

水文职工培训教材

水文电测基础

下 册

黑龙江水利工程学校 廖荣长 主编

水利电力出版社

水文职工培训教材

水文电测基础

下 册

黑龙江水利工程学校 廖荣长 主编

水利电力出版社

内 容 提 要

本书为水文职工培训教材，分上、下两册出版。下册主要内容有：晶体管脉冲电路，数字电路，可控硅元件及单结晶体管，水文仪器常用的传感器，测流信号的传输与接收，水文应用仪器。

本书除作为水文职工及水利水电干部培训教材外，亦可供有关学校师生和电子技术爱好者参考。

水文职工培训教材

水文电测基础 下册

黑龙江水利工程学校 廖荣长主编

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路6号)

各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 11.5印张 253千字 3插页

1990年6月第一版 1990年6月北京第一次印刷

印数0001—2140册

ISBN 7-120-01068-9/TV·360

定价：7.75元

出版者的话

《水文电测基础》是水利部制定的“水文职工培训教材”中的一种，分上、下两册，上册已于1986年出版。下册第十章至第十二章由黑龙江水利工程学校王喜荣同志编写；第十三章至第十五章由水电部长江流域规划办公室水文局黄秋福同志编写；全书由黑龙江水利工程学校廖荣长同志主编，河海大学姜德保、陈从光同志负责审查。

在编写出版过程中，得到有关单位和部门的大力支持，在此谨致谢意。

1989年7月

目 录

第十章 晶体管脉冲电路	1
第一节 脉冲的基本知识	2
第二节 晶体管开关特性及其应用	22
第三节 集-基耦合双稳态触发器	44
第四节 射极耦合双稳态触发器	56
第五节 单稳态触发器	63
第六节 多谐振荡器	72
复习思考题和习题	77
第十一章 数字电路	79
第一节 二进制及十进制数的二进制编码	79
第二节 三极管基本逻辑门	83
第三节 集成电路逻辑门	93
第四节 逻辑代数基本概念与基本定律	104
第五节 集成电路触发器	109
第六节 基本逻辑部件	123
第七节 金属氧化物半导体集成电路	150
复习思考题和习题	161
第十二章 可控硅元件及单结晶体管	163
第一节 可控硅的结构与伏安特性	163
第二节 可控硅的型号和主要参数	173
第三节 可控硅整流电路	176
第四节 单结晶体管的结构及伏安特性	184
第五节 单结晶体管振荡器	189
第六节 可控硅触发电路	192

第七节 小功率直流电动机的可控硅调速	196
复习思考题和习题	200
第十三章 水文仪器常用的传感器	201
第一节 干簧传感器	201
第二节 光敏传感器	215
第三节 超声换能器	232
复习思考题和习题	235
第十四章 测流信号的传输与接收	236
第一节 河水的导电性能	236
第二节 信号传输原理	245
第三节 测速计时数仪器	257
复习思考题和习题	308
第十五章 水文应用仪器	310
第一节 水位计	310
第二节 超声波测深仪	326
第三节 测沙仪器	349
复习思考题和习题	358

随着电子技术的发展，脉冲与数字电路已广泛应用于雷达、电视、无线电通讯、计算机、自动控制、遥测遥控等方面，而且将深入到各个领域。

脉冲电路是研究电脉冲的产生及波形变换的电路。脉冲电路中，电压只有两种状态：高电压或低电压。电流也有两种状态：无电流或有电流。也就是三极管工作在截止区和饱和区。数字电路是能够表示数码的形成、运算和处理的脉冲电路，如门电路、触发器等。可见数字电路是脉冲电路的一部分。近年来随着集成电路的发展，数字电路研究内容有：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。因而数字电路已脱离脉冲电路而发展成为一门新学科——数字电子学。脉冲电路也在往集成化方向发展，它主要研究各种脉冲波的产生与变换。

