

737673
JCY
1

259291

晶体管脉冲与数字电路

上册

北京无线电学校

金长义 编



国防工业出版社



73

晶体管脉冲与数字电路

(上册)

北京无线电学校

金长义 编

国防工业出版社

**晶体管脉冲与数字电路
(上册)**

北京无线电学校 编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

解放军七二二六工厂印刷 内部发行

•
787×1092¹/₁₆ 印张21¹/₄ 510千字

1979 年第一版 1979 年 11 月第一次印刷 印数 1—33,000 册

统一书号: N15034 (四教 14) 定价 1.70 元

前 言

本书系中等专业学校工科电子类整机专业统编教材之一。

本书对于常用基本电路的讨论，包括定性分析、必要的计算与实验调试三个方面。各章均有“复习、思考、练习题”。书末附有实验指导书。全部教学时数约为 240 学时，上、下册各占 120 学时。各校可根据自己的教学要求对内容进行取舍。

本书上册由北京无线电学校编写，下册由天津仪表无线电工业学校编写。全书由桂林无线电学校邱殷平同志主审。在编审过程中，得到了各兄弟学校、工厂和本校许多同志的大力支持与帮助，在此表示衷心的感谢。

由于我们的思想水平、业务水平较低，书中肯定会有许多缺点和错误，诚恳地希望广大读者给予批评指正。

编 者

一九七九年五月

目 录

绪 言	(1)
第一章 RC 电路	(6)
§ 1.1 电容器充、放电的过程和规律	(6)
§ 1.2 简单 RC 电路的分析方法	(13)
§ 1.3 RC 电路的应用	(14)
§ 1.4 输入信号的边沿对于输出信号的影响	(21)
小 结	(23)
附录 1.1 求时间常数 τ 的规则	(24)
复习、思考、练习题	(25)
第二章 晶体管开关	(30)
§ 2.1 晶体二极管的开关特性	(30)
附录 2.1 常用小功率开关二极管的参量	(38)
附录 2.2 关于二极管参数影响的讨论	(39)
§ 2.2 晶体三极管的开关特性	(41)
附录 2.3 晶体管参量举例	(50)
§ 2.3 反相器	(51)
复习、思考、练习题	(62)
第三章 集-基耦合双稳态触发器	(67)
§ 3.1 基本电路原理	(67)
§ 3.2 触发方式	(75)
§ 3.3 触发器翻转过程的分析	(83)
§ 3.4 有关触发问题的分析	(87)
§ 3.5 常用电路的型式	(91)
§ 3.6 设计举例	(93)
§ 3.7 实验调整举例	(100)
§ 3.8 应用举例	(102)
小 结	(105)
附录 3.1 介绍几种双稳态触发器实际电路	(106)
复习、思考、练习题	(108)
第四章 射极耦合双稳态触发器	(113)
§ 4.1 电路原理	(113)
§ 4.2 关于回差的分析	(120)
§ 4.3 其他电路型式	(124)
§ 4.4 应用举例	(125)

小 结	(126)
复习、思考、练习题	(126)
第五章 单稳态触发器	(129)
§ 5.1 集-基耦合基极定时单稳态触发器	(129)
§ 5.2 射极耦合基极定时单稳态触发器	(140)
§ 5.3 射极耦合射极定时单稳态触发器	(151)
§ 5.4 单稳态触发器应用举例	(156)
小 结	(158)
复习、思考、练习题	(158)
第六章 多谐振荡器	(161)
§ 6.1 集-基耦合基极定时多谐振荡器	(161)
§ 6.2 射极耦合射极定时多谐振荡器	(170)
小 结	(178)
复习、思考、练习题	(179)
第七章 锯齿波电压发生器	(180)
§ 7.1 概述	(180)
§ 7.2 简单电压扫描电路	(181)
§ 7.3 恒流源电压扫描电路	(185)
§ 7.4 采用补偿电压的电压扫描电路 (自举电路)	(189)
§ 7.5 电容负反馈扫描电路 (密勒电路)	(195)
§ 7.6 自激式锯齿波电压发生器	(201)
小 结	(204)
复习、思考、练习题	(204)
第八章 锯齿波电流发生器与击振电路	(206)
§ 8.1 RL 与 RLC 电路的特性	(207)
§ 8.2 简单的电流扫描电路	(220)
§ 8.3 常用的电流扫描电路	(224)
§ 8.4 击振电路	(238)
小 结	(241)
复习、思考、练习题	(241)
第九章 脉冲功率放大器与间歇振荡器	(243)
§ 9.1 脉冲变压器	(243)
§ 9.2 脉冲功率放大器	(250)
§ 9.3 他激式间歇振荡器	(259)
§ 9.4 自激式间歇振荡器	(265)
§ 9.5 间歇振荡器应用举例	(271)
小 结	(272)
复习、思考、练习题	(273)

