

73.6
111
V.4

业余中等专科学校教材

电子技术

第四册

脉冲电路

(修订版)

上海市工农教育教材编写组

内 容 提 要

《电子技术》第四册为脉冲技术,共编排九章:第十二章脉冲电路的基础知识;第十三章晶体管反相器;第十四章双稳态触发器;第十五章单稳态触发器;第十六章自激多谐振荡器;第十七章射极耦合触发器;第十八章锯齿波形成电路;第十九章输入和输出电路;第二十章脉冲电路的稳定可靠性。在新编电子技术第四册中,对脉冲单元电路着重分析管子的饱和截止、翻转工作原理以及电容的充放电作用,对一些重要的脉冲波形也作一些分析,并简介一些改进电路。在应用上着重介绍自控有关的单元电路和单元组合的应用电路。

业余中等专科学校教材

电 子 技 术

第 四 册

· 脉 冲 电 路

(修 订 版)

上海市工农教育教材编写组

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路 450 号)

总发行所上海发行所发行 上海市印刷四厂印刷

开本787×1092 1/32 印张8.375 字数180,000

1978年1月第1版

1988年3月第2版 1988年3月第4次印刷

印数:142,001—148,200

ISBN7-5323-0636-4/TN·17(课)

统一书号:15119·1913 定价:2.10元

目 录

第十二章 脉冲的基本知识	1
第一节 概述.....	1
第二节 简单惰性电路的瞬态过程.....	3
一、 RC 电路的瞬态过程	3
二、 RL 电路的瞬态过程	7
第三节 限幅电路.....	9
第四节 箝位电路.....	11
第五节 微分电路和积分电路.....	15
一、微分电路.....	15
二、积分电路.....	18
本章小结.....	19
习题.....	20
第十三章 晶体管反相器	23
第一节 晶体管开关特性.....	23
一、晶体管的三个工作区域.....	23
二、晶体管开关转换过程.....	26
三、晶体管开关运用时的功耗.....	29
第二节 晶体管反相器工作原理.....	31
第三节 反相器饱和、截止条件.....	33
一、截止条件.....	33
二、饱和条件.....	34
第四节 反相器负载分析.....	35

一、接上负载的反相器	35
二、反相器负载能力分析	36
第五节 反相器的改进	39
一、用加速电容改善开关特性	39
二、带箝位二极管的反相器	40
三、带有阻尼电阻的反相器	41
四、抗饱和与非饱和反相器	42
五、带有保护二极管的反相器	43
第六节 反相器的设计举例	44
第七节 应用举例	48
一、液位自动控制	48
二、光敏继电器	50
本章小结	51
习题	52
第十四章 双稳态触发器	57
第一节 双稳态触发器基本原理	57
一、两个稳定状态	58
二、稳定状态的转换	59
第二节 双稳态触发器工作条件的分析	61
一、截止条件	61
二、饱和条件	62
第三节 双稳态触发器的触发方式	62
一、直接触发	63
二、微分触发	64
第四节 双稳态触发器波形分析	69
第五节 其他电路介绍	73
一、无偏压电路	73

二、自偏压电路	73
三、具有较好抗干扰能力触发器	74
第六节 双稳态触发器的设计	76
第七节 应用举例	80
本章小结	85
习题	86
第十五章 单稳态触发器	93
第一节 单稳态触发器工作原理	93
第二节 单稳态触发器波形分析	96
第三节 单稳态触发器的改进	98
一、改善输出方波上升边沿	98
二、缩短恢复期	99
三、输出幅度的稳定	101
四、防止发射结击穿	102
第四节 单稳态触发器的设计	104
第五节 射极耦合单稳态触发器	106
第六节 单稳态触发器应用举例	110
一、典型应用	110
二、染液流向时间程序控制	113
本章小结	117
习题	117
第十六章 自激多谐振荡器	120
第一节 集-基耦合多谐振荡器工作原理	120
一、集-基耦合多谐振荡器电路	120
二、集-基耦合多谐振荡器的工作原理	121
第二节 振荡幅度和振荡周期	125
第三节 电路的改进措施	126

