

■ 无线电实验丛书

脉冲与数字电路实验教程

■ 陈振新 编

■ 关绮玲

■ 陶金龙

复旦大学出版社

TN78

C65

346365

脉冲与数字电路实验教程

陈振新 关绮玲 陶金龙 编



复旦大学出版社

内 容 提 要

本书论述了脉冲电路、集成电路、组合电路和时序电路的工作原理,简要介绍数字电路、模拟电路及其故障的检测方法。全书分为八个单元,其中包括三十三个实验。第一单元介绍脉冲电路及其应用,第二单元讲述集成电路及其应用,第三单元论述组合电路,第四单元概述触发器、锁存器及其应用,第五单元介绍时序电路,第六单元讲述微型计算机常用的数字与模拟电路,第七单元介绍数字系统设计,第八单元讲述数字电路与系统的故障检测和诊断。

《脉冲与数字电路实验教程》是《无线电实验丛书》中的一本。它可作为综合性大学无线电专业及师范院校无线电专业的实验教材或实验教学参考书,也可供工科院校师生和有关工程技术人员参考。

无线电实验丛书

1. 脉冲与数字电路实验教程
2. 模拟电子线路实验
3. 微机原理与应用实验
4. 近代无线电实验
5. 常用无线电仪器和器件手册

责任编辑:林溪波



脉冲与数字电路实验教程

陈振新 关绮玲 陶金龙 编

复旦大学出版社出版

(上海国权路579号)

新华书店上海发行所发行 复旦大学印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张14.75 字数363,000

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数1—3,000

ISBN7-309-00471-X/O·72

定价: 3.35元

前 言

本书是根据高等学校理科无线电类教材编委会于1983年11月在成都会议上通过的“电子线路实验教学大纲”，参照多年来采用的“脉冲与数字电路实验”讲义，重新加以整理、修改补充而成的。

为了适应数字技术迅速发展的需要，我们于1980年开设了这一门实验课。自1983年以来，为了培养学生的实际动手能力，逐步抛弃了搬开关、测参数的传统实验方法，采取“开放实验”的形式，并从单元电路的设计、安装、调试入手，直至进行数字系统设计。这种方法实验难度增大，可以充分调动学生学习的主动性和积极性，有利于他们实验水平的迅速提高。因此，本书考虑了如下各点：i. 自始至终贯穿了“设计-安装-调试”一条线，先单元电路而后进行数字系统的设计。ii. 书中把有关工程设计、应用与测量等在前面先作必要的阐述，然后写出几个可供实验的题目。实验题目简明扼要，只给出题目、实验目的和能够提供的器材，其他实验电路(或方案)、实验步骤及所需仪器则留给学生自行拟定。iii. 列有可供选择的三种不同类型的题目，分别满足不同教学阶段，不同专业和不同层次学生的要求。第一种是用于配合课堂教学、验证性的实验(见实验1-1, 实验1-2, 实验1-4, 实验2-1, 实验2-2, 实验4-1, 实验5-1以及实验5-2)。这类实验都有专门的实验装置，并列有详细的实验步骤。可与课堂教学同时进行，以增加学生的感性知识。第二种是自行设计、安装和调试的单元电路实验。这类实验已完全脱离纯粹验证的范畴，目的在于对学生进行工程设计和调试的初步训练。第三种是数字电路的综合(系统设计实验)，目的在于进一步培养学生的实际动手能力，学生在学完理论课以后应以第二种实验为主，再加上少量的第三种类型的实验。对于动手能力较强的学生，可适当加重第三种类型实验的份量。iv. 考虑到理科无线电专业一般都未设置“电子测量”课程，而实验中又牵涉到许多有关测量的问题，因此专门把“脉冲与数字测量技术”部分内容作为附录列入。v. 考虑到近年来微型计算机的迅速发展，专门列入了“微型计算机常用的数字与模拟电路”这一单元。vi. 考虑到学生在实验中普遍感到排除故障的困难，因此最后还专门列入了“数字电路系统的故障检测和诊断”这一单元。

本书分为八个单元，并且还包括两个附录。其中第一、四、七、八单元和附录[I]由陈振新编写，第三、六单元和附录[II]由关绮玲编写，第二、五单元由陶金龙编写。雍新生、陆延璋、邱友瑾、黄义石等同志曾参加过“脉冲与数字电路实验”讲义中部分实验的编排工作。全书由陈瑞涛副教授审稿，黄维康、童家榕、刘祖望同志曾参加过部分内容的初审工作。在本书的编写过程中得到了邵祥义副教授的热忱关怀和指导，在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，错误和不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1988年8月于复旦大学

目 录

前 言	1
-----------	---

第一单元 脉冲电路及其应用

一、 R 、 L 、 C 电路的暂态过程和晶体管的开关特性	1
二、脉冲变换电路	7
三、脉冲电路的综合应用——同步等幅扫描系统的研究	12
实验 1-1 惰性电路暂态过程的观察与测试	18
实验 1-2 晶体管开关特性的研究	20
实验 1-3 脉冲变换电路的设计、安装与调试	21
实验 1-4 同步等幅扫描系统的研究	23

第二单元 集成门电路及其应用

一、集成门电路的参数测量	27
二、集成门电路组成的脉冲单元电路	38
三、集电极开路(OC)门及三态输出(TS)门	46
实验 2-1 TTL 与非门电路的参数测量	49
实验 2-2 集电极开路(OC)门和三态输出(TS)门的应用	52
实验 2-3 门电路构成的脉冲单元电路的设计与调试	53