第十章 其他脉冲电路.....	(276)
§ 10.1 同步与分频电路.....	(276)
§ 10.2 负阻器件脉冲电路.....	(286)
小 结.....	(302)
复习、思考、练习题.....	(303)
附录 (一) 实验指导书.....	(304)
附录 (二) 电阻器、电容器的标称系列值.....	(329)
附录 (三) 文字符号说明.....	(330)
附录 (四) 本书参考书目.....	(332)

绪 言

一、晶体管脉冲与数字电路的含义

所谓脉冲，是指突然变化的运动，如心脏跳动、用槌击鼓等等。这种运动好象人的脉搏，一冲一冲的，称之为脉冲式运动。

图0.1(1)是正弦电流（或电压）的波形，它意味着电路中带电粒子运动的方向和电流值是渐变的；图0.1(2)所示电流（或电压）的波形，则意味着电路中带电粒子运动的方向和电流值是突变的。

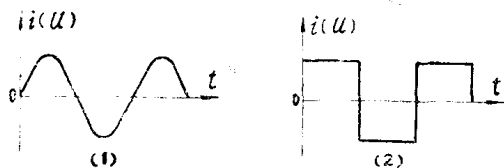


图 0.1 两种电流（电压）的波形

凡具有突变运动特点的各种电流或电压，称为脉冲电流或脉冲电压，总称电脉冲。目前电子线路中常用的电脉冲波形如图 0.2 所示。能够产生和变换这些电脉冲的电路，称为脉冲电路。由晶体管和电阻器、电容器、电感器等元件所构成的脉冲电路，称为晶体管脉冲电路。

所谓晶体管脉冲数字电路，是指主要用于数字计算机、数字化仪器、数字通讯等装置中的，那些能参与数码形成、表示、运算和处理的晶体管脉冲电路，简称数字电路。在这种电路中，电流、电压只有两个状态：有电流或无电流、电压高或电压低。因此，数字电路也是工作于脉冲状态，这是它和一般脉冲电路的共同点。早期由分立元件作成的门电路、触发器等数字电路，与一般脉冲电路没有什么区别。

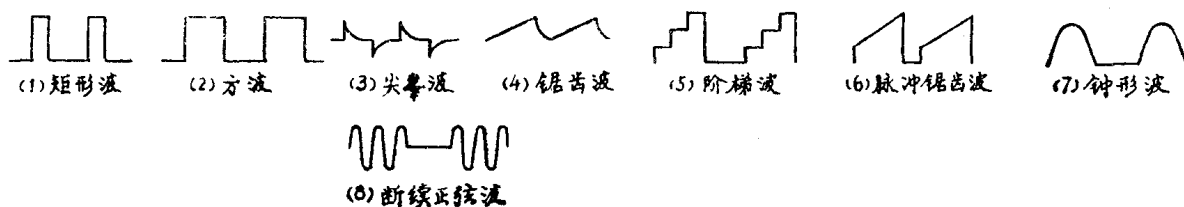


图 0.2 常用电脉冲波形

随着集成电路的出现，现代数字集成电路的设计者再也用不着自己来设计门电路、触发器等数字电路单元了，他所要作的是根据技术要求列出方框图，进行逻辑设计，选用合适的数字集成块组合起来就行了。因此，数字电路虽然属于脉冲电路的一个分支，实际上已脱离脉冲电路而成为一个新的领域，它所涉及的内容主要是逻辑设计。脉冲电路也在往集成化方向发展，但它所涉及的内容主要是各种脉冲波形的产生与变换。这是数字电路不同于一般脉冲电路的地方。

二、脉冲技术的发展、应用与研究对象

研究脉冲电路的理论与实践的科学，称为脉冲技术。

脉冲技术的发展，主要是由于现代工业、科学技术、特别是军事科学技术发展的需要促

成的。

晶体管于二十世纪五十年代问世，在它没有出现以前，脉冲电路是由电子管或离子管与阻、容、感等元件构成，称为电子管脉冲电路。晶体管出现以后，由于它具有体积小、重量轻、功耗小、工作可靠等优点，所以在大部分场合取代了电子管，称之为晶体管分立元件脉冲电路。到了六十年代，晶体管和电阻器等元件集中做在同一块半导体材料里，称为半导体集成电路，由于它具有体积更小、重量更轻、功耗更小、工作更可靠等优点，所以在许多场合取代了晶体管分立元件脉冲电路。