一、输出脉冲上升沿的改善	126
二、防止不起振的措施	127
第四节 射极耦合多谐振荡器	128
第五节 多谐振荡器的设计与调试	129
一、自激多谐振荡器的设计	129
二、调试	132
第六节 多谐振荡器应用举例	133
一、汽车转弯闪光指示灯	133
二、用在可控硅自动周期换极电镀中的多谐振荡 电路	134
本章小结	136
习题	136
第十七章 射极耦合触发器	139
第一节 射极耦合触发器的工作原理	139
一、电路的工作原理	139
二、启动电压与释放电压	141
三、射极耦合触发电路稳定条件的分析	142
第二节 射极耦合触发器的滞后特性	144
第三节 射极耦合触发器的应用	145
一、波形的整形及变换	145
二、电压(幅度)鉴别	146
第四节 射极耦合触发器的设计举例	148
本章小结	150
习题	151
第十八章 锯齿波形成电路	153
第一节 简单锯齿波电压形成电路	154
第二节 正向补偿电路	157

一、正向补偿电路的基本原理	157
二、改进型自举电路	159
第三节 负向补偿电路	162
一、负向补偿电路的基本原理	162
二、改进型密勒电路	165
三、集成负向补偿电路	166
第四节 稳流型及互补型锯齿波形成电路	168
一、稳流型锯齿波电压形成电路	168
二、互补型锯齿波电压形成电路	169
第五节 锯齿波电压应用于电子示波器	171
一、示波管	171
二、锯齿波电压扫描原理	172
第六节 锯齿波电流形成电路	174
一、简单的锯齿波电流发生器	174
二、实际锯齿波电流发生器	177
三、电流放大器	178
四、电视行扫描电路	179
第七节 间歇振荡器	182
一、工作过程	183
二、脉冲宽度和自激振荡周期	186
本章小结	188
习题	189
第十九章 输入和输出电路	192
第一节 输入电路	192
一、光电输入机	193
二、光电放大电路	195
三、启停控制电路	196

四、可控硅开关电路	198
第二节 输出电路	202
一、步进电机工作原理	202
二、脉冲分配器	205
三、步进电机驱动线路	208
本章小结	212
习题	213
第二十章 脉冲电路的稳定可靠性	215
第一节 安装工艺的合理性	215
一、焊接质量	215
二、元件筛选	217
三、环境条件的考虑	218
第二节 脉冲电路的干扰及其抑制	219
一、干扰源的分析	219
二、干扰的抑制	220
三、接地	224
四、屏蔽	229
本章小结	233
习题	234
实 验	236
一、延时吸合继电器	236
二、双稳态触发器	237
三、单稳态触发器	240
四、多谐振荡器	242
五、射极耦合触发器	244
六、正向补偿锯齿波形成电路	246
附 录 SR8 型二踪示波器	248