第三单元 组合电路的分析与设计

一、组合电路的分析	56
二、组合电路的设计	59
三、组合电路中竞争冒险现象的消除	69
实验 3-1 基本门电路的组合逻辑设计	71
实验 3-2 用中规模集成功能块设计组合电路	72
实验 3-3 组合电路冒险现象的观察和消除	72

第四单元 触发器、锁存器及其应用

一、门型触发器和锁存器	74
二、集成触发器和锁存器	78
三、集成触发器和锁存器的应用	91
实验 4-1 门型触发器和锁存器特性研究	97
实验 4-2 门型锁存器的应用	100
实验 4-3 集成触发器和锁存器的功能测试及其应用	101

第五单元 时序电路的设计及其应用

一、同步时序电路设计	103
二、异步时序电路设计	116
实验 5-1 计数器的设计 and 应用	125
实验 5-2 移位寄存器的研究和应用	129
实验 5-3 同步时序电路的设计、安装和调试	131
实验 5-4 异步时序电路竞争现象的观察与研究	132
实验 5-5 异步时序电路冒险现象的观察与研究	133

第六单元 微型计算机常用的数字与模拟电路

一、半导体存储器	134
二、ROM 在组合逻辑中的应用	137
三、数-模转换电路(DAC)	139
四、模-数转换电路(ADC)	144
五、TP 801 单板机中的辅助电路与简单的 I/O 接口	146
实验 6-1 二极管 ROM 及其应用	148
实验 6-2 AD 7520 及其应用	149

第七单元 数字系统设计

一、小型数字系统设计概述	151
二、小型数字系统控制器设计	163
三、用中规模集成器件设计数字系统	166
实验 7-1 低频脉冲信号发生器电路设计	169
实验 7-2 具有加、减、乘功能的运算电路设计	170
实验 7-3 计数型控制器设计	170
实验 7-4 智力竞赛抢答计时系统设计	171
实验 7-5 出租汽车候时计价系统设计	172
实验 7-6 三位数字频率计系统设计	172
实验 7-7 六位 ADC 系统设计	173
实验 7-8 波形冻结系统设计	174

第八单元 数字电路系统的故障检测和诊断

一、概述	176
二、单个元器件的故障引入	180
三、数字集成电路的故障检测	182
四、线性集成电路的故障检测	189
五、数字系统的故障检测和诊断	194
实验 8-1 电话音响发生器故障检测	201

实验 8-2	555 定时器电路的故障检测	202
实验 8-3	数字斜坡信号发生器故障检测	204
实验 8-4	数字显示部件的故障检测	205
实验 8-5	数字式温度测量系统的故障检测	206
附录【I】	脉冲与数字测量技术	209
一、概述		209
二、双踪单扫描示波器的测量应用		210
三、数字逻辑量的一般测量		215
四、测量仪器的选择和测量结果处理		219
附录【II】	数字逻辑电路通用实验板使用说明	224
参考文献		226

第一单元 脉冲电路及其应用

用于产生、变换、传递和测量脉冲的电路，称为脉冲电路。脉冲电路的形式可以多种多样，但都离不开两个主要的组成部分，一个是开关，用以产生暂态过程；另一个则是惰性电路，用以控制暂态过程的快慢和形状。在脉冲电路中的开关元件可以是晶体二极管或三极管，而惰性电路由 RC、RL 或 RLC 串联组成。由于数字技术的发展和大规模集成电路的广泛应用，虽然在不少方面已开始取代脉冲电路，但在高频领域内分立元件脉冲电路仍然是主要的。而且，“晶体管的开关特性”和“惰性电路的暂态过程”，作为二个最基本的概念，在数字技术的应用中仍须予以掌握。因此本单元内容，作为基本功的训练是必不可少的。

一、R、L、C 电路的暂态过程和晶体管的开关特性

(一) RC、RL、RLC 电路的暂态过程

1. RC 电路的暂态过程

RC 电路中电压(或电流)变化的暂态过程可以用如下的一般公式描述：

$$f(t) = f(0) + [f(\infty) - f(0)](1 - e^{-t/\tau}) \quad (1-1)$$

式中 $f(0)$ 是 $t = 0$ 时电压(或电流)的初始值； $f(\infty)$ 是 $t \rightarrow \infty$ 时电压(或电流)的稳定值； τ 是电路的时间常数。