脉冲技术的应用非常广泛，至今已由较早应用脉冲技术的雷达、电子计算机、电视、遥测、遥控等几个部门，逐渐发展到通讯、自动控制、数字化仪器、激光技术、核物理技术、航天技术、电子医疗设备等等国民经济和国防建设的许多部门。脉冲技术的应用范围还在不断地扩大和发展。

表示事物不同状态的标志，称为信号，它可以表现为声、光、力、磁、电等等形式。在应用脉冲电路的各种电子设备中，都是利用一定的电流、电压来表示电路当中带电粒子运动的状态，或者说用来表示电路工作的状态。因此这些电流、电压称作电信号，其中属于电脉冲的，称为脉冲信号。

关于脉冲技术的研究对象，举例简述如下。图 0.3 是个数字频率计原理方框图，它用来测量周期性电信号的频率。被测信号为正弦波或非正弦波均可。波形变换器将被测信号变换成矩形波，并送入门电路。门电路的工作受着秒脉冲发生器输出的秒脉冲信号的控制，秒脉冲信号在它一个周期的时间内把门打开一秒钟，让上述矩形波通过并进入计数器。计数器能够测出在这一秒钟之内进来脉冲信号的数目，并把这个数目送到数码显示器显示出来。从显示器便可读出一秒钟之内输入脉冲的数目，即被测信号的频率。

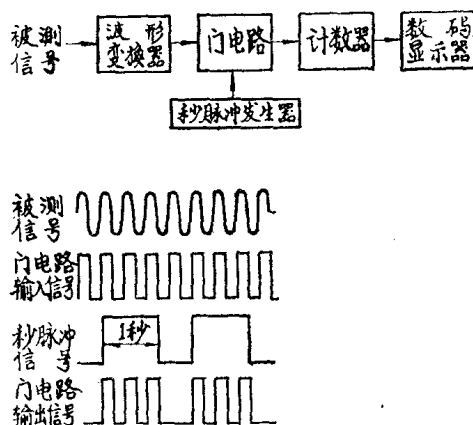


图 0.3 数字频率计原理方框图

脉冲电路的种类繁多，按功能不同可分为简单功能电路和复杂功能电路两类。前者包括脉冲信号的控制、记忆、产生、变换、放大等

等电路；后者包括计数器、寄存器、运算器、译码器、显示器等等电路，它们都由简单功能电路构成。因此，关于脉冲技术的研究对象，可以概括为：脉冲信号的产生与变换。

三、脉冲电路工作的特点

1. 晶体管处于大信号运用情况（即工作在伏安特性曲线的非线性区域）脉冲电路工作在反复接通与断开的状态，这要靠电子开关来实现。晶体管作为电子开关，它必须工作在高度非线性区域（截止区、饱和区），否则就不成其为开关了。

2. 脉冲电路的工作状态是与过渡过程紧密相关的 在任何实际电路中，当电源接通或断开时，电路从一种稳定状态转变为另一种稳定状态，这中间都要经过一个不稳定的过程，称之为电路的过渡过程或暂态过程。对于电源连续作用的稳定电路来说，从电源接通以后到

电源断开之前是这个电路的工作时间，其中电源接通和电源断开后所发生的过渡过程不是这个电路的有效工作时间，由于过渡过程所占时间远小于电路的工作时间，所以对于这种电源连续作用的稳定电路来说，没有必要考虑和研究它的过渡过程。对于脉冲电路来说，电源的接通与断开是周期性地重复进行的，过渡过程所占时间和电路工作时间是可比拟的，因此对于这种电源断续起作用的脉冲电路来说，必须考虑和研究它的过渡过程。所以说脉冲电路的工作状态是与过渡过程紧密相关的。

各种晶体管脉冲电路都由开关元件与惰性元件组成。开关元件用来打破电路的稳定状态，使之产生过渡过程，它常由晶体管等电子器件充任。惰性元件用来控制过渡过程的时间和变化律，常由电容器和电感器（用电阻器与它们配合）来充任。将开关元件、电阻器与惰性元件作不同的组合，可成为不同型式的脉冲电路，获得不同的脉冲信号。而在一般小信号线性放大电路中，晶体管处于小信号运用情况，工作在放大状态，电容器、电感器这些惰性元件主要用作调谐回路、耦合、旁路、扼流等等，将晶体管、电阻器与惰性元件作不同的组合，旨在对交流小信号实现无畸变传输和放大。