第十二章 脉冲的基本知识

第一节 概 述

脉冲技术是电子技术中的一种基础技术,它在计算机、自动控制、雷达、电视、遥控、遥测、多路通信、数字仪表等方面都得到了广泛的应用。

那末什么叫脉冲呢?脉冲,顾名思义,它类似脉搏的冲动,表示存在时间极短的电压或电流波形。一般我们把非正弦变

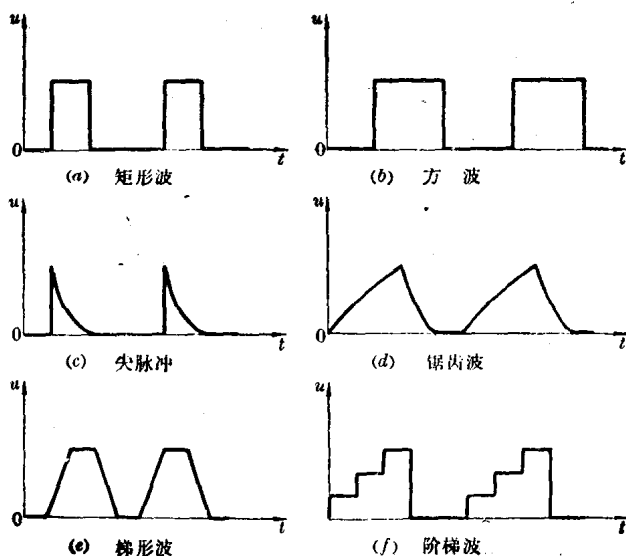


图 12-1 各种脉冲波形

8810505

化的电流或电压都称为脉冲，这些电压或电流具有陡直的边沿，即波形中包含有突变的成分。图 12-1 是我们经常遇到的几种脉冲波形。脉冲可以是周期性的，也可以是非周期性的。

我们用图 12-2(a) 的电路可以产生一串矩形脉冲。当每隔一定的时间间隔合上或断开开关 K ，在电阻两端便产生脉冲电压，如图 12-2(b) 所示。图示的脉冲是理想的，由于电路中存在分布电容等因素，实际的波形如图 12-3 所示。

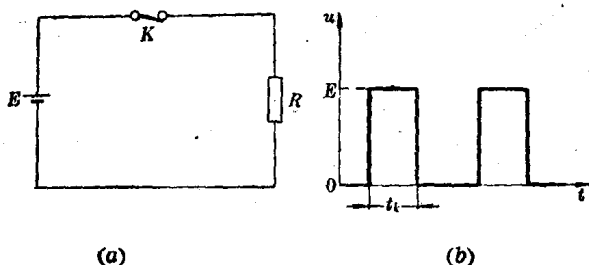


图 12-2 理想的矩形脉冲

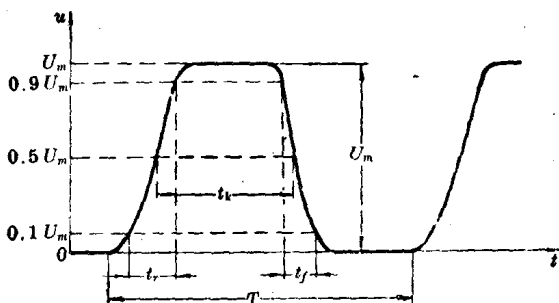


图 12-3 脉冲波形主要参数图

在图 12-3 中，告诉我们脉冲波形的一些主要参数。

- (1) 脉冲幅度 U_m ——脉冲从零值变化到峰值的幅度。
- (2) 脉冲前沿时间 t_r ——从 $0.1U_m$ 上升到 $0.9U_m$ 所需

时间。

(3) 脉冲后沿时间 t_f ——从 $0.9U_m$ 下降到 $0.1U_m$ 所需时间。

(4) 脉冲宽度 t_w ——从脉冲前沿的 $0.5U_m$ 到脉冲后沿的 $0.5U_m$ 所需时间。

(5) 脉冲重复周期 T ——周期性脉冲两个相邻脉冲重复出现所间隔的时间。

(6) 脉冲重复频率 f ——脉冲周期的倒数 $1/T$ 。

脉冲技术研究的内容主要是脉冲的产生、变换、传送、控制、计数等，它的电路都是由电阻 R 、电容 C 、电感 L 和晶体管所组成。这些元件在脉冲信号作用下的瞬态过程（暂态过程）构成了脉冲电路的基本矛盾。为了获得瞬态过程电路必须有两个组成部分：一个是开关，用以接通和断开电路，从而破坏电路的稳态，使之产生瞬态过程；一个是惰性电路，用以控制瞬态过程的快慢和形状。本书介绍的脉冲电路是用晶体管作开关元件的，而惰性电路则是 RC 、 RL 等充放电回路。除对晶体管开关特性， RC 、 RL 瞬态过程讨论外，还着重讨论几种典型脉冲电路（反相器、双稳态触发器、单稳态触发器、射极耦合触发器、锯齿波发生器等）的工作原理，并对脉冲的幅度、频率、宽度等主要指标作适当的计算。考虑到脉冲电路的广泛应用，还举一些生产实践中的例子和一些基本的抗干扰措施。