由式(1-1)不难得出电压(或电流)达到某一规定值 $f(T_1)$ 时的时间计算式：

$$T_1 = \tau \ln \frac{f(\infty) - f(0)}{f(\infty) - f(T_1)} \quad (1-2)$$

以图 1-1 所示的简单 RC 串联电路为例：

在 $t = 0^+$ 时刻 K 接通，输入一个幅值为 E 的阶跃电压。由电路可写出：

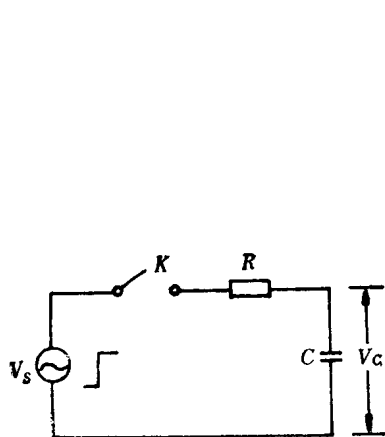


图 1-1 RC 串联电路

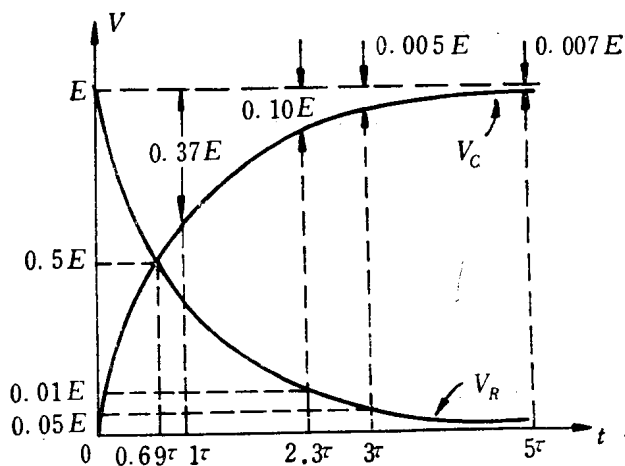


图 1-2 RC 串联电路 V_C 、 V_R 曲线

$$V_C(0) = 0, V_C(\infty) = E, \tau = RC$$

$$V_R(0) = E, V_R(\infty) = 0$$

代入(1-1)式可得

$$V_C = E(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_R = Ee^{-t/\tau} \quad (1-3)$$

根据(1-3)式可以画出图 1-1 电路充电时的 V_C 和 V_R 的变化规律, 如图 1-2 所示。图 1-2 所示曲线的电压和时间的关系如表 1-1 所示。

表 1-1

t	0	0.69τ	τ	2.3τ	3τ	5τ
V_C	0	$0.50E$	$0.63E$	$0.90E$	$0.95E$	$0.993E$
V_R	E	$0.50E$	$0.37E$	$0.10E$	$0.05E$	$0.007E$

由图 1-2 和表 1-1 可得出以下结论:

i. $t = 0^+$, 开关刚接通时, 电容两端的电压 V_C 不能突变, 而充电电流 i_C 为最大。以后, V_C 和 i_C 均按指数规律变化。

ii. 从理论上说, 电路要达到稳定(即 V_C 充电到 E), 其时间是无穷长的, 一般以 V_C 充电到 $0.90E$ 的时间(2.3τ)为暂态过程的宽度。有时亦以 $3 \sim 5\tau$ 作为暂态持续期, 表示充电过程已基本完毕。

iii. 对应于不同的时间常数, 电路充电速度不同。图 1-3 给出了三条不同 τ 的充电曲线。可见, τ 越大, 充电过程越慢。反之亦然。

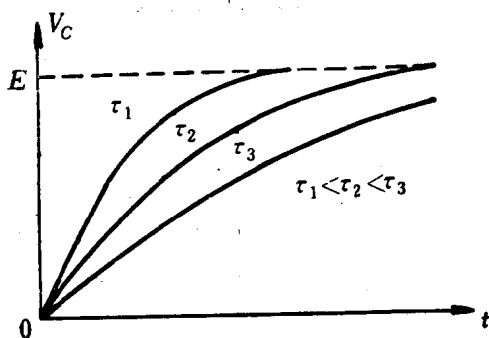


图 1-3 不同 τ 时的充电曲线

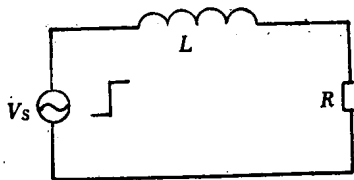


图 1-4 RL 串联电路

2. RL 电路的暂态过程

RL 电路的暂态过程和 RC 电路一样, RL 电路中电流(或电压)的变化规律亦可用公式(1-1)来描述。只是 RL 电路的时间常数

$$\tau = L/R$$

对于图 1-4 所示电路, 其输出

$$V_R = E(1 - e^{-t/\tau})$$

$$V_L = Ee^{-t/\tau} \quad (1-4)$$

由式 1-4 可见, RL 电路的暂态过程同样决定于电路的时间常数, $\tau = L/R$ 。L 越大, R

越小,而 τ 越大时,其暂态过程也就越长。

3. RLC 电路的暂态过程

对于图 1-5 所示 RLC 串联电路,其输出

$$V_o(t) = 1 + \frac{e^{(-\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})\omega_0 t}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}(\sqrt{\xi^2 - 1} - \xi)} + \frac{e^{(-\xi - \sqrt{\xi^2 - 1})\omega_0 t}}{2\sqrt{\xi^2 - 1}(\sqrt{\xi^2 - 1} + \xi)} \quad (1-5)$$

式中 $\xi = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$ 为阻尼因子; $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ 为谐振角频率。

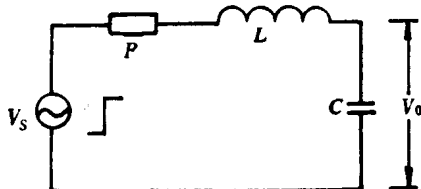


图 1-5 RLC 串联电路

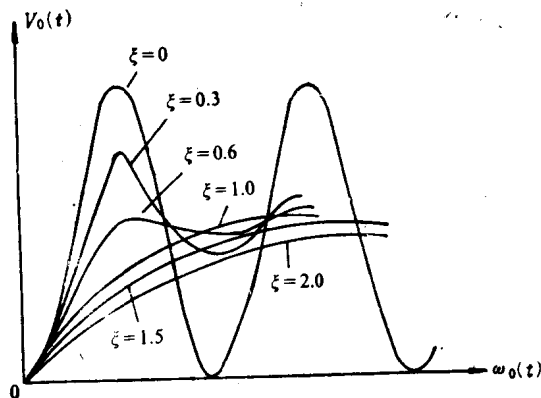


图 1-6 RLC 串联电路的电压波形

由式(1-5)可得图 1-6。

由图 1-6 可见:

(i) 当 $\xi > 1$ ($\xi = 1.5$ 和 $\xi = 2$) 时,暂态过程里的电压波形是非周期的。一般称它为过阻尼。而且, ξ 越大暂态过程越长。

(ii) 当 $\xi < 1$ ($\xi = 0.3$ 和 $\xi = 0.6$) 时, 暂态过程里的电压波形是一个振幅衰减的正弦振荡, 一般称它为欠阻尼。而且 ξ 越小阻尼越小, 振荡的衰减也就越慢。当完全没有阻尼 ($\xi = 0$) 时振荡不衰减, 暂态过程的电压波形是一个角频率为 ω_0 的连续振荡, 如图 1-6 中 $\xi = 0$ 曲线所示。

(iii) 当 $\xi = 1$ 时, 暂态过程的电压波形按指数规律变化, 一般称它为临界阻尼。

由上述可见, 在 RLC 电路中, 电压 V_o 的暂态过程形状和持续时间与 R 和 $2\sqrt{\frac{L}{C}}$ 之间的比值(即 ξ 值)有很大关系。当 $\sqrt{\frac{L}{C}}$ 不变时, 若 R 由大变小, 则电路的暂态过程将由过阻尼变到临界阻尼, 再变到欠阻尼。在过阻尼时, R 越大, 暂态过程越长; 在欠阻尼时, R 越小暂态过程越长, 因此, 在临界阻尼时暂态过程最短。

(二) 晶体管的开关特性

1. 晶体二极管的开关特性

二极管的开关特性如图 1-7 所示, 在输入为正电压的时间内, 二极管 PN 结存贮了多余的少数载流子(P 区为电子, N 区为空穴), 因此当输入信号由正电压变到负电压时, 二极

管不会立即断开, 在 t_s 这段时间(称为存贮时间)内, 二极管继续呈现低阻抗并有很大的反向电流 $i_d \approx -E_2/R$, 只有当过剩载流子逐渐消失后, 反向电流才会逐渐减小。再经过一段时间 t_f (称为下降时间), i_d 才会达到 I_0 。 $t_R = t_s + t_f$ 称为二极管的反向恢复时间。

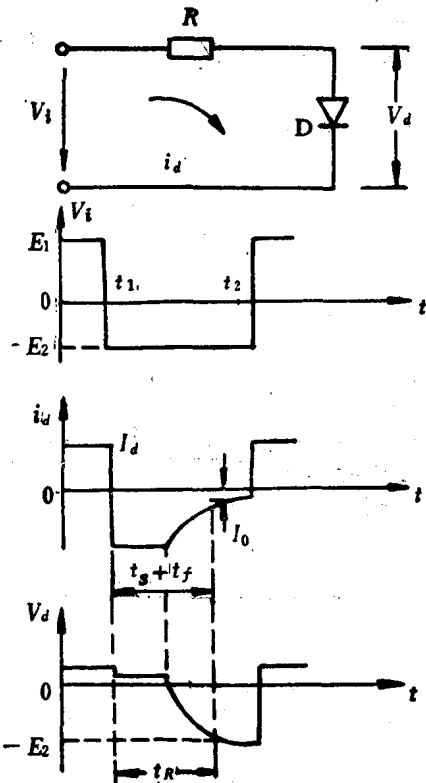


图 1-7 二极管的开关特性

二极管的反向恢复时间与管子本身的结构有关。如开关管的 t_R 就比较小。反向恢复时间还与输入信号幅度的大小和直流电平的高低有关。由于正向导通电流小, 存贮的少数载流子少, 会使 t_R 变小; 反向电流大, 对过剩载流子驱散快, 也会使 t_R 变得小。因此晶体管手册上给出的反向恢复时间都是在一定正向和反向电流条件下给出的。

二极管由反向截止转到正向导电也有一段暂态过程, 但由于这段时间极短, 通常可以忽略不计。

应该指出, 除了少数载流子存贮效应及二极管的结电容会引起开关暂态外, 寄生电容对开关时间也会有影响, 尤其对高速开关管, 因结电容很小, 寄生电容的影响往往会突出一些。

2. 晶体三极管的开关特性

晶体三极管在开关过程中的电流和电压波形如图 1-8 所示。其中 i_b 的变化规律与二极管的 i_d 一样。集电极电流 i_c 的开关特性可分为四个阶段:

(1) 延迟时间 t_d

从 t_0 时刻起(即输入信号由 $-E_2$ 跃变到 $+E_1$ 的时刻), 到 i_c 上升到 $0.1I_{CS}$ ($I_{CS} \approx V_{CC}/R_C$ 为集电极饱和电流)所对应的这段时间称为延迟时间, 以 t_d 表示。不难理解, 基极直流偏置越负, 输入信号绝对值 E_2 越大或 E_1 越小, R_b 越大, 则 t_d 越大。

