

中等职业技术学校试用教材

广东、北京、广西中等职业技术学校教材编写委员会组编

电子技术基础

下 册

广东高等教育出版社

中等职业技术学校试用教材

电子技术基础

下 册

广东、北京、广西中等职业技术学校
教材编写委员会
组编

广东高等教育出版社

·广州·

内 容 简 介

本书系中等职业技术学校电子电器、电工专业教材之一。全书内容主要有：数字电路基础知识、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与变换、数-模转换器与模-数转换器、大规模数字集成电路简介、传感器及其应用，并以附录简单介绍电子电路计算机辅助设计软件等。

本书力求避免繁琐的数学推导，深入浅出地阐述各个单元电路的组成特点及工作原理。为帮助学生把握教材的基本要求、各章的重点和难点，加深理解基本概念，本书还配有各种类型的习题和自测题。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术基础. 下册/广东、北京、广西中等职业技术学校教材编写委员会组编. —2版. —广州: 广东高等教育出版社, 2001.8

中等职业技术学校试用教材

ISBN 7-5361-2606-9

I. 电…

II. 广…

III. 电子技术-技术学校-教材

IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 057340 号

广东高等教育出版社出版发行

地址: 广州市广州大道北广州体育学院内 20 栋

邮政编码: 510075 电话: (020) 83792953 87552830

广东省教育厅教育印刷厂印刷

787mm×1092mm 1/16 15.5 印张 358 千字

2000 年 8 月第 1 版

2001 年 8 月第 2 版 2004 年 8 月第 5 次印刷

印数: 55001~60000 册

定价: 21.50 元

广东、北京、广西中等职业技术学校教材 编写委员会名单

主任

江海燕

常务副主任

周育安

副主任

刘育民 马叔平 余瑾 郑作广 仇琨
李元元 柳柏濂 孟庆国 刘劲予

编委 (以姓氏笔画为序)

马叔平 仇琨 江海燕 刘育民 刘劲予
李洪 李元元 杜锡强 余瑾 张路
张建虹 周育安 郑作广 孟庆国 柳柏濂
郭鸿 袁晓 唐振中 彭红光 蔡继顺

编委会办公室

主任

杜锡强

副主任

彭红光 要志东

前 言

以电子化、数字化、网络化、信息化为特征的知识经济已初见端倪，以信息技术为先导的科技进步日新月异。有资料表明：20世纪80年代初期，一项技术的寿命大约为30年；90年代，技术寿命变为10~15年；预计到了2005年，一项技术仅1~3年就将走下历史舞台。知识经济呼唤现代技术，呼唤大批德才兼备，具有专业技能、创新意识、创业能力，能参与市场竞争的现代人才，这给为经济和社会发展提供智力和人才保障的教育工作带来了机遇和挑战。当我们站在更高的起点和层面上审视我们过去的职业教育的时候，我们会发现，以3年的教育周期，至多仅能使受教育者掌握1~2项甚至仅仅1项专业技术（有的还只是初级水平的专业技术）的传统中等职业教育，远远不能适应知识经济发展的要求。观念、制度、教学内容、教学方法、教学手段等方面的改革已迫在眉睫。

当知识经济不断敲打21世纪大门的时候，广东、北京、广西三省市区的职教同行，决定以课堂教学内容的改革为核心，从课程改革和教材建设入手，编写一套依托三省市区骨干行业、支柱产业，糅合当今世界最新科技成果，体系完善、内容先进的中等职业技术学校教材，以现代的课程体系和教材，推动职业教育教学内容、教学方法、教学手段的改革，以专业建设的现代化，推动职业教育的现代化。在20世纪的最后一年，这套教材终于面世了。

本套教材遵循“宽基础，重技能，活模块”和“一纲多本”的原则，在组织有关专家、学者审定教学大纲、教学计划的基础上，由三省市区近200名专家、学者、教授及职教第一线的资深教师编写，各专业课教材并经专家和同行业的有丰富实践经

验的人员审定，具有系统性和权威性。本套教材还保持了传统教育的基础性的特色，又注意吸纳当今世界最新科技成果，结合三省市区骨干行业、支柱产业的实际，因此具有实用性、科学性和先进性。

对于本套教材中存在的疏漏和不妥之处，敬请广大专家和读者批评指正，以便我们进一步修订和完善。

广东、北京、广西中等职业技术学校教材
编写委员会
1999年4月

编者说明

根据国家教育部颁发的《电子技术基础》教学大纲要求，广东、北京、广西三省市区中等职业技术学校教材编写委员会重新审定了教学计划和教学大纲，编写了电子专业系列教材之一——《电子技术基础（下册）》。