第二节 简单惰性电路的瞬态过程

一、 RC 电路的瞬态过程

RC 串联电路如图 12-4 所示。当开关 K 将电源接通时，

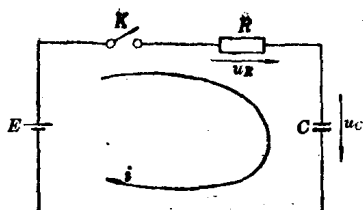


图 12-4 RC 串联电路

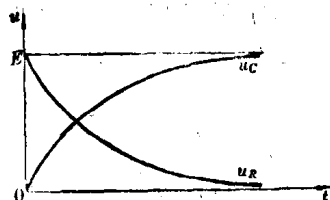


图 12-5 电容和电阻上电压波形图

电阻 R 上的电压 u_R 同电容上电压 u_C 之和等于外加电源电压 E 。在电源接通的瞬间, 电容上电荷不能突然建立, 它上面的电压等于零, 全部电压 E 都加在电阻 R 上。随着电容电荷的增加, u_C 越来越大, u_R 越来越小, 最后 u_C 增加到 E , u_R 则减小到零。这两个电压的变化如图 12-5 所示。

由定量分析可知, 电路中电流变化规律是

$$i = \frac{E}{R} e^{-t/RC} \quad (12-1)$$

电阻两端电压 u_R 和电容两端电压 u_C 的变化规律分别是

$$u_R = E e^{-t/RC} \quad (12-2)$$

$$u_C = E - u_R = E(1 - e^{-t/RC}) \quad (12-3)$$

它们都是时间 t 的函数。式子表明 RC 电路的瞬态特性决定于电路的时间常数 $\tau = RC$ 。在分析它们变化规律时要注意三个要素(也称三要素法):

- (1) $t = 0$ 时, $u_C = U_C(0)$, $u_R = U_R(0)$
- (2) 经过相当长的时间以后, $t = \infty$, $u_C = U_C(\infty) = E$, $u_R = U_R(\infty) = 0$ 。
- (3) 时间常数 $\tau = RC$ 。在某一时刻 t

$$i(t) = \frac{E - U_C(0)}{R} e^{-t/RC}$$

$$u_R(t) = [U_C(\infty) - U_C(0)] e^{-t/RC}$$

$$U_C(t) = U_C(0) + [U_C(\infty) - U_C(0)](1 - e^{-t/RC})$$

为了对瞬态过程和时间常数有较清晰的概念,列表如下:

t	$e^{-t/\tau}$	$1 - e^{-t/\tau}$	$u_C(t)$	$u_R(t)$
1τ	0.37	0.63	0.63E	0.37E
2τ	0.14	0.86	0.86E	0.14E
2.3τ	0.10	0.90	0.90E	0.10E
3τ	0.05	0.95	0.95E	0.05E
4τ	0.02	0.98	0.98E	0.02E
5τ	0.01	0.99	0.99E	0.01E

从理论上讲瞬态过程要进行无限长时间才结束,但从表中可知,当过程进行 3τ 时间后,电容已充电到稳态值 E 的 95%,而进行了 5τ 后,电容充电已充到稳态值 E 的 99%。工程上一般认为达到 E 的 95% 过程就算结束了,所以一般过渡过程进行的总时间 $t_s \approx 3 \sim 5\tau$ 。根据定义,输出电压前沿时间 $t_r \approx 2.3\tau - 0.1\tau = 2.2\tau$ 。亦即 RC 电路对阶跃信号响应的前沿时间 t_r 为时间 τ 的 2.2 倍。