这里将脉冲电路与数字电路分为两章分别介绍。

第十章 晶体管脉冲电路

本章以分立元件为主，重点介绍基本脉冲单元电路的分析、简单计算和调试。

脉冲电路工作在反复接通与断开状态，这要靠高速开关来实现。在脉冲电路中用三极管做为开关元件，因此三极管主要工作在非线性区（截止、饱和区），

第一节 脉冲的基本知识

一、脉冲波

1. 脉冲的概念

所谓脉冲是指间断的、隔一定时间出现的突然变化现象。它包含着脉动和短促的意思。如心脏的跳动就是一种脉

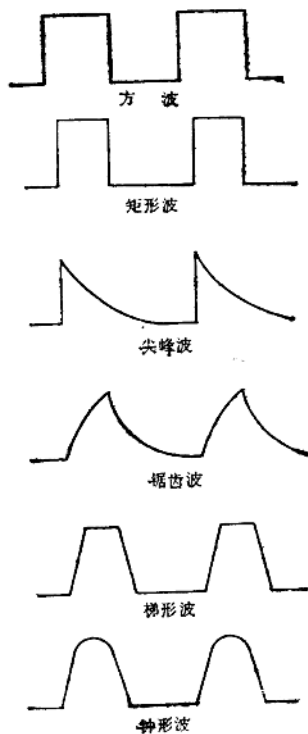


图 10-1 常用电脉冲波形

冲式的运动。

电脉冲是指某种电量，如电压和电流在极短时间内有显著的变化。雷电就是一种常见的电脉冲。在脉冲技术中我们研究的是一些不连续和短时间作用的电压或电流，波形中也包含有突变的部分。这种作用时间极短的电压或电流就称为“脉冲电压”或“脉冲电流”，统称为电脉冲。我们知道正弦电压（或电流）的波形是逐渐变化的，为区别起见，可以这样说：凡按非正弦规律变化的电压或电流都可以称为电脉冲。图10-1画出了几种常用的电脉冲波形。脉冲可以是周期性的，也可以是非周期性的，通常脉冲都是用开关电路来产生的。

2. 脉冲波形的参数

利用图10-2 (a) 的开关，可以产生图10-2 (b) 所示

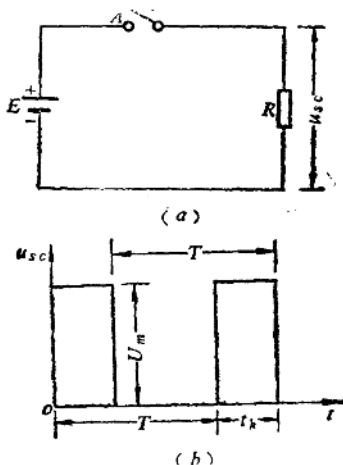


图 10-2 理想矩形脉冲

(a) 产生矩形波脉冲电路；(b) 理想矩形脉冲波形

的一串矩形脉冲，表征这些脉冲特征的参数有：脉冲幅度 U_m ，即脉冲波变化的最大值，脉冲前沿（或上升沿），脉冲后沿（或下降沿），脉冲宽度 t_h ，脉冲重复周期 T （一般指周期性脉冲的两个相邻脉冲上相应点之间的时间）和脉冲的重复频率 f ($f = \frac{1}{T}$)。

图10-2(b)所示矩形脉冲是理想的，由于电路存在分布电路等原因，实际的矩形脉冲往往如图10-3所示。图上标的是电压，如果是电流也一样。

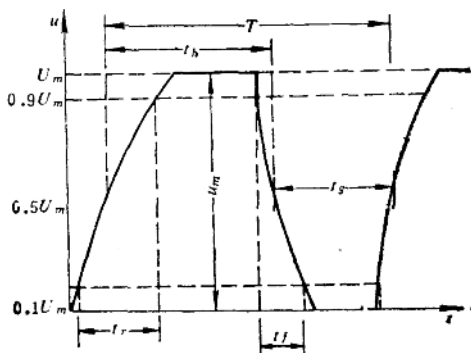


图 10-3 脉冲波形的参数

脉冲波的主要参数如下。

(1) 脉冲幅度 U_m 是表示脉冲信号强弱的参数。脉冲（电压或电流）从静态变化到峰值之间的跳变量称为脉冲幅度。如果变化后比静态值增加，称为正脉冲，反之称为负脉冲。