本书具有与上册一样的特点：

1. 针对中等职业技术学校学生文化基础薄弱的特点，降低了本教材知识的起点；对内容的阐述力求做到由浅入深，由简到繁，循序渐进。

2. 从中等职业技术学校的实际出发，加强了电子电路中的基本原理和基本分析方法的阐述，加强了学生运用有关原理对实际问题进行定性分析的能力和相应的实验技能与计算能力的培养。教材内容力求思路清晰，避免过多的理论推导。

3. 为了便于自学与复习，各章均配置了适量的习题和自测题，题型力求多样化，并附有“本章小结”，帮助学生复习，建立知识结构。

4. 本书中打“*”号的为选学内容，可根据不同专业的要求选用。

本专业系列教材由徐治乐任主编，吴胜欣任副主编。本书承接上册部分的内容，共分为九章，其中第九、十、十四、十五、十六章由陈永鸿编写，第十一章由黄文庄、陈永鸿编写，第十二、十三章由岑卫堂、陈永鸿编写，第十七章由苏振旋编写，附录一由王凯旋编写，附录二、三、四由陈永鸿编写，全书由陈永鸿统稿并根据国家教育部大纲重新改编。华南理工大学朱燊权副教授负责审稿和定稿。广东高等教育出版社的责任编辑对本书提出了许多宝贵意见和修改建议，在此深表谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在错误和缺点，请读者不吝赐教。

电子专业教材编写组

2001年7月

目 录

第九章 数字电路基础知识	(1)
第一节 常见的脉冲与脉冲电路.....	(1)
第二节 数制与编码	(12)
第三节 逻辑代数基础	(16)
本章小结	(29)
习题九	(30)
自测题	(32)
第十章 逻辑门电路	(35)
第一节 基本门电路	(35)
第二节 复合门电路	(42)
第三节 集成门电路	(47)
本章小结	(61)
习题十	(61)
自测题	(67)
第十一章 组合逻辑电路	(69)
第一节 加法器	(70)
第二节 编码器	(73)
第三节 译码器	(78)
第四节 数码显示器	(84)
* 第五节 数据选择器和数据分配器	(90)
* 第六节 比较器	(92)
本章小结	(94)
习题十一	(94)
自测题	(98)
第十二章 触发器	(100)
第一节 RS 触发器	(100)
第二节 JK 触发器	(106)
第三节 D 触发器	(108)
第四节 T 触发器	(109)
本章小结	(111)
习题十二	(111)
自测题	(112)
第十三章 时序逻辑电路	(114)
第一节 寄存器	(114)
第二节 计数器	(118)

第三节 数字电路的应用	(125)
本章小结	(127)
习题十三	(127)
自测题	(130)
* 第十四章 脉冲波形的产生与变换	(132)
第一节 多谐振荡器	(132)
第二节 单稳态触发器	(135)
第三节 施密特触发器	(138)
第四节 集成定时器	(140)
本章小结	(143)
习题十四	(144)
* 第十五章 数 - 模转换器和模 - 数转换器	(145)
第一节 数 - 模转换器 (DAC)	(145)
第二节 模 - 数转换器 (ADC)	(151)
本章小结	(156)
习题十五	(156)
* 第十六章 大规模数字集成电路简介	(157)
第一节 半导体存储器	(157)
第二节 可编程逻辑器件	(163)
本章小结	(169)
习题十六	(170)
* 第十七章 传感器及其应用	(171)
第一节 传感器及其种类	(171)
第二节 传感器的应用举例	(176)
本章小结	(185)
习题十七	(186)
实验部分	(187)
实验六 门电路功能的测试	(187)
实验七 组合逻辑电路的测试	(192)
实验八 触发器的测试	(196)
实验九 中规模集成计数器的应用	(200)
实验十 计数、译码、显示综合应用	(203)
选做实验三 集成移位寄存器的应用	(205)
选做实验四 脉冲波形的产生与变换	(207)
附录一 电子电路计算机辅助设计软件简介	(208)
附录二 新、旧图形符号对照表	(229)
附录三 图形符号说明	(232)
附录四 常用的集成门电路图形符号	(236)