(2) 上升时间 t_r

i_c 从 $0.1I_{CS}$ 上升到 $0.9I_{CS}$ 所对应的时间称为上升时间。不难理解, 上升时间与饱和深度有关。饱和越深, 管子从截止到导通越容易, 所需上升时间越少, 因此加大基极正向注入电流 I_{b1} , 可以减少上升时间。上升时间还与基区宽度有关。基区宽度越小, t_r 也越小, 因此高频开关管的基区都做得很薄。 t_r 的大小还与集电结电容 C_{bc} 有关, 若 C_{bc} 小, 则 t_r 可小。

(3) 存贮时间 t_s

输入信号由 $+E_1$ 突变到 $-E_2$ 开始, 直至 i_c 下降到 $0.9I_0$ 所对应的时间, 称为存贮时间 t_s 。

不难理解, 存贮时间也与饱和深度有关。当增大基极正向注入电流 I_{b1} 使饱和深度加深时, t_s 将变大; 而当增大基极反向注入电流 I_{b2} 使存贮电荷加快驱散时, t_s 将变小。因此, 为缩短存贮时间, 在电路可加大反向基极电流和避免使晶体管进入过饱和状态; 在管子制造时可采用“掺金”等特殊工艺, 以加速存贮电荷的复合过程。

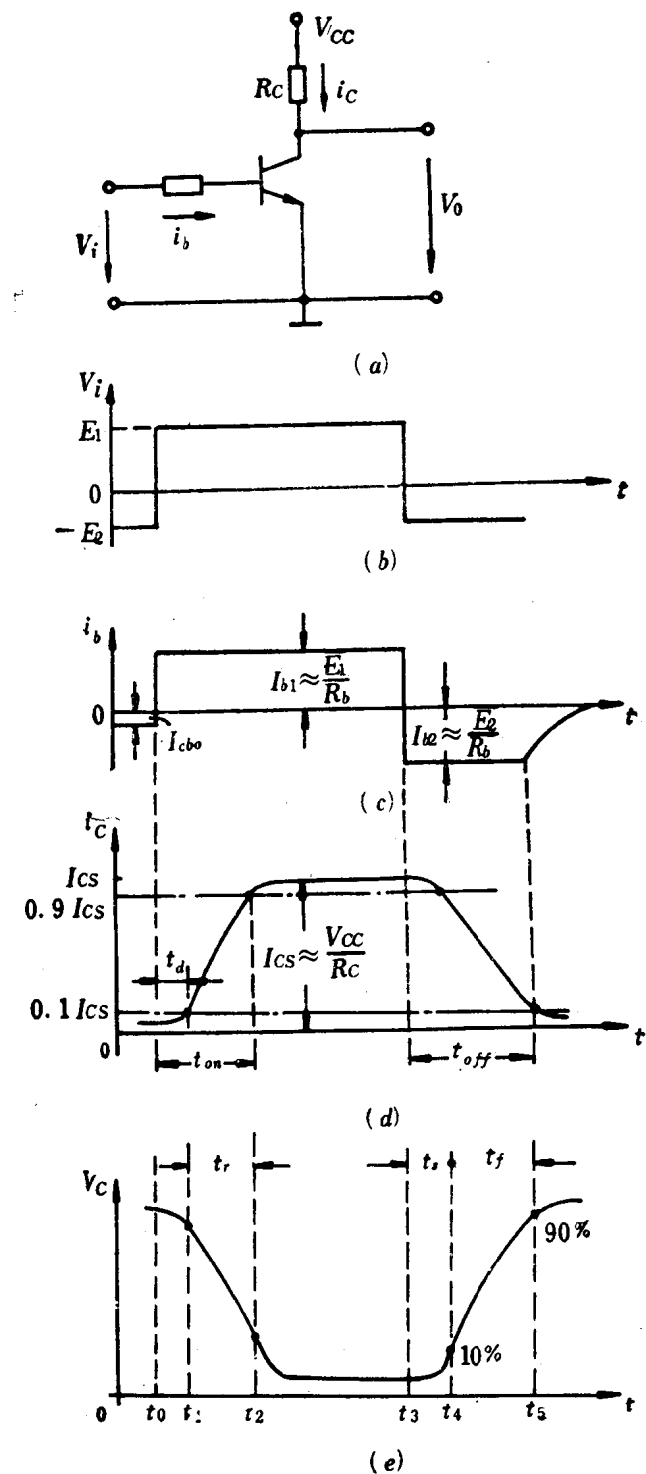


图1-8 三极管的开关特性

(4) 下降时间 t_f

存贮时间结束后, i_c 开始下降, i_c 从 $0.9I_{cs}$ 下降到 $0.1I_{cs}$ 所对应的这段时间称为下

降时间。加大基极反向注入电流 I_{b2} , 可缩短下降时间 t_f 。

由上述可知, 不同的输入驱动电流将对三极管的开关时间有很大的影响。正向基极电流 I_{b1} 增大可使上升时间缩短, 但存贮时间 t_s 加大。反向基极电流 I_{b2} 增大, 则存贮时间和下降时间都将缩短。

在晶体管手册上一般都给出了开关管的 t_{on} 和 t_{off} 两个参数值。 $t_{on} = t_d + t_r$, 通常称为三极管的“异通时间”, $t_{off} = t_s + t_f$, 通常称为三极管的“截断时间”, 它们都是在一定的输入电流条件下测得的。

在上面分析讨论的过程中未考虑外界电容的影响, 但在实际电路中集电极外界电容(负载电容和寄生电容)的影响往往是不能忽略的, 它将影响开关的上升时间和下降时间。在有些情况下, 外界电容还可能成为决定开关特性的主要因素。