例 1-1 电容 C 上的初始电压 $U_C(0) = -E$, 极性如图

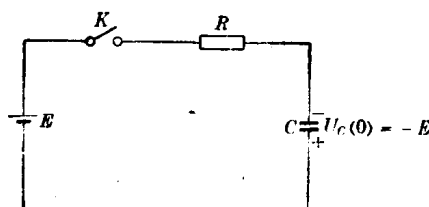


图 12-6 $t = 0$ 时电容上电压和极性

12-6 所示, 合上 K 后求 $u_c = 0$ 的时间 t_k 。

解 根据 RC 瞬态过程分析的三要素法, $U_c(0) = -E$, $U_c(\infty) = E$ 。它的电压变化是

$$U_c(\infty) - U_c(0) = 2E$$

$$\therefore u_c = U_c(0) + [U_c(\infty) - U_c(0)](1 - e^{-t/RC}) \\ = -E + 2E(1 - e^{-t/RC})$$

如果 $t = t_k$ 时, $u_c = 0$, 则

$$-E + 2E(1 - e^{-t_k/RC}) = 0$$

$$e^{-t_k/RC} = 1/2$$

$$(-t_k/RC) \cdot \lg e = -\lg 2$$

$$t_k = RC \cdot \frac{\lg 2}{\lg e} = \frac{0.301}{0.434} \cdot RC = 0.7RC = 0.7\tau.$$

对于 C 上并联有电阻 R_2 的电路, 如图 12-7(a) 所示, $u_c(0) = U_c(0) = 0$, $U_{R_1}(0) = E$, $i(0) = E/R_1$, 经过相当长一段时间, C 上的电压 $U_c(\infty)$ 并不等于 E ,

$$U_c(\infty) = \frac{ER_2}{R_1 + R_2}$$

利用等效发电机原理, 其等效电路见图 12-7(b), 图中 R 为 $R_1 // R_2$ (不考虑电源内阻), 于是

$$\tau = RC = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} C$$

$$u_c = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} (1 - e^{-t/\tau}) \\ = \frac{ER_2}{R_1 + R_2} (1 - e^{-t(R_1 + R_2)/R_1 R_2 C})$$

由此可以得出求 τ 的规则: 将电路中电压源短路, 但保留其串联的电阻 (对于电流源则将电源开路, 保留其并联内阻), 然后把电路中各个电阻和电容归并为一个 RC 电路, 将

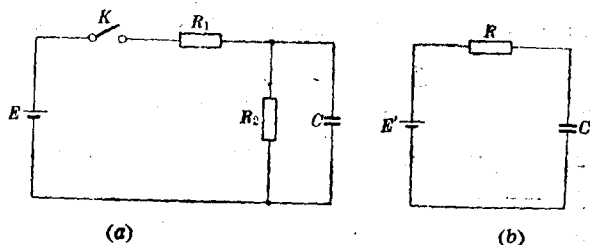


图 12-7 复杂 RC 电路

总电阻 R 与电容 C 串联起来, RC 即时间常数 τ^* 。

二、RL 电路的瞬态过程

图 12-8 是一个简单的 RL 电路, 在开关接通前, 电感中没有电流, 即 $I_L(0) = 0$, K 接通以后电流 i 的变化规律是

$$i = \frac{E}{R}(1 - e^{-t/\tau}) \quad (12-4)$$

式中 $\tau = L/R$ 。

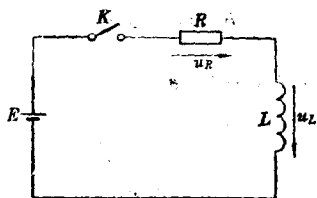


图 12-8 RL 串联电路

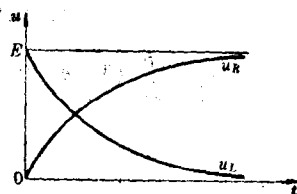


图 12-9 L 和 R 上电压波形

电阻 R 和电感 L 两端的电压 u_R 和 u_L 分别是

$$u_R = E(1 - e^{-t/\tau}) \quad (12-5)$$

* 如果最终不能归并为单一的 RC 串联形式, 则意味着该电路在输入为阶跃电压作用下输出不是一个单调的指数波形, 此法不适用, 可参阅其他书籍。

$$u_L = Ee^{-t/\tau} \quad (12-6)$$

类似于图 12-5，它们的变化曲线如图 12-9 所示。

在分析它们的变化规律时，同样要掌握三个要素：

- (1) 刚接通时，电感中的电流 $I_L(0)$ 。
- (2) 经过相当长时间后（一般指 5τ 以后） $I_L(\infty)$ 。
- (3) 电路的时间常数 τ 。