第九章 数字电路基础知识

随着电子计算机技术和它所控制的相关技术与设备的发展与应用,我们的生活和工作环境正逐步趋于“数字化”。数字化说明脉冲数字电路技术正大量地得到应用和普及,我们身边所见到的和用到的数码电视机、电子计算机、CD机、VCD机、SVCD机、DVD机、数字移动电话、数字音响等,如雨后春笋般涌现,它们都应用了数字电路技术。

本章学习目的与内容

学习和掌握数字电子技术,首先要对基本概念和基础理论有所认识 and 了解,然后才能分析和运用电路。本章逐一介绍脉冲信号和数字信号的特点、基本的脉冲变换电路、数制和数制间的转换、编码概念、逻辑代数和逻辑函数的化简方法。

第一节 常见的脉冲与脉冲电路

一、常见的脉冲波形及其参数

(一) 常见的脉冲波形

电子电路一般分为两大类:一类是模拟电路,另一类是脉冲与数字电路。在上册中我们学习的是模拟电路,其处理的信号是模拟信号,它的最大特点是连续性,如图9-1-1



图9-1-1 模拟信号波形

(a) 正弦波 (b) 声波

所示。而脉冲是指在极短的时间内出现的电压和电流的变化,如图9-1-2所示。这里所列举的脉冲有:矩形波、锯齿波、三角波、尖脉冲波(又叫:尖峰波或尖顶波)、阶梯波,这些都是常见的和常用的脉冲波形,它们都是非正弦规律变化的、带有突变特点的电压或电流,我们把这种作用时间极短的电压和电流称为“脉冲电压”和“脉冲电

流”。而数字信号其实质就是一种脉冲信号，通常，数字信号多指矩形波。

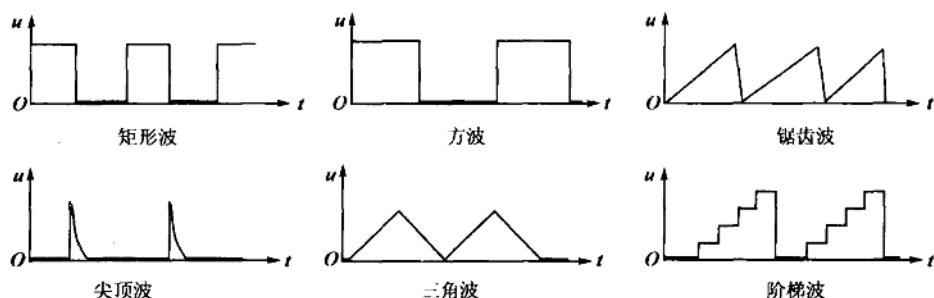


图 9-1-2 常见的脉冲波形

(二) 脉冲的主要参数

上面提到的几种常见的脉冲波形，其形状和变化规律都不大一样，甚至相差甚远。如何描述这些脉冲波形？这在实际的分析中是很需要的。在模拟电路中，对于正弦波的描述，只需要用幅值、频率和初相位（“三要素”）就够了；而对于脉冲波形，仅用这三个参数是不可能描述清楚的。下面以矩形波为例来说明脉冲的一些主要参数。