四、脉冲信号的参量

在实际工作中，经常需要对脉冲信号的波形进行定量分析，以表述和评价脉冲电路的性能。这就需要用一些具体的物理量来表示脉冲信号的特征，这些物理量便称为脉冲信号的参量。矩形波是最常用的一种脉冲信号，理想化的矩形波如图 0.2(1)所示。分析脉冲电路的工作情况时，为使问题简化以便于分析，常采用理想化矩形波。实际电路中的矩形波却不象理想化波形那样简单，如图 0.4(1)所示。下面就以这种实际矩形波为例，介绍脉冲信号几个基本参量的含义。

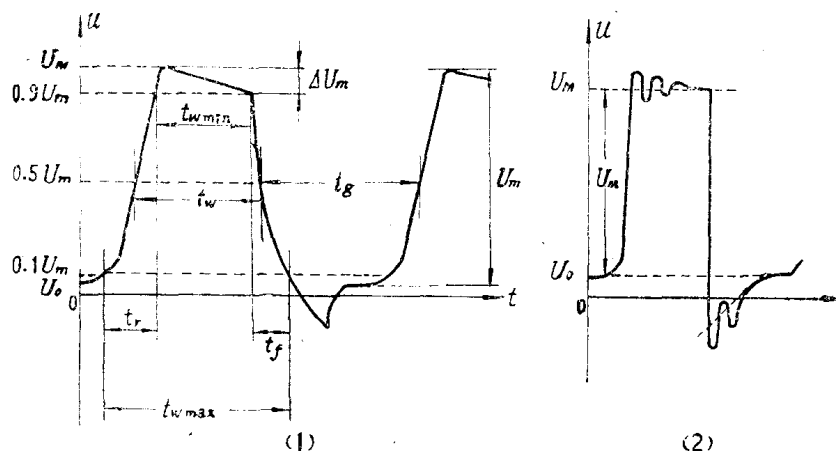


图 0.4 实际矩形波

1. 脉冲幅度 (U_m) 这是一个表示脉冲信号强弱的参量。在数值上等于脉冲信号静态值 (U_0) 与峰值 (U_M) 之差的绝对值，即 $U_m = |U_M - U_0|$ 。若 $(U_M - U_0) > 0$ ，则称此信号为正脉冲；反之，则称此信号为负脉冲，如图 0.5(1)(2) 所示。这里的静态值 (U_0)，指的是脉冲信号在零值附近的稳态值；峰值 (U_M)，则指绝对值最大的脉冲信号瞬时值。

对于顶部或底部叠加有寄生振荡的脉冲信号，其峰值仅取基本脉冲的最大瞬时值，如图0.4(2)所示。通常将脉冲信号电压的最大值称为高电平，用 U_h 表示；将脉冲信号电压的最小值称为低电平，用 U_l 表示。

2. 脉冲前沿(t_r) 表示脉冲信号从静态值变到峰值所需要的时间。在测定脉冲信号前沿时，为有一个近似准确而又便于测量的统一标准，通常规定脉冲信号电压从 $0.1U_m$ 变到 $0.9U_m$ 所需要的时间，作为脉冲信号的前沿。

3. 脉冲后沿(t_f) 表示脉冲信号从峰值变到静态值所需要的时间。通常规定脉冲信号电压从 $0.9U_m$ 变到 $0.1U_m$ 所需要的时间，作为脉冲信号的后沿。

4. 脉冲宽度(t_w) 表示脉冲信号峰值连续存在的时间，又细分为最大脉宽(t_{wmax})、最小脉宽(t_{wmin})、有效脉宽(t_w)三种。

通常规定：最大脉宽为脉冲信号从上升沿的 $0.1U_m$ 变到下降沿的 $0.1U_m$ 所需要的时间；最小脉宽为脉冲信号从上升沿的 $0.9U_m$ 变到下降沿的 $0.9U_m$ 所需要的时间；有效脉宽为脉冲信号从上升沿的 $0.5U_m$ 变到下降沿的 $0.5U_m$ 所需要的时间。

5. 脉冲间隔(t_g) 表示上一个脉冲的下降沿与下一个脉冲的上升沿之间的时间间隔。通常规定：上一个脉冲下降沿的 $0.5U_m$ 与下一个脉冲上升沿的 $0.5U_m$ 之间的时间作为脉冲间隔。脉冲间隔又称为休止期。

6. 脉冲重复周期(T) 表示两个同向脉冲信号重复出现一次所需要的时间，简称脉冲周期。其值为相邻两个同向脉冲相应点之间的时间间隔。显然， $T = t_w + t_g$ 。