3. 加速电容的作用

从上面的分析可知, 增大驱动电流 I_{b1} 可以缩短 t_r , 但 t_s 将增大。因此理想的驱动电流应当先大(加速建立过程)后小(不使管子进入过饱和状态), 利用加速电容可以做到这一点。

采用加速电容的开关电路如图 1-9 所示。电容 C_b 即为加速电容。 t_0 时, V_i 从 $-E_2$ 跳变到 $+E_1$, 由于 C_b 的存在, R_b 相当于被短路, V_i 几乎全部加到基极, 形成一个瞬时很大的正向基极电流, 它促使基区电荷快速增长, 使 t_d 和 t_r 大大缩短。 i_b 的变化如图 1-9b 所示, 随着 C_b 被充电, i_b 将逐渐减小, 充电完毕后, 基极电流将减小到 $I_{b1} = E_1/R_b$ 。只要使 I_{b1} 略大于 $I_{bs} \approx I_{cs}/\beta_0$, 即维持管子在线性饱和状态, 使基区存贮电荷不很多, 就可以缩短 t_s 。

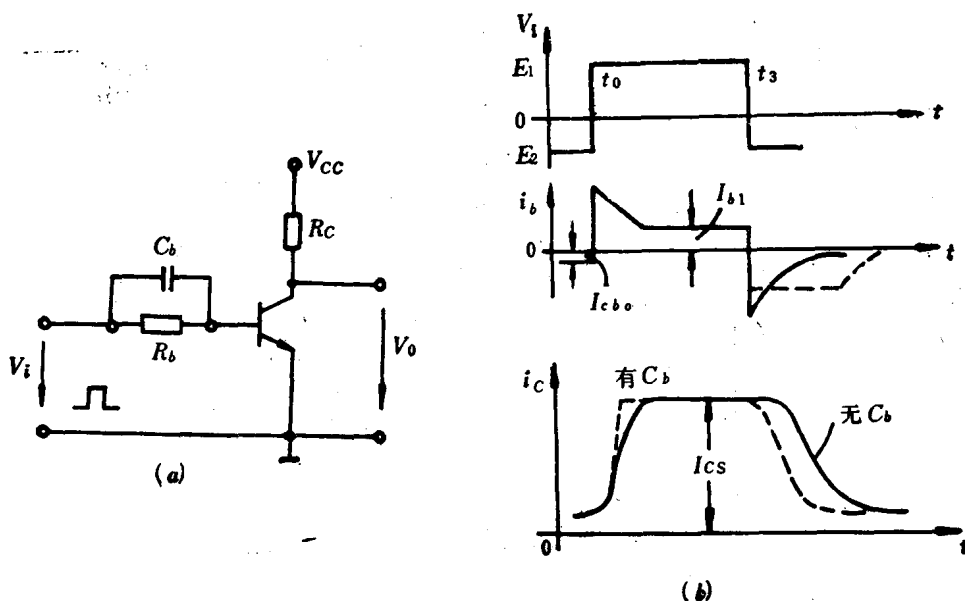


图 1-9 含有加速电容的三极管开关特性

在 t_3 时, 由于 V_i 从 $+E_1$ 跳变到 $-E_2$, 负跳变被 C_b 短路到基极, 造成一个瞬时很大的反向基极电流, 因此大大加快了存贮电荷的消散, 缩短了 t_s 和 t_f 的时间。同样, 随着 C_b 放

电,也会使 i_b 减小,从而开关管很快稳定在截止状态。

用加速电容促进管子饱和与截止之间快速转换,既加速了“导通”,又加速了“截断”,因此在脉冲电路中获得广泛的应用。

加速电容 C_a 的数值要选得恰当,若 C_a 太小,大电流存在的时间太短,作用不大,若 C_a 太大,则可能在输入方波结束时, i_b 还没有达到稳定,起不到减少存贮的作用。 C_a 的值还与 R_b 、 R_c 大小有关,并且开关管应用的场合不同,对 C_a 值的要求也会有差异。因此, C_a 值应由实验确定。

二、脉冲变换电路

在许多设备里,常常需要对已有的波形进行变换。利用 RC 电路(或 RL 电路)的瞬态过程及晶体二极管或三极管的开关特性,可以实现脉冲波形的变换。最常用的脉冲变换电路有微分电路、积分电路、 RC 分压器、削波电路和钳位电路。

(一) 微分电路

图 1-10 a 所示电路中,当电路元件满足下列条件:

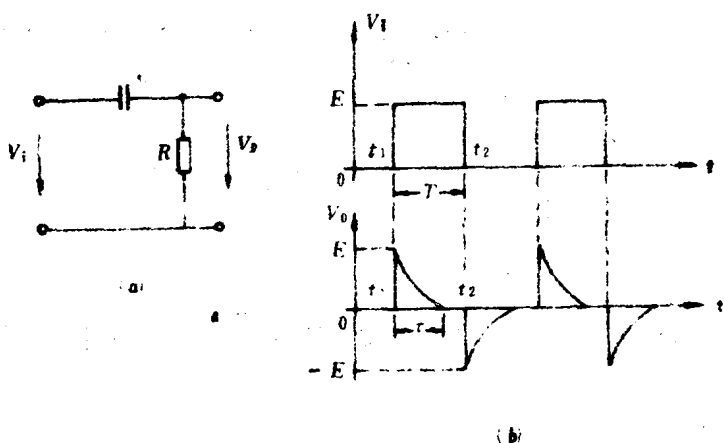


图 1-10 RC 微分电路及其输出波形

$$RC \ll T$$

(1-6)