理想的矩形波如图 9-1-3 (a) 所示，但未整形的矩形波多半像图 9-1-3 (b) 所示的样子。

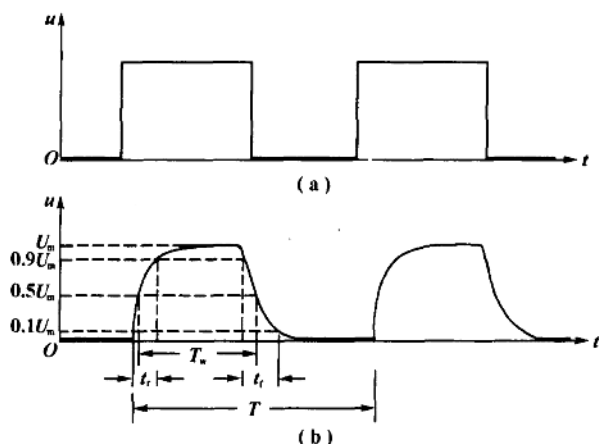


图 9-1-3 矩形波

(a) 理想的矩形波 (b) 实际的矩形波

1. 脉冲幅度 U_m

表示脉冲电压（或电流）变化的最大值，是脉冲底部到顶部数值之差。

2. 脉冲前沿时间 t_r

表示脉冲从幅度的 10% ($0.1U_m$) 上升到 90% ($0.9U_m$) 所经历的时间，也叫上升时间。

3. 脉冲后沿时间 t_f

表示脉冲幅度从 90% ($0.9U_m$) 下降到 10% ($0.1U_m$) 所经历的时间，又叫下降时

间。

4. 脉冲宽度 T_w

表示脉冲从前沿的 50% ($0.5U_m$) 到后沿的 50% ($0.5U_m$) 所需要的时间, 又叫脉冲持续时间。

5. 脉冲周期 T

表示周期性脉冲信号中任意两个相邻脉冲之间的时间。其倒数为脉冲的重复频率 f ($f = \frac{1}{T}$)。

周期的单位是: 秒 (s), 常用的单位还有: 毫秒 (ms) ($1 \text{ ms} = 10^{-3} \text{ s}$)、微秒 (μs) ($1 \mu\text{s} = 10^{-6} \text{ s}$)、纳秒 (ns) ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$); 频率的单位为赫兹 (Hz), 常用的还有千赫兹 (kHz)、兆赫兹 (MHz) 等。

脉冲电路就是处理和产生这些脉冲信号的电路。由于数字信号就是一种脉冲信号, 而数字电路就是处理数字信号的电路, 所以数字电路具有以下两个主要的特点: 第一, 数字电路的工作信号是不连续的数字信号, 它在电路中只表现为信号的有、无或电平的高、低。所以, 数字电路中的晶体管多工作在开关状态, 即晶体管要么是“饱和”, 要么是“截止”, 而“放大”只是过渡状态。由于数字电路工作时只要求能可靠地判别信号的有、无或电平的高、低两种状态, 因此电路对精度的要求不高, 适于集成化。第二, 数字电路研究的对象是电路的输出与输入之间的逻辑关系, 因而不能采用模拟电路的分析方法。分析数字电路的工具是逻辑代数, 这将在后面介绍。

二、脉冲电路中主要元器件的作用

虽然脉冲电路和模拟电路都是由阻容元件、电感元件和晶体二、三极管组成, 但作用却不同。所以, 有必要先研究一下这些元器件在脉冲电路中的工作过程与作用。

(一) RC 电路的充、放电过程

图 9-1-4 (a) 为 RC 串联电路, 设开关 S 原处于“2”端, 此时回路没有外接电源, 电容器 C 两端电压 $u_c = 0 \text{ V}$ 。如果现在把开关扳至“1”端, 此时电源 E 接入 RC 串联回路中, 使回路产生电源 E 对电容器 C 的充电过程。

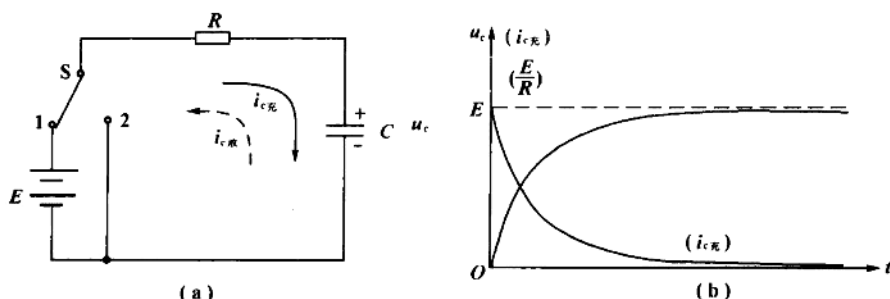


图 9-1-4 RC 串联电路
(a) 电路 (b) 电容器充电曲线

充电时电容器两端电压 $u_c(t)$ 和充电电流 $i_c(t)$ 随时间的变化描成的曲线如图 9-1-4 (b) 所示 (图中加括号者为电流情况)。由此可以看出, 电容器两端电压 $u_c(t)$ 呈指数规律上升, 同时充电的电流 $i_c(t)$ 呈指数规律下降。其充电时电压与电流的变化可用表 9-1-1 反映。其中 $\tau = R \cdot C$ 为时间常数, 当 R 与 C 取国际单位 (即电阻: 欧姆; 电容: 法拉) 时, τ 的单位为秒。

表 9-1-1 电容器两端电压和充电电流随时间的变化

t	0.7τ	1τ	2τ	2.3τ	3τ	5τ	$\dots$	∞
u_c	$0.5E$	$0.63E$	$0.86E$	$0.9E$	$0.95E$	$0.993E$	$\dots$	E
$i_{c\text{充}}$	$(E-0.5E)/R$	$(E-0.63E)/R$	$(E-0.86E)/R$	$(E-0.9E)/R$	$(E-0.95E)/R$	$(E-0.993E)/R$	$\dots$	0