(2) 脉冲前沿 t_r 表示脉冲信号从静态值变化到峰值所需要的时间。为突出主要的部分一般规定脉冲信号从 $0.1U_m$ 变到 $0.9U_m$ 所需要的时间，称为上升时间或脉冲前沿。

(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。一般规定脉冲信号从 $0.9U_m$ 变到 $0.1U_m$ 所需要的时间,称为下降时间或脉冲后沿。

(4) 脉冲宽度 t_w 表示脉冲信号持续的时间。一般规定从前沿的 $0.5U_m$ 变到后沿的 $0.5U_m$ 所需要的时间,也是指脉冲持续的时间。

(5) 脉冲间隔 t_d 表示前一个脉冲的后沿与后一个脉冲的前沿之间的时间间隔。一般规定前一个脉冲后沿的 $0.5U_m$ 到后一个脉冲前沿的 $0.5U_m$ 之间的时间间隔,称为脉冲间隔,也称为脉冲休止期。

(6) 脉冲周期 T 相邻的、重复出现的两个同向脉冲之间的时间间隔。一般取 $T=t_w+t_d$ 。

(7) 脉冲重复频率 f 表示一秒钟内脉冲信号出现的次数。即

$$f = \frac{1}{T}$$

二、RC电路的分析

RC电路是脉冲数字电路的最基本组成部分之一,了解RC电路的特性是研究脉冲电路的基础。

1. RC电路的充放电过程

图10-4是一个简单的RC电路。我们来分析一下它的充电过程与放电过程。一般我们认为使电容上的电压 u_c 增加的过程为充电过程;反之,使 u_c 减小的过程为放电过程。

在分析充放电过程之前,首先介绍开关定理。在图10-5中设开关在 $t=0$ 时动作,并用 $t=0^-$ 表示开关动作前的一瞬间, $t=0^+$ 表示开关动作后的一瞬间。用 $u_c(0^-)$ 表示动作前一瞬间电容两端的电压用 $u_c(0^+)$ 表示开关动作后一瞬间电

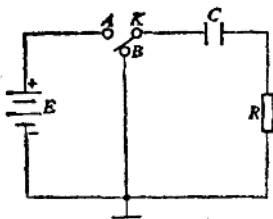


图 10-4 充电与放电电路

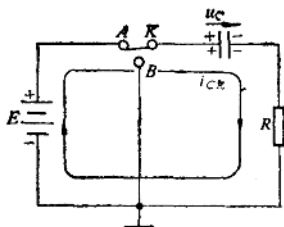


图 10-5 电容充电电路

容两端的电压。当 K 与 A 接通瞬间，电容器两端电压 u_c 不能突变，而是由零逐渐增大。这是由于电容器上的电压和它上面的电荷量成正比 $u_c = \frac{q}{C}$ 。如果电容器两端电压可以突变，那么充电电流 i_c 必须为无限大，在实际上这是不可能的。所以在图10-5中当开关 K 与 A 接通瞬间，电容器两端电压不能突变即 $u_c(0^-) = u_c(0^+)$

由此可见，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，在整个充放电过程中，电容器两端电压就以此为起始值开始变化。这一条规律称为开关定理或换路定理。

下面分析充电过程。

(1) 充电过程 在图10-5中，假设开关 K 原来合在 B 点，电容 C 上没有电荷，因此电容器两端电压 $u_c = 0$ 。在 $t = 0$ 时（计时起点）把开关 K 突然从 B 点合向 A 点时，相当有一个幅度为 E 的阶跃电压作用到 RC 电路上。输入阶跃电压 u_r 的波形如图10-6(a)所示。这时电源 E 通过电阻 R 向电容 C 充电。我们把充电过程分为三个阶段来分析。

1) 起始阶段: 在图10-5中, K 与 A 接通瞬间 $t = 0$ 时, 因为电容电压原来为零, $u_c(0^-) = 0$, 由开关定理知道 $u_c(0^-) = u_c(0^+) = 0$ 。从电流角度, 看此时电容如同短路一