时(式中 T 为输入矩形脉冲的宽度),该电路便成为微分电路。其波形如图 1-10 b 所示,当 1-10 a 电路输入一个幅度为 E 的矩形脉冲时,输出为一对正、负尖脉冲,尖脉冲的幅值等于矩形脉冲的幅值。尖脉冲的底部宽度 τ 约为 $3RC$ 。

由于实际电路中信号源总是存在内阻的,因而在选取元件数值时必须考虑信号源内阻对微分电路输出波形的影响。图 1-11 是考虑了信号源内阻后的微分电路。由图可见,由于信号源内阻 R_s 的存在,输出电压跳变的幅度必然小于输

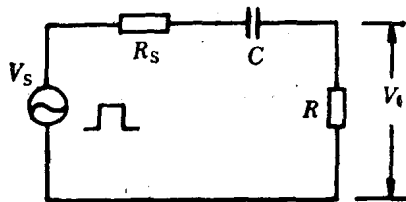


图 1-11 信号源内阻的影响

入矩形脉冲幅值 E , 此时尖脉冲幅度为

$$V_o(0) = E - \frac{R}{R+R_s} \quad (1-7)$$

由于电路的时间常数变为 $(R+R_s)C$, 因而尖脉冲底部宽度

$$\tau = 3(R+R_s)C \quad (1-8)$$

考虑到信号源内阻的这一影响, 电路元件选取时应使 $(R+R_s)C \ll T$ 。同时, 为了减小信号源内阻的影响, 应使 $R \gg R_s$ 。

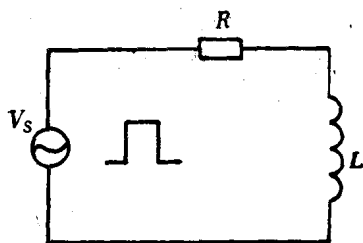


图 1-12 RL 微分电路

除了 RC 电路可构成微分电路外, 利用 RL 电路暂态特性, 也可形成微分电路, 其电路如图 1-12 所示。实际电路中, 有时 R 不接入而利用信号源的内阻。当这个电路输入一个宽度为 T 的矩形脉冲时只要电路元件满足条件:

$$L/R \ll T \quad (1-9)$$

则输出亦为一对正、负尖脉冲。

(二) 积分电路

积分电路是一种能将矩形波变成三角波的脉冲变换电路, 其电路形式如图 1-13a 所示, 积分电路的条件是:

$$\tau = RC \gg T \quad (1-10)$$

当输入幅度为 E , 周期为 $2T$ 的方波脉冲时, 在渐移过程结束后, 积分电路输出的三角波峰值 V_m 如图 1-13b 所示, 其值为

$$V_m = \frac{E}{2RC} T \quad (1-11)$$

利用电感也可以形成积分电路, 由 RL 电路暂态特性的分析, 我们不难了解其工作原理。此处不予详述。

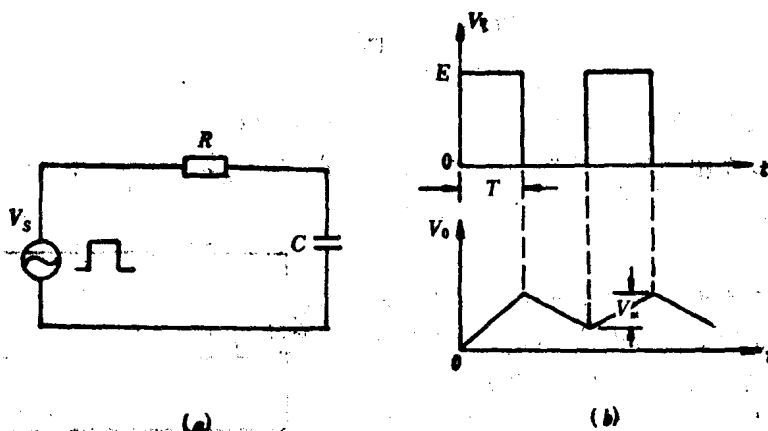


图 1-13 积分电路及其输出波形

(三) RC 分压 器

众所周知, 由于分布电容的存在, 简单的电阻分压器在脉冲应用时可等效为图 1-14 a 所示的形式, 分布电容 C_m 的存在, 使得输入信号发生跳变时输出信号不能跟随其跳变, 因此将产生波形失真。由于分布电容的容抗随频率而变, 这种简单的电阻分压器, 其分压比还将随输入信号频率的变化而变化。为克服这些缺点, 在脉冲电路中多采用 RC 分压器, 如图 1-14 b 所示, 即以电容 C_1 、 C_2 来补偿 C_m 的影响。

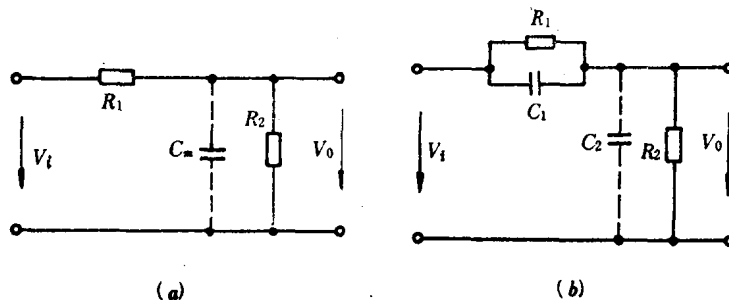


图 1-14 分压器电路

计算可得 RC 分压器输出信号的表示式为

$$V_o(t) = E \frac{C_1}{C_1 + C_2} + \left[E \frac{R_2}{R_1 + R_2} - E \frac{C_1}{C_1 + C_2} \right] (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1-12)$$