从表 9-1-1 可以看出: 当 $t = (3 \sim 5)\tau$ 时, 电容器两端电压已非常接近 E 了, 即 $u_c \approx E$, 而且充电电流也基本趋于 0, 即 $i_{c\text{充}} \approx 0$ 。此时可以认为充电过程基本结束。

在电容器充电结束后, 将开关 S 扳至“2”端 [见图 9-1-4 (a)], 输入端的电压就由 E 突然跳变为 0, 由于电容器原来已经充满电荷, 所以, 当 S 扳至“2”端后, 电容器开始放电。其放电时电容器两端的电压 $u_c(t)$ 和放电回路电流 $i_c(t)$ 随时间的变化曲线如图 9-1-5 所示。从图中也可以清楚地看出其呈指数规律变化。

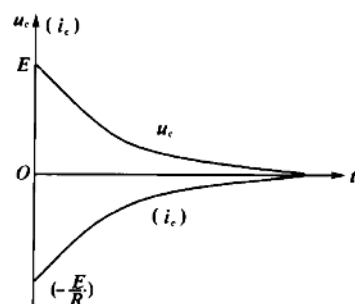


图 9-1-5 电容器放电曲线

大体的变化从表 9-1-2 可以看出: 经过 $(3 \sim 5)\tau$ 的时间以后, 电容器中积累的电荷已基本释放完毕, 其端电压基本为 0, 我们可以认为放电结束。此时, $i_{c\text{放}}$ 、 u_c 、 u_R 均为 0, 电容器相当于“开路”。

表 9-1-2 电容器两端电压和放电电流随时间的变化

t	0.7τ	1τ	2τ	3τ	5τ	$\dots$	∞
u_c	$0.5E$	$0.37E$	$0.14E$	$0.05E$	$0.007E$	$\dots$	0
$i_{c\text{放}}$	$-0.5E/R$	$-0.37E/R$	$-0.14E/R$	$-0.05E/R$	$-0.007E/R$	$\dots$	0

综上所述, 电容器的充、放电过程可以归纳为以下几个特点:

- (1) 电容器两端的电压不能突变, 在外加电压突变的瞬间, 电容器相当于“短路”。
- (2) 电容器充、放电结束时, 流过电容器的电流为 0, 此时电容器相当于“开路”。
- (3) RC 电路的充、放电都需要一定的时间才能完成, 充、放电时间在 $(3 \sim 5)\tau$ 后, 可以认为充电或放电基本结束。
- (4) 充、放电过程的快慢取决于电路本身的时间常数 τ , 与其它因素无关。
- (5) 充、放电过程中, u_c 、 i_c 、 u_R 均按指数规律变化。

(二) 晶体二极管的开关作用

我们知道,晶体二极管具有单向导电特性,从另外一个角度来看,就是一种“开关”作用。当二极管加上正向电压时,会有较大的电流流过,二极管处于导通状态,管压降很小(硅管约为0.7 V,锗管约为0.3 V),呈现低阻状态,就好像“开关”被“接通”;当二极管加上反向电压时,几乎没有电流流过二极管,因而二极管截止,呈现很高的反向电阻,此时“开关”相当于被“断开”。所以,二极管具有“开关”作用。

理想的二极管,正向导通时,其端电压为0,相当于开关的闭合;反向截止时,其反向电阻无穷大,相当于开关的断开。在脉冲电路的定性分析中常常将二极管理想化,把它看作“开关”使用。如图9-1-6所示。

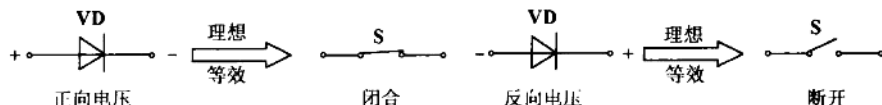


图 9-1-6 二极管的理想等效

(三) 晶体三极管的开关作用

从图9-1-7的三极管的输出特性曲线可以看出,三极管具有三种工作状态:放大状态、饱和状态和截止状态。在放大电路中,三极管主要工作在放大状态,因此,偏置电路及其参数的设置要令电路的工作点处于合适的位置(交流负载线中点)。而在脉冲电路中,三极管主要工作在饱和状态和截止状态,并且经常在这两种状态之间快速转换,只有在转换时才以极短的时间迅速通过放大区,我们通常称三极管的这种工作状态为“开关状态”。

