 电路的时间常数 τ （见图⑪）。图⑪a是输入电压波形， $b \sim f$ 是不同的 τ 时的输出波形。显然，若 τ 很大，即充放电时间很长，在 t_1 到 t_2 时间内电容器尚未充满（如图⑪b、c），电容器放电时的电压就比较低，而且也不是从零开始向下突出，故不能产生尖脉冲，从而失去了它的微分作用。所以微分电路必须满足下列条件，即 $\tau \ll t_K$ 。

一般认为在 $\tau = \frac{1}{3} t_K$ （见图⑪d）是构成微分电路的临界条件，但还不能作为微分电路应用。当 $\tau \gg t_K$ 时， RC 电路实际上就是放大器的 RC 耦合电路了（见图⑪b）。

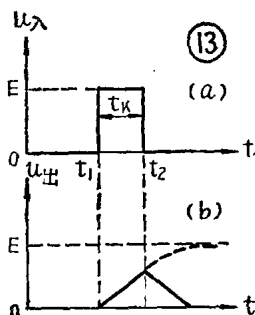


3. 积分电路

积分电路也是一种脉冲波形变换电路，它可将矩形脉冲变换成近似的三角形波。锯齿波发生器就属于此种电路。另外，积分电路被大量应用在通信设备的迟延电路中，使信号产生一定的时间延迟。图⑩就是由电阻与电容组成的积分的电路。积分电路与微分电路比较。除了 RC 的位置不同外，积分电路还要求它的时间常数 $\tau \gg t_K$ ，当输入矩形脉冲时，输入电压在 $t = t_1$ 时突然由 0 上升到 E （见图⑩a），对电容 C 充电，但由于时间常数 $\tau \gg t_K$ ，因此在脉冲结束时（ $t = t_2$ ）， $u_{出}$ 只上升了一部分，这时输入电压已降到零，输入端入地，电容经 R 放电，于是曲线开始下降（见图⑩b），这时输出电压变为三角



形波。由于上升部分和下降部分都只是充放电曲线的起始一小段，它近似于直线，所以可以认为波形是线性的三角形波。



三、脉冲电路中晶体管的选择

对于脉冲电路中晶体管的选择，应考虑以下几个方面：

1. 选取具有较小的共发射极反向饱和降压 V_{CES} 的晶体管。使管子工作在导通状态时，具有较小的电压降（即开关内阻 $R_{内}$ 小）。这样，即可使管子工作时所承受的功耗较小，又能提高电路抗干扰能力。锗管的 V_{CES} 比硅管小。例如以晶体管 3AX22 与 3DG8 比较，3AX22 的 $V_{CES} < 0.2$ 伏，而 3DG8 的 $V_{CES} < 0.6$ 伏（ $I_C = 10$ 毫安， $V_C = 12$ 伏）。

2. 选取基极开路时，具有较小的集电极—发射极反向截止电流 I_{CEO} 的管子。使管子工作在截止状态时只有很小的漏电流（开关漏阻 $R_{漏}$ 极大），以减少环境温度对它的影响，而且还可以提高输出电压幅度。硅管的 I_{CEO} 比锗管小。例如晶体管 3DG8 的 $I_{CEO} \leq 0.1$ 微安，3AX22 的 $I_{CEO} \leq 300$ 微安。

3. 选取适当的特征频率 f_T 。脉冲电路均工作在非线性状态，其波形具有极丰富的高次谐波，所以考虑其使用频率时，不能只考虑脉冲的重复频率，而必须考虑到更高的频率。例如

考虑到重复频率的 10—20 倍，甚至更高。因此，低频管（如 3AX22）一般只能用在几十千赫以下的电路中。在重复频率较高时，应采用高频管，最好是开关管。

4. 选取适当的晶体管的集电极最大允许电流 I_{CM} 。当流过管子的电流 $I_C = I_{CM}$ 时，晶体管电流放大系数已下降为 h_{FE} 的三分之一，或功耗达到规定极限，这是不允许的。在脉冲电路中，往往用晶体管来驱动较大电流的负载，例如指示灯，继电器、电磁铁等，它们的电流可能达数十甚至数百毫安，在考虑时就应使晶体管的实际工作电流小于 I_{CM} ，一般取 $I_C = \frac{1}{2} I_{CM}$ ，甚至更小些。例如 6 伏 0.1 安指示灯需要用晶体管 3DG12 来带动（ $I_{CM} = 300$ 毫安）。

5. 晶体管集电极最大允许耗散功率 P_{CM} 不超过规定值。在脉冲电路中，晶体管均工作在开关状态，但在计算集电极功耗时，不能只考虑管子处在导通或截止时的功耗，而应将过渡状态的功耗考虑进去，因为过渡状态的功耗是大于导通或截止状态时的功耗的。开关电路晶体管实际功耗与输入信号波形和输入信号的重复频率有关。尽量不要使负载线与最大功耗曲线有交点。

6. 选取适当的晶体管共发射极直流电流放大系数 h_{FE} 。 h_{FE} 太大， I_{CB0} 受温度影响大，同时给今后更换管子带来困难； h_{FE} 太小，则需要注入的电流很大。一般希望尽量选用 h_{FE} 从 30 至 80 的管子。

7. 选取足够的集电极—发射极反向击穿电压 BV_{CE0} 。当管子截止时，电源电压全部加到晶体管集电极—发射极，若 u_{CE} 超过规定的 BV_{CE0} 时，晶体管将失去控制作用，直至烧毁。通常使 BV_{CE0} 为电源电压的 2 倍或更多，以保证管子安全工作。

以上各点供选择开关电路晶体管型号时参考。具体考虑

时，还必须根据当地的实际情况，本着艰苦奋斗、勤俭建国的原则，充分利用现有旧材料和积压物资，同时也考虑到材料的来源，避免使用一些特殊型号的管子。另外管子的价格也是一个应该考虑的因素，在技术条件可以满足要求的情况下，应选取价格较低的管子。例如使用开关管 $3DK2$ 时，若开关速度要求不很高，则可选用 $3DK2A$ 而不用 $3DK2B$ ，因为前者的价格仅为后者的三分之一左右。