例 12-2 求图 12-10 中的电路电感两端电压和电流的变化规律。假设开关 K 在 $t=0$ 时合上，到 t_1 后再打开。

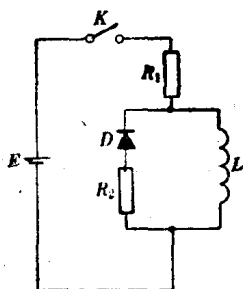


图 12-10 有保护电路的 RL 电路

解 我们分两个阶段来分析：

(1) K 合上之前， $I_L(0) = 0$ 。 K 合上后电流流过 L ，在 L 上产生上正下负的电压，此时二极管 D 反偏截止，所以这个电路是由 R_1 和 L 组成的串联电路，它的时间常数 $\tau_1 = L/R_1$ 。经过相当长时间以后（即 5τ 以后） i_L 将达到 $I_L(\infty) = E/R_1$ 。因此

$$i_L = \frac{E}{R_1} (1 - e^{-t/\tau_1}) = I_L(\infty) (1 - e^{-t/\tau_1})$$

$$u_L = Ee^{-t/\tau_1}$$

(2) 从 $t=t_1$ 开始，为方便起见取 $t_1=0$ ，这时开关 K 断开，但 i_L 不能突变，在断开瞬间 $I_L(t_1)$ 通过 L 的方向不变，它将从 R_2 和 D 中流过形成回路。这时感应电压 u_L 是下正上负，二极管 D 导通。由于二极管正向电阻 r 很小，于是这个电路的时间常数 $\tau_2 = L/(R_2 + r)$ 。 i_L 经过 5τ 后将趋向于零， $I_L(\infty) = 0$ 。

$$i_L(t) = I_L(t_1) + [I_L(\infty) - I_L(t_1)](1 - e^{-t/\tau_2})$$

L 两端电压就是 D 和 R_2 两端的电压

$$u_L = -i_L(t)(R_2 + r)$$

若 R_2 极大相当于 D 断路, 此时反向高压 $u_L = -i_L R_2$ 之值很大, 故图 12-10 是继电器或脉冲变压器上常用到的保护电路, 由于有二极管作通路以避免 K 断开时产生的反向高压的影响。

第三节 限幅电路

在电子技术中, 经常要对信号进行加工处理, 使之符合一定的要求, 譬如从噪声中选出有用信号; 或从不同极性的脉冲中切割出同一极性的脉冲; 或削平波形的顶部; 或用正弦波产生方波等等, 这个工作通常由限幅器来完成。

我们来分析图 12-11(a) 所示的二极管限幅器。由于二极管与输出端是串联的, 称作串联限幅器。

假定输入正脉冲 u_{rr} (图 12-11(b)) 作用时, 二极管导通, 输入电压就通过二极管加到输出端, 如果二极管的正向电阻很小, 那末输出电压 $u_{ss} \approx u_{rr}$ 。当负脉冲作用时, D 截止, 因此没有输出, $u_{ss} = 0$ 。由此可见, 脉冲信号通过串联限幅电路后, 负脉冲被削去, 只有正脉冲输出。如将二极管 D 反过来接, 那末只有当负脉冲来到时二极管是导通的, 这时 $u_{ss} \approx u_{rr}$, 当正脉冲来到时二极管截止, 这样就可以削去正脉冲, 只让负脉冲输出。

分析串联限幅电路的关键是二极管 D 在什么时候导通。当 D 导通时, 输出信号 u_{ss} 等于输入信号 u_{rr} 。在图 12-12 中, 只有当 u_{rr} 高于 E 时, D 才是导通的, 所以脉冲信号中高于 E 的部分都能通过。当脉冲信号低于 E 时, D 截止, 输出等于