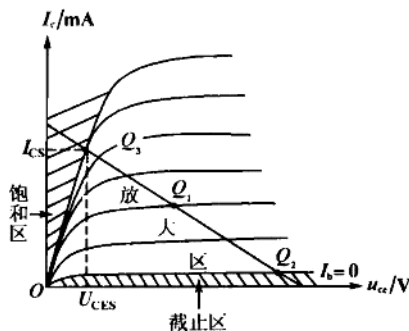


图 9-1-7 三极管输出特性曲线

也就是说,当输入端加一个正电压时,且这个正电压能使基极电流 I_B 充分大,从而集电极电流就达到饱和值,这时 $U_o \approx 0V$,相当于 c、e 两极接通,如图9-1-8(a)所示;当输入端加0 V 电压时,三极管处于截止状态,此时 $U_o \approx E_c$,相当于 c、e 两极开路,如图9-1-8(b)所示。这样,晶体管的 c、e 两极像是由输入电压控制的开关。

三极管(或二极管)从饱和导通状态到截止状态或从截止状态到饱和导通状态的转换并不是瞬间可以完成的,因为三极管(二极管)的状态改变是通过内部电荷的运动和内部电荷的积累与消散完成,是需要一定的时间的,不可能瞬间完成。例如,图9-1-8是一个简单的三极管开关电路,当输入端输入如图9-1-9(a)的矩形脉冲时,则三极管的输出电流和电路的输出电压波形如图9-1-9(b)、(c)所示。从图中不难看出,输出波形与输入波形有一定的延时,也就是说输出响应输入的变化需要一定的时

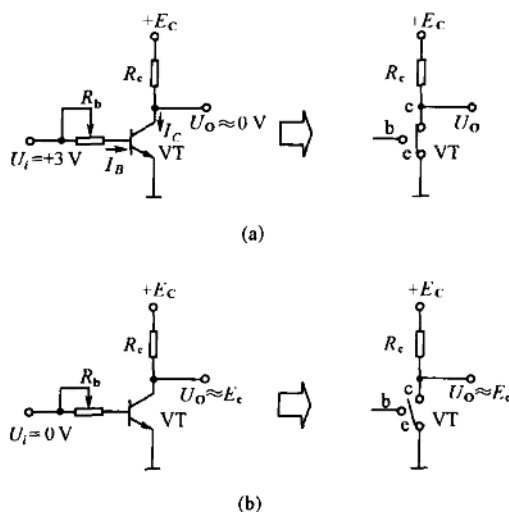


图 9-1-8 简单的开关电路

(a) 输入高电平时 (b) 输入低电平时

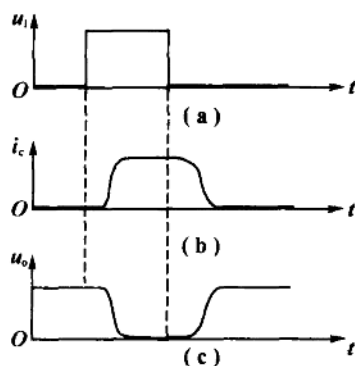


图 9-1-9 开关电路工作波形图

(a) 输入电压波形 (b) 集电极输出电流波形 (c) 输出电压波形

间。电流（电压）从低到高或从高到低的变化，不可能像输入波形高低跳变来得那么快，需要一定的时间才能完成，完成的时间越短，转换速度越快，这种开关特性就越好。而转换速度的快慢取决于三极管（二极管）质量的好坏和参数的选择。若电路是高速工作的，要采用高速的开关三极管。晶体三极管的开关参数可查阅有关元器件手册，这里不作详细介绍。

三、微分电路

利用电容器的充、放电特性，可以组成不同的脉冲波形变换电路。在脉冲电路中，主要用于取出波形的上升或下降的变化部分的操作电路称为微分电路，即微分电路多用于将波形变成触发脉冲，把矩形波变为尖脉冲波。

RC 微分电路是由电容器 C 和电阻 R 串联作为输入端，电阻 R 两端作为输出端构成的，如图 9-1-10 (a) 所示。当输入波形如图 (b) 图矩形波时，输出信号波形如图 (d) 图所示，我们发现只有当输入脉冲发生突变（上升沿跳变和下降沿跳变）