样。这时输入电压 u_{sr} 相当是 E , 根据克希荷夫定律可列出电压方程

$$u_{sr} = E = u_c + i_c R$$

由于 $t = 0^+$ 时, $u_c(0^+) = 0$, 此时电流为

$$i_c(0^+) = \frac{E}{R}$$

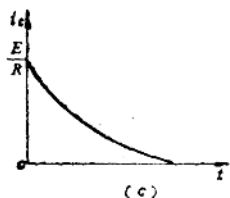
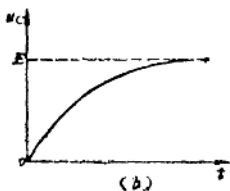
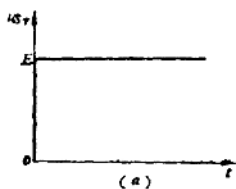


图 10-6 电容充电时电压
电流波形

(a) 输入电压波形; (b) 电容两端电压
波形; (c) 充电电路电流波形

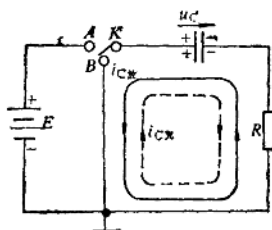


图 10-7 电容放电电路

电流在 $t(0^-)$ 到 $t(0^+)$ 时从零突然上升到最大值 $\frac{E}{R}$ 。由此可见, 虽然电容上的电压不能突变, 但是流过电容上的电流

却可以突变。

2) 充电过程: $t = 0$ 以后电容开始充电, u_c 相应上升, 充电电流 $i_c = \frac{E - u_c}{R}$ 。随着 u_c 的迅速上升, i_c 迅速减小。由于 i_c 越来越小, 电容充电越来越慢, 于是 u_c 的上升也越来越慢。电流 i_c 、电容上电压 u_c 变的过程如图10-6所示。

3) 终了阶段: 随着时间的增加, 充电过程经过相当长的时间后, 可以认为 $t = \infty$, $u_c = u_c(\infty) = E$, 此时电流为

$$i_c(\infty) = \frac{E - u_c}{R} = 0$$

充电过程结束, 这时流过电容电路的电流等于零, 电容相当于“开路”。

(2) 放电过程 在充电结束后, 将图10-5中的开关 K 从 A 合向 B 点, 如图10-7所示。此时相当于输入电压 u_r 从 E 降到零。电容 C 上积累的电荷将通过 R 放电。放电过程也分为三个阶段来分析。

1) 起始阶段: $t = 0$ 时 (充电结束后所选定的某一计时起点) 将 K 合向 B 点时相当于 $u_r = 0$ 。因为电容已充电完毕, $u_c = E$, u_c 的实际方向与图10-7中假定的正方向一致; 放电电流 i_c 的实际方向如图10-7中实线所示。根据图10-7的闭合回路可列电压方程

$$u_r = u_c + i_c R = 0$$

于是放电电流

$$i_c = -\frac{u_c}{R}$$

已知 $u_c(0^-) = E$, 根据开关定理, $u_c(0^+) = u_c(0^-) = E$, 于是

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

可见，电容放电开始电流 $i_c(0^+)$ 从零跳到负的最大值 $\frac{E}{R}$ ，式中 i_c 是负号，说明放电电流方向与图 10-7 所标充电电流方向（即假定正方向）相反。

2) 放电阶段： $t = 0$ 以后，电容开始放电形成放电电流，电容上的电荷随着放电而减少。由于开始时 $|i_c|$ 很大，因而电荷减少得很快，引起 u_c 迅速降低。由于 u_c 下降了，而放电电流

