

高等学校试用教材

电子技术基础

下 册

华中工学院工业电子学教研室编

康 华 光 主编

人 民 教 育 出 版 社

内 容 简 介

本书是华中工学院自动控制系工业电子学教研室近年来在总结教学经验和学习国内外较新的教材和文献资料的基础上编写而成的。本书分上、中、下三册出版。上册包括：放大电路基础，频率特性与多级放大器，场效应管放大器以及反馈放大器与正弦波振荡器；中册包括：功率放大器，运算放大器，直流稳压电源和电子电路的计算机辅助分析；下册包括：脉冲数字电路基础，触发器与多谐振荡器，基本数字部件，场效应管数字集成电路和晶闸管电路。

书中通过各种半导体器件及其电路，阐述电子技术中的基本概念、基本原理和基本分析方法。各部分内容均介绍了电路实例，并配有一定数量的例题和习题。

本书可供高等学校电力工程类专业和与其相近的专业作为“电子技术基础”课程的试用教材，也可供从事电子技术的工程技术人员参考。

高等学校试用教材

电 子 技 术 基 础

下 册

华中工学院工业电子学教研室编

康 华 光 主 编

人 民 邮 电 出 版 社

新华书店北京发行所发行

北 京 印 刷 一 厂 印 装

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ 印张 18.125 字数 438,000

1980年1月第1版 1980年7月第1次印刷

印数 1—68,500

书号 15012·0234 定价 1.50 元

目 录

第九章 脉冲数字电路基础

9.1	脉冲数字电路概述	1
9.1.1	脉冲数字电路及其特点	1
9.1.2	计数体制	4
✓ 9.2	RC 电路	7
9.2.1	RC 电路的分析	8
9.2.2	微分电路	12
9.2.3	积分电路	17
✓ 9.3	二极管的开关特性	19
✓ 9.4	三极管的开关特性	24
9.4.1	三极管的开关作用	24
9.4.2	三极管的开关时间	30
9.4.3	利用加速电容改善开关特性	33
* 9.5	基本逻辑门电路	35
9.5.1	关于逻辑电路的几个问题	35
9.5.2	与门电路	37
9.5.3	或门电路	41
9.5.4	非门电路	44
9.6	三极管与非门	46
9.6.1	与非门的组成及逻辑关系	47
9.6.2	截止与饱和条件的分析	48
9.6.3	关于负载能力的讨论	50
9.6.4	与非门的电压传输特性及抗干扰能力	55
9.7	三极管-三极管集成逻辑门(TTL)	57
9.7.1	TTL 与非门的工作原理	59
9.7.2	TTL 与非门的电路分析	64
9.7.3	TTL 与非门的电压传输特性	71
9.7.4	TTL 与非门的参数	72

9.7.5	TTL 与非门电路的改进	81
9.8	高阈值逻辑门电路(HTL)	86
*9.9	集成注入逻辑门电路 (I^2L)	89
9.10	逻辑代数及其应用	93
9.10.1	逻辑函数	94
9.10.2	逻辑函数与逻辑电路的关系	100
9.10.3	逻辑函数的简化	102
9.11	集成逻辑门在使用中的几个实际问题	119
9.11.1	利用与非门组成其它逻辑门	120
9.11.2	逻辑功能的转换	124
9.11.3	其它几个实际问题	127
本章小结		132
参考文献		134
思考题和习题		134

第十章 触发器与多谐振荡器

10.1	触发器的基本电路	148
10.1.1	基本 RS 触发器	148
10.1.2	同步 RS 触发器	154
10.2	主从触发器	160
10.2.1	主从触发器的工作方式	160
10.2.2	不同逻辑功能的主从触发器	161
10.2.3	集成主从 JK 触发器典型电路分析	167
10.2.4	主从触发器的脉冲工作特性	172
10.3	维持阻塞触发器	174
10.3.1	典型的维持阻塞触发器	174
10.3.2	集成维持阻塞 D 触发器典型电路分析	177
10.3.3	维持阻塞触发器的脉冲工作特性	179
10.3.4	触发器逻辑功能的转换	181
*10.4	边沿触发器	185
10.5	集成触发器的参数及其测试方法	190
小结		196