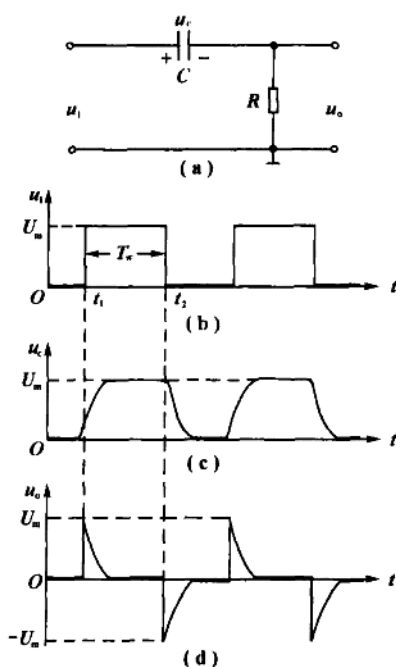


图 9-1-10 微分电路

(a) 电路 (b) 输入电压波形 (c) 电容器两端电压波形 (d) 输出电压波形

时, 输出端才出现变化。该电路要求时间常数 $\tau (= R \cdot C) \ll T_w$, 一般取 $\tau = (\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}) T_w$, 也就是说要保证在 T_w 内让电容器 C 完成充、放电, 因为电容器充、放电需要 $(3 \sim 5)\tau$ 的时间才能基本完成。

微分电路的特点如下:

(1) 微分电路的输出波形只反映输入脉冲波形的突变部分, 即只有输入脉冲波形发生突变的瞬间才有响应, 而对恒定部分则没有响应。简单地说就是: “突出变化量, 压低恒定量。”

(2) 输出尖脉冲波形的宽度与电路的时间常数有关。 τ 越小, 尖脉冲波形越窄; 反之则越宽。

(3) 微分电路的时间常数必须满足 $\tau \ll T_w$, 才可以实现将矩形波变为双向尖脉冲波。当 τ 较大时, 电容器 C 充、放电较慢; 当 $\tau > (5 \sim 10) T_w$ 时, 由于电容器 C 充、放电极慢, 其输出波形与耦合电路的相同, 此时的 RC 微分电路就变成 RC 耦合电路。

【例 9-1-1】 在一个 RC 微分电路中, $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 1000 \text{ pF}$, 如果输入方波的频率分别为 $f_1 = 5 \text{ kHz}$, $f_2 = 500 \text{ kHz}$, 问: f_1 和 f_2 分别作用于电路后, 是否能输出尖脉冲波形?

解: 用经验公式 $\tau \ll T_w$ 来验证。

(1) 求时间常数 τ :

$$\tau = R \cdot C = 10 \times 10^3 \Omega \times 1000 \times 10^{-12} \text{ F} = 10 \times 10^{-6} \text{ s} = 10 \mu\text{s}$$

(2) 计算频率为 f_1 的方波的脉冲宽度 T_{w1} (方波的脉冲宽度为周期的一半):

$$T_{w1} = \frac{T_1}{2} = \frac{1}{2f_1} = \frac{1}{2 \times 5 \times 10^3 \text{ Hz}} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ s} = 100 \mu\text{s}$$

由于电路的 $\tau \ll T_{w1}$, 所以, 输入频率为 f_1 的方波能得到尖脉冲波形的输出。

(3) 计算频率为 f_2 的方波的脉冲宽度 T_{w2} :

$$T_{w2} = \frac{T_2}{2} = \frac{1}{2f_2} = \frac{1}{2 \times 500 \times 10^3 \text{ Hz}} = 0.001 \times 10^{-3} \text{ s} = 1 \mu\text{s}$$

由于电路的 $\tau \gg T_{w2}$, 所以, 输入频率为 f_2 的方波不能得到尖脉冲波形的输出。电路对输入信号只起耦合作用。

四、积分电路

在上面所讲的 RC 微分电路中, 如果把 R 和 C 的位置互换, 如图 9-1-11 (a) 所示, 而且电路要满足 $\tau \gg T_w$ 的条件, 通常取 $\tau \gg 3T_w$ 。此时电路就变成积分电路。积分电路可以把矩形脉冲波转换为锯齿波或三角波。因为输出信号取自于电容