7. 脉冲重复频率(f) 表示一秒钟之内脉冲出现的次数，简称脉冲频率。显然， $f = 1/T$ 。

8. 脉冲空度系数(B) 这个参数表示脉冲信号在一个周期之内脉宽与休止期不对称的程度。在数值上， $B = T/t_w = 1 + (t_g/t_w)$ 。

9. 脉冲顶部降落(ΔU_m) 表示基本脉冲上升沿顶点与下降沿拐点相应脉冲值之差的绝对值。

脉冲信号根据脉宽不同，可分为：毫秒脉冲($t_w = 10^{-1} \sim 10^{-3}$ 秒)、微秒脉冲($t_w = 10^{-3} \sim 10^{-6}$ 秒)、毫微秒脉冲($t_w = 10^{-6} \sim 10^{-9}$ 秒)、微微秒脉冲($t_w < 10^{-9}$ 秒)，本书只讨论毫秒及微秒脉冲的电路。

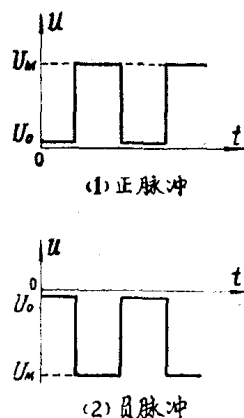


图0.5 脉冲信号的极性

复习、思考、练习题

1. 解释下列各基本概念的含义：脉冲、脉冲电流、脉冲电压、电脉冲、脉冲电路、脉冲数字电路、脉冲信号、脉冲技术、脉冲信号的参量。
2. 列表标出图0.1和图0.2两种脉冲电压各参量的近似值。
3. 脉冲信号的静态值是否等于脉冲信号的低电平？

第一章 RC 电路

由电阻器和电容器构成的 RC 电路, 是晶体管脉冲电路中用得最多的基本组成部分之一。了解 RC 电路的特性, 是认识脉冲电路的基础。

§ 1.1 电容器充、放电的过程和规律

一、电容器充电、放电的过程

实验电路如图 1.1 所示。设开始时开关 K 接到位置“2”, 电容器极板上没有电荷, 其端电压 u_c 为零。在开关由“2”突然置于“1”的那一瞬间, 由于电容器上的电荷不能突然积累, 所以 u_c 仍为零; 回路电流 $i_c = (E - u_c) / R = E / R$, 达到了它所能达到的最大值。随着时间的推移, 电容器上的电荷由零开始积累并逐渐增多, 其端电压 u_c 相应地增大, 回路电流 i_c 却随着 u_c 的增大而减小, 直至 $u_c = E$ 、 $i_c = 0$, 如图 1.2 所示。以上是电容器充电的过程。

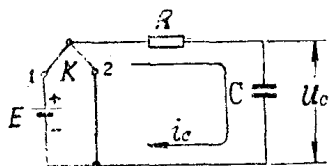


图 1.1 电容器充、放电实验电路

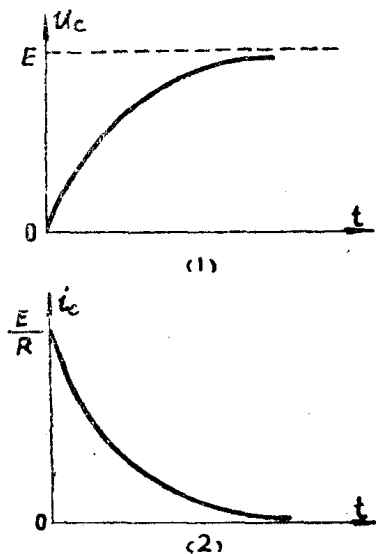


图 1.2 电容器的充电曲线

当开关由“1”置于“2”时, 已经充完电的电容器将通过电阻器 R 放电。在开始放电的那一瞬间, 电容器上的电荷还没来得及释放, 其端电压 $u_c = E$; 放电电流 $i_c = -E/R$ (式中负号表示放电电流与充电电流 i_c 方向相反), 达到了它所能达到的最大绝对值。随着时间的推移, 电容器上的电荷逐渐减少, 其端电压 u_c 相应地减小, 放电电流的绝对值 $|i_c| = |u_c|/R$ 随着 u_c 的减小而减小, 直至 $u_c = 0$ 、 $i_c = 0$, 如图 1.3 所示。以上是电容器放电的过程。

综上所述, 可以得出以下几点结论:

1. 外加电压高于电容器两端电压 u_c 并且构成回路时, 电容器被充电, 一直充电到 u_c 等于外加电压为止; 外加电压低于电容器两端电压 u_c 并且构成回路时, 电容器便放电, 一直放电到 u_c 等于外加电压为止 (在图 1.1 中, 电容器放电时的外加电压为零, 这是一种特例)。

2. 在电容器充、放电的过程中, 电路中的电压值、电流值要发生变化。在电容器充、放电结束时, 电路便由原来的稳定状态转变为一种新的稳定状态。这个电路状态转变过程不

可能在一瞬间完成，而需要一段过渡时间。因此，电容器充、放电的过程又称为过渡过程或暂态过程。

3. 电容器充电过程结束后，尽管电路中的外加电压继续存在，但回路电流已为零，从电流的角度来看，此时电容器如同“开路”一样。

二、电容器充电和放电的规律

1. 开关定理 在图 1.1 的充电实验中，当开关由“2”置于“1”时，电容器两端电压 u_c 不能突变，而是从零逐渐增大，这是由于电容器上电荷的积累需要时间。单位时间内流入（或流出）电容器的电荷量 Q 就是充电（或放电）电流。因此，充电电流 $i_c = dQ/dt$ ，其中 dQ 表示电容器上电荷量的改变量， dt 表示相应的时间改变量。如果电容器两端电压可以突变，这意味着：既要求 $dQ \neq 0$ ，又要求 $dt = 0$ ，那么充电电流 i_c 必须为无限大，这在实际上是不可能的。

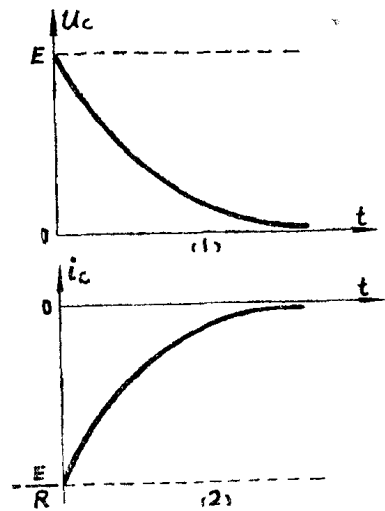


图 1.3 电容器的放电曲线

在图 1.1 的放电实验中，当开关由“1”置于“2”时，电容器两端电压也不会突变，而是从原已充电电压 (E) 逐渐减小，这是由于电容器上电荷的释放需要时间。

简言之，在 RC 充、放电回路中，电容器两端电压不能突变，它在开关动作后的一瞬间将保持开关动作前所具有的数值，在整个暂态过程中，电容器两端电压就是以此为起始值开始变化的。这是一条规律，称为开关定理或换路定理。

设开关在某时间 $t = t_n$ 时动作，用 t_n^- 和 t_n^+ 分别表示开关动作前和动作后的一瞬间，用 $u_c(t_n^-)$ 和 $u_c(t_n^+)$ 分别表示开关动作前和开关动作后那一瞬间电容器两端电压，则开关定理的数学表达式为： $u_c(t_n^-) = u_c(t_n^+)$ 。

在图 1.1 这个实验电路中，若开关由“2”置于“1”以前电容器两端电压 $u_c = 0$ ，则开关由“2”置于“1”以后那一瞬间 $u_c = 0$ ，从电流的角度来看，此时电容器如同“短路”一样；若开关由“1”置于“2”以前电容器已充电完毕，其端电压 $u_c = E$ ，则开关由“1”置于“2”以后那一瞬间 $u_c = E$ ，从电流的角度来看，此时电容器如同电压等于 E 的“电池”一样。

2. 充电过程中电压和电流的变化规律 在图 1.1 中，设开关原来置于“2”，电容器两端电压 $u_c = 0$ 。当时间 $t = 0$ 时，开关由“2”置于“1”，电容器充电。由开关定理知： $u_c(0^+) = u_c(0^-) = 0$ ，这是充电过程中电容器两端电压的起始值。

在充电过程中，根据基尔霍夫定律可知：

$$i_c R + u_c = E. \quad (1.1)$$

因为 $u_c(0^+) = 0$ ，所以充电电流起始值

$$i_c(0^+) = \frac{u_R(0^+)}{R} = \frac{E - u_c(0^+)}{R} = \frac{E}{R}.$$

这表明：电容器两端电压虽然不能突变，但流过它的电流是可以突变的。随着时间的推移，

电容器上逐渐积累电荷，充电电流

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = \frac{dCu_c}{dt} = C \frac{du_c}{dt}. \quad (1.2)$$