$$i_c = -\frac{u_c}{R}$$

因而 $|i_c|$ 也逐渐减小。

放电时电容上电压及放电电流 i_c 的变化如图 10-8 所示。

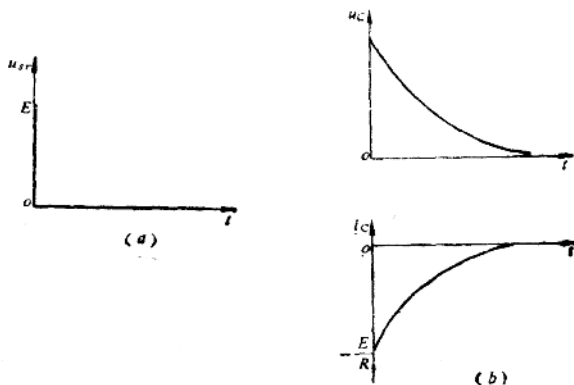


图 10-8 电容放电时电压电流波形图
(a) 输入电压波形；(b) 电容两端电压波形

3) 終了阶段: 放电经过相当长的时间后, 可认为 $t = \infty$, $u_c = u_c(\infty) = 0$, 电容上的电荷已放完, $|i_c|$ 也下降到零, 放电结束。

根据以上分析可知, 电容器不论在充电还是放电开始的瞬间, 电容器两端的电压都仍是原来的数值, 然后在这个数值基础上逐渐变化。即电容两端的电压不能突变, 而通过电容器上的电流则跳变到很大值而后才在这个基础上逐渐变化。

从上面还可以看出, 在 RC 电路中, 当输入电压是一个阶跃电压时, 电容器上的电压 u_c 、电路中的充、放电电流 i_c 及电阻上电压 u_R 都是一条按指数规律变化的曲线, 可以用下面的过渡过程公式来表示

对于充电

$$i_c = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$u_c = E - i_c R = E(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

对于放电

$$i_c = -\frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$$

$$u_c = -i_c R = E e^{-\frac{t}{RC}}$$

式中 e ——自然对数的底, $e \approx 2.71828$;

RC ——具有时间的量纲, 秒。

$$\begin{aligned} [R][C] &= [\text{欧姆}][\text{法拉}] = \frac{[\text{伏特}]}{[\text{安培}]} \cdot \frac{[\text{库仑}]}{[\text{伏特}]} \\ &= \frac{[\text{安培}][\text{秒}]}{[\text{安培}]} = \text{秒} \end{aligned}$$

在电路中, 充、放电的速度决定于 R 与 C 的乘积。很显

然电路中如果电源电压 E 和电容 C 值一定, R 越大, 则电流 i_c 越小, 使电容上积累一定的电荷需要的时间就越长, 即充电时间越长; 反之 R 越小, 充电电流越大充电时间就越短。同样, 如果 E 和 R 值一定, C 值越大, 电容充电到同样的电压所需要的电荷量就越多, 即充电的时间就越长; 反之, C 越小, 充电到同样电压所需要的电荷量就越少, 因而充电时间就越短。所以, RC 乘积越大, 充电时间越长, RC 乘积越小, 充电时间越短。故 RC 又称为电路的时间常数, 用 τ 表示

$$\tau = RC$$

上面公式中的 t , 表示充电或放电从 $t = 0$ 起所经过的时间, 对应的 i_c 或 u_c 是时刻 t 的电流 $i_c(t)$ 或电压 $u_c(t)$, $i_c(t)$ 与 $\frac{E}{R}$ 的比值或 $u_c(t)$ 与 E 的比值就取决于 t 与 τ 的比值 $\frac{t}{\tau}$ 。表 10-1 中列出了指数函数的一些常用值。由表 10-1 中看出, 电

表 10-1

指数函数常用值

t/τ	0	0.1	0.5	0.69	1	2.3	3	5
$e^{-t/\tau}$	1	0.9	0.607	0.5	0.37	0.1	0.05	0.007
$1 - e^{-t/\tau}$	0	0.1	0.393	0.5	0.63	0.9	0.95	0.993

容充电 u_c 达到 E 的 50% 需要 0.69τ 时间; 达到 E 的 95%, $t = 3\tau$; 达到 E 的 99.3%, $t = 5\tau$ 。一般认为 $t = 3\tau \sim 5\tau$ 时充电 (或放电) 过程已基本结束。由此看来, E 的大小对充电、放电过程的长短无关, 只决定于 τ 。

由上面计算公式可知, 如果已知 E 、 $\frac{E}{R}$ 和 τ 值, 则任一