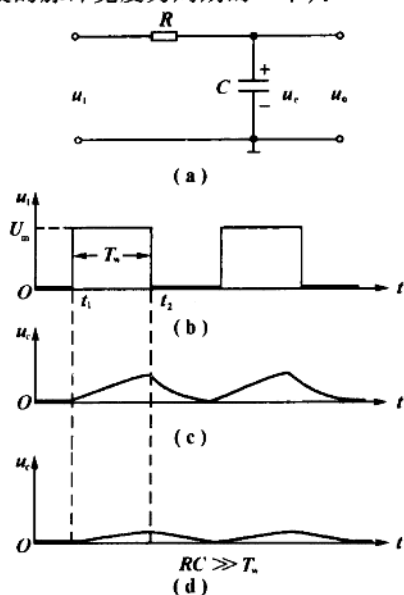


图 9-1-11 积分电路

(a) 电路 (b) 输入电压波形

(c) 电容器两端电压波形

(d) 当 $RC \gg T_w$ 时的输出电压波形

器两端的电压，其充放电状态如实地反映到输出端上，由于时间常数 τ 较大，电容器充放电较慢，形成了如图 9-1-11 (c)、(d) 所示的波形。

积分电路有如下的特点：

(1) 积分电路可以把矩形波变换为锯齿波或三角波输出，它对输入的脉冲信号起到“突出恒定量，压低变化量”的作用，正好与微分电路的作用相反。

(2) 积分电路的条件是： $\tau \gg T_w$ ，一般要求 $\tau \geq 3T_w$ 。

【例 9-1-2】 图 9-1-11 (a) 所示的电路中，若 $C = 0.1 \mu\text{F}$ ，输入的矩形脉冲宽度 $T_w = 0.5 \text{ ms}$ ，要构成积分电路，电阻 R 至少应为多少？

解：根据构成积分电路的条件 $\tau = R \cdot C \gg T_w$ （一般取 $\tau \geq 3T_w$ ）计算。

若 $\tau = R \cdot C \geq 3T_w$ ，则：

$$R \geq \frac{3T_w}{C} = \frac{3 \times 0.5 \times 10^{-3} \text{ s}}{0.1 \times 10^{-6} \text{ F}} = 15 \times 10^3 \Omega = 15 \text{ k}\Omega$$

所以， R 的值至少为 $15 \text{ k}\Omega$ 。

* 五、脉冲分压器

在模拟信号的传输过程中，模拟电路利用串联电阻的分压作用，对模拟信号进行衰减，从而把大信号“变成”小信号，满足电路对信号幅度的要求。在脉冲电路中，也经常需要把脉冲信号的幅度进行一定的衰减，然后才送至脉冲放大器。那么能否只利用电阻的分压效果达到对脉冲信号的“分压”作用呢？这是一个很有意义的问题，在脉冲电路的分析中，我们经常要用这种思路和方法去分析问题。下面我们一起来探讨。

问题起因：如果电路是很理想的，那么串联电阻能够实现对模拟信号的分压，同样可以对脉冲信号实现分压，如图 9-1-12 所示。但电路存在分布电容和线路电容时，虽然这些寄生电容（图 9-1-12 中把它等效为输出端电容 C_o ）的等效容量很小，但对于变化非常快、非常突然的脉冲信号，它的作用是不可忽略的。它会使输入矩形波的输出波形前后沿变坏（ R_1 和 C_o 组成积分电路形式），使输出波形与输入波形不一致，起不到简单的“分压”效果。

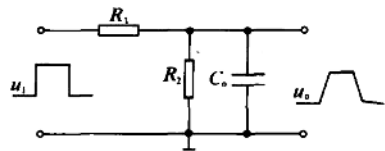


图 9-1-12 寄生电容对分压效果的影响

解决方法：利用微分电路与积分电路对输出阶跃脉冲进行补偿。因为微分电路能够使脉冲产生高速跳变，而积分电路能够产生缓慢的上升沿，将这两种相反作用的电路适当地结合，可以构成如图 9-1-13 (c) 所示的脉冲分压器。那么，电路中各元件的参数应如何选取才能进行恰当的补偿呢？通过对信号输入电路的工作过程进行分析，可以得出以下结论：当 $R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$ 时，输出波形和输入波形形状相同，只是电压幅度经过 R_1 和 R_2 的分压变小了。

应该指出，上述分析是假设信号源内阻为 0，但实际上，信号源总存在有内阻，而且由于电路中的寄生电容 C_2 的离散性， C_1 应通过实验加以调整。电路中 C_1 常选用半可调电容器，调试时，可输入矩形波或方波，用示波器观察输出波形，若欠补偿则增大