将式 (1.2) 代入式 (1.1)：

$$C \frac{du_c}{dt} R + u_c = E. \quad (1.3)$$

解此微分方程，得：

$$u_c = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}}). \quad (1.4)$$

这就是充电过程中电容器两端电压的解析式，其图象如图1.2(1)所示。

将式 (1.4) 代入式 (1.2)：

$$i_c = C \frac{dE(1 - e^{-\frac{t}{RC}})}{dt} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1.5)$$

这就是充电过程中回路电流的解析式，其图象如图1.2(2)所示。

由式 (1.4) 和式 (1.5) 可见：从理论上说，要电容器充电过程全部结束，需要时间 $t \rightarrow \infty$ ，这时电容器两端电压 $u_c(\infty) = E$ 、充电电流 $i_c(\infty) = 0$ 、电阻器上的电压降 $u_R(\infty) = 0$ 。

3. 放电过程中电压和电流的变化规律 在图1.1中，设开关原来置于“1”，电容器已充电完毕，其端电压 $u_c = E$ 。当时间 $t = 0$ 时，开关由“1”置于“2”，电容器放电。由开关定理知： $u_c(0^+) = u_c(0^-) = E$ ，这是放电过程中电容器两端电压的起始值。

在放电过程中，根据基尔霍夫定律可知：

$$i_c R + u_c = 0. \quad (1.6)$$

因为 $u_c(0^+) = E$ ，所以放电电流起始值

$$i_c(0^+) = \frac{u_R(0^+)}{R} = \frac{-u_c(0^+)}{R} = -\frac{E}{R}.$$

这再一次表明：电容器两端电压虽然不能突变，但流过它的电流是可以突变的。随着时间的推移，电容器上的电荷逐渐释放，放电电流

$$i_c = \frac{dQ}{dt} = C \frac{du_c}{dt}. \quad (1.7)$$

将式 (1.7) 代入式 (1.6)：

$$C \frac{du_c}{dt} R + u_c = 0. \quad (1.8)$$

解此微分方程，得：

$$u_c = E e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1.9)$$

这就是放电过程中电容器两端电压的解析式，其图象如图1.3(1)所示。

将式 (1.9) 代入式 (1.7)：

$$i_c = C \frac{dE e^{-\frac{t}{RC}}}{dt} = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}} \quad (1.10)$$

这就是放电过程中回路电流的解析式，其图象如图1.3(2)所示。式中负号表示放电电流与充电电流方向相反。

由式(1.9)和式(1.10)可见：从理论上说，要电容器放电过程全部结束，需要时间 $t \rightarrow \infty$ ，这时电容器两端电压 $u_c(\infty) = 0$ 、放电电流 $i_c(\infty) = 0$ 、电阻器上的电压降 $u_R(\infty) = 0$ 。

综上所述，在 RC 电路中，不论电容器充电或放电，其端电压及回路电流都是按指数律变化的。表 1.1 列出了指数函数的一些常用数值。

表 1.1 指数函数值举例

$\frac{t}{RC}$	0	0.5	0.7	1	2.3	3	4	6.9	
$e^{-\frac{t}{RC}}$	1	0.607	0.5	0.37	0.1	0.05	0.01	0.001	
$1 - e^{-\frac{t}{RC}}$	0	0.393	0.5	0.63	0.9	0.95	0.99	0.999	

三、时间常数

一个物理量的基本计量单位，称为这个物理量的量纲。表 1.1 中“ RC ”项的量纲是“秒”，它是一项时间量。这因为：

$$[R][C] = [\text{欧姆}][\text{法拉}] = \frac{[\text{伏特}][\text{库仑}]}{[\text{安培}][\text{伏特}]} = \frac{[\text{伏特}][\text{安培}][\text{秒}]}{[\text{安培}][\text{伏特}]} = [\text{秒}].$$

在电容器充、放电的过程中，各有关电压、电流都是时间的函数，充电或放电的快慢取决于电阻值 R 和电容量 C 的乘积。用符号“ τ ”表示“ RC ”，称之为时间常数。

充电时，外加电压 E 和电容量 C 是一定的，若电阻值 R 越大，则充电电流越小，为使电容器积累一定数量的电荷所需时间越长；反之，情况相反。放电时，电容器端电压起始值和电容量是一定的，若电阻值 R 越大，则放电电流越小，为使电容器释放一定数量的电荷所需时间越长；反之，情况相反。