式中 E 为输入阶跃信号的幅度。 τ 为时间常数, 其值为

$$\tau = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} (C_1 + C_2)$$

当 R_1 、 R_2 、 C_1 、 C_2 取不同值时, 有以下几种不同的输出波形:

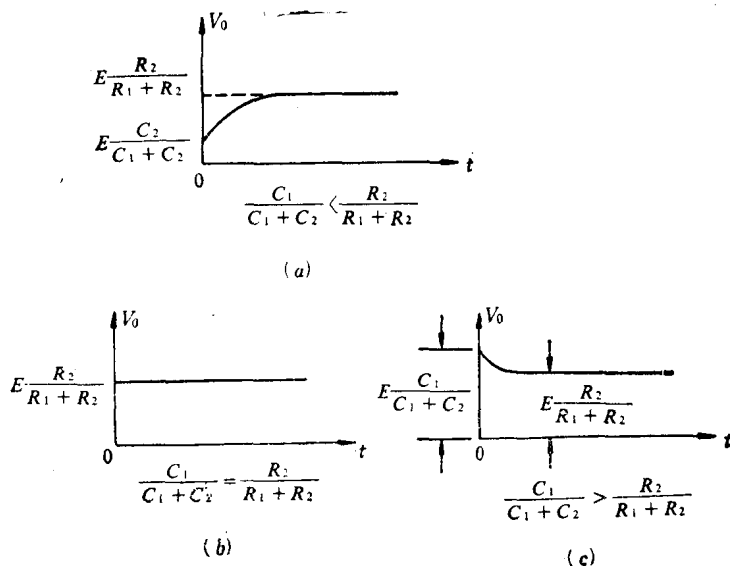


图 1-15 RC 分压器的输出波形

$$\frac{C_1}{C_1 + C_2} < \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-13)$$

这时输出波形如图 1-15a 所示。这种情况属于欠补偿。

$$\frac{C_1}{C_1 + C_2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (\text{即 } R_1 C_1 = R_2 C_2) \quad (1-14)$$

这时, $V_o(0) = V_o(\infty)$ 。输出波形如图 1-15b 所示, 开始就跳变到稳定值。这时电路获得最佳补偿。(1-14)式即为 RC 分压器获得最佳补偿的条件。

$$\frac{C_1}{C_1 + C_2} > \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (1-15)$$

此时 $V_o(0) > V_o(\infty)$, 输出波形如图 1-15c 所示。这是由于 C_1 较大, 其加速作用超过了 C_2 的迟缓作用, 使输出波形出现了上冲。这种情况通常称为过补偿。

由以上分析可见, RC 分压器只有在恰当选取电容数值, 使之满足 $R_1 C_1 = R_2 C_2$ 条件时才能得到不失真的输出波形。

(四) 削波电路

削波电路亦称为限幅电路, 其作用是使输出波形仅为输入波形的一部分。削波电路可由晶体二极管或三极管构成。图 1-16a 和图 1-16b 分别为由二极管构成的串联削波电路和并联削波电路。它们都利用了晶体二极管的正向电阻 r_d 远小于反向电阻 r_a 的这一特性, 使得二极管与电阻构成一个分压比可变的分压器, 而达到削波的目的。

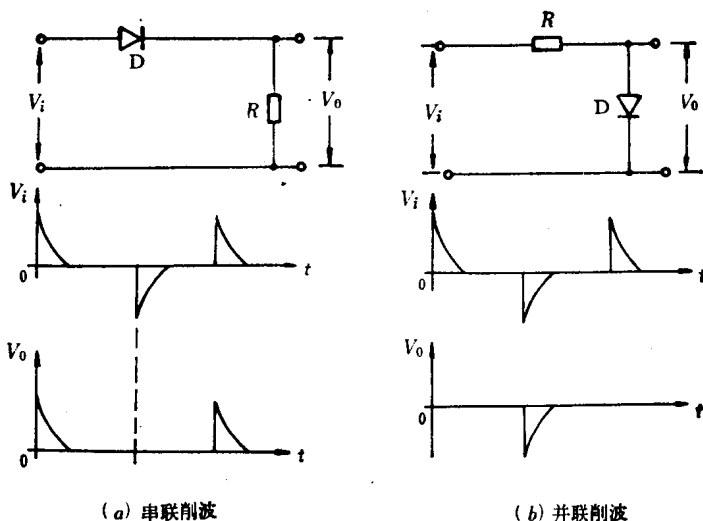


图 1-16 二极管削波电路

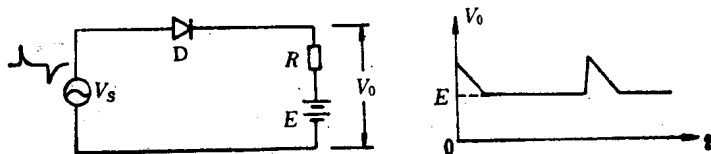


图 1-17 削波电平为 E 的电路