充电时，外加电压 E 和电阻值 R 是一定的，若电容量 C 越大，充电结束时电容器上积累的电荷越多，现在充电电流起始值 $i_c(0^+) \left(= \frac{E}{R} \right)$ 一定，从而充电近于完毕所需时间越长；反之，情况相反。放电时，电容器端电压起始值和电阻值 R 是一定的，若电容量 C 越大，这意味着电容器所存贮的电荷越多，现在放电电流起始值一定，从而放电近于完毕所需时间越长；反之，情况相反。

结论是： RC 电路的时间常数 τ 越大，充电或放电近于完毕所需时间越长，即充电或放电的速度越慢；反之，情况相反。图 1.4 给出了同一外加电压 E 而不同时间常数 τ 时的充、放电曲线，其中时间常数 $\tau_3 > \tau_2 > \tau_1$ 。

四、充电时间与放电时间

只有当时间 $t \rightarrow \infty$ 时，电容器充电或放电的全过程才能结束。在实际工作中，为便于分

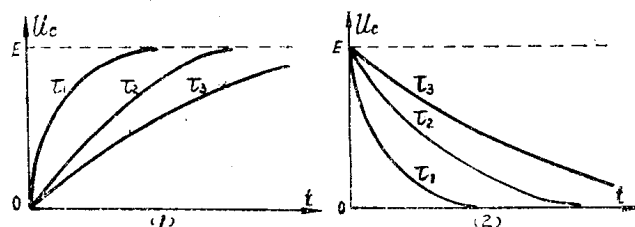


图 1.4 不同时间常数时的充、放电曲线

析和计算，规定了一个充、放电过程基本结束的时间界线：充电时，充电电流 i_c 由其最大值 I_m 衰减到 0.05 倍 I_m （相应的电容器端电压 u_c 由起始值增大到终了值 E 的 0.95 倍）时，认为充电过程基本结束，这段时间便称为充电时间，用 $t_{\text{充}}$ 表示，如图 1.5

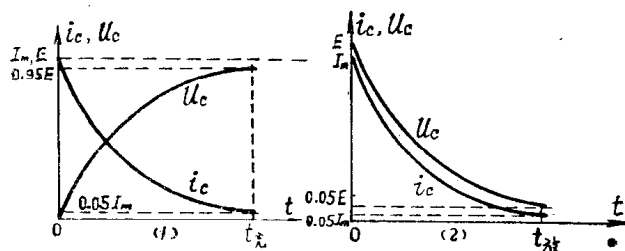


图 1.5 关于充电时间和放电时间的规定

(1)所示；放电时，放电电流 i_c 由其最大绝对值 I_m 衰减到 $0.05 I_m$ （相应的电容器端电压 u_c 由起始值 E 衰减到 $0.05 E$ ）时，认为放电过程基本结束，这段时间便称为放电时间，用 $t_{\text{放}}$ 表示，如图 1.5(2) 所示。

充电电流起始值 $i_c(0^+) = E/R = I_m$ 。当时间 $t = t_{\text{充}}$ 时，充电电流 $i_c(t_{\text{充}}) = 0.05 I_m$ 。由式(1.5)可知，此时

$$i_c(t_{\text{充}}) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t_{\text{充}}}{RC}}.$$

由

$$0.05 \frac{E}{R} = \frac{E}{R} e^{-\frac{t_{\text{充}}}{RC}},$$

得

$$e^{-\frac{t_{\text{充}}}{RC}} = 0.05.$$

查表 1.1 知： $t_{\text{充}} = 3\tau$ 。同理可知：

$$t_{\text{放}} = 3\tau.$$

$t_{\text{充}}$ 和 $t_{\text{放}}$ 的大小仅取决于时间常数 τ ，而与外加电压的大小无关。以充电过程为例，当外加电压增大时，虽然充电电流变大了，但电容器充电完毕时的端电压也增大了（即所需积累的电荷增多了），由于这两个因素互相抵消，使得充

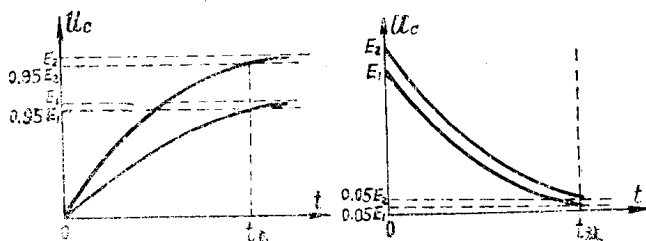


图 1.6 不同外加电压之下的充、放电曲线

电时间 $t_{\text{充}}$ 与外加电压无关。 $t_{\text{放}}$ 与外加电压无关的道理也是如此。图 1.6 给出了在同样时