10.6 单稳态触发器	197
10.6.1 微分型单稳态触发器	200
10.6.2 积分型单稳态触发器	210
10.6.3 单稳态触发器的应用	213
10.7 多谐振荡器	215
10.7.1 RC 积分型环形多谐振荡器	215
10.7.2 非对称微分型多谐振荡器	227
10.8 施密特触发器	228
10.9 分立元件的脉冲单元电路	234
10.9.1 单稳态触发器	235
10.9.2 多谐振荡器	244
10.9.3 双稳态触发器	249
10.9.4 施密特触发器	259
本章小结	262
参考文献	263
思考题和习题	264

第十一章 基本数字部件

11.1 寄存器	275
11.1.1 数码寄存器	275
11.1.2 单向移位寄存器	277
11.1.3 双向移位寄存器	280
*11.1.4 循环移位寄存器	281
11.2 计数器	283
11.2.1 异步二进制计数器	283
11.2.2 同步二进制计数器	291
11.2.3 非二进制计数器	295
11.3 数字显示电路	310
11.3.1 数码显示器	311
11.3.2 基本的译码电路	317
11.3.3 分段式数码管译码驱动电路	321
*11.3.4 字形重叠式数码管译码驱动电路	329

11.4 算术运算电路	334
11.4.1 加法运算及加法器	334
*11.4.2 减法运算及减法器	344
11.5 数-模与模-数转换器	349
11.5.1 D/A 转换器	350
11.5.2 A/D 转换器	357
本章小结	367
参考文献	368
思考题和习题	369

第十二章 金属-氧化物-半导体场效应管数字集成电路

12.1 静态 MOS 反相器和传输门	378
12.1.1 电阻负载 MOS 反相器	378
12.1.2 以 MOS 管为负载的 MOS 反相器	381
12.1.3 CMOS 反相器和传输门	391
12.1.4 各类 MOS 反相器的比较	396
12.2 静态 MOS 门电路	396
12.2.1 NMOS 门电路	396
12.2.2 PMOS 门电路	399
12.2.3 CMOS 门电路	402
12.2.4 异或门电路	404
12.2.5 MOS 驱动电路	405
12.3 静态 MOS 触发器	408
12.3.1 NMOS RS 触发器	408
12.3.2 CMOS 主从触发器	410
12.3.3 PMOS 二-十进制计数、八段译码器	414
12.4 动态 MOS 逻辑电路	418
12.4.1 MOS 器件的电荷存贮特性	418
12.4.2 动态移位寄存器	418
12.4.3 由动态移位寄存单元组成的触发器	423
*12.5 随机存取存贮器(RAM)	425
12.5.1 存贮单元	426

12.5.2 RAM 的组成——单元矩阵结构及地址选择	430
*12.6 只读存储器(ROM)和可编程逻辑阵列(PLA)	432
12.6.1 只读存储器的结构和原理	432
12.6.2 可编程逻辑阵列	435
*12.7 电荷耦合器件 (CCD)	439
12.8 脉冲数字电路实例	446
12.8.1 DF 6 型数字繁用表的组成	446
12.8.2 数字直流电压表	447
12.8.3 前置放大器及变换器	471
本章小结	477
参考文献	478
思考题和习题	479

第十三章 晶闸管电路

13.1 晶闸管	485
13.1.1 晶闸管的结构和工作原理	485
13.1.2 晶闸管的伏安特性	489
13.1.3 晶闸管的主要定额	490
13.2 可控整流电路	495
13.2.1 单相半波可控整流电路	495
13.2.2 单相桥式可控整流电路	502
13.2.3 三相桥式可控整流电路	509
13.2.4 几种常用的可控整流电路性能比较	520
*13.3 有源逆变电路	520
13.4 晶闸管的触发电路	527
13.4.1 晶闸管对触发电路的要求	527
13.4.2 单结晶体管触发电路	528
13.4.3 同步电压为锯齿波的触发电路	547
*13.5 晶闸管的保护与串并联	549
13.5.1 晶闸管的保护	549
13.5.2 晶闸管的串联与并联	555
*13.6 晶闸管整流电路应用实例	558

13·6·1 自动稳压稳流电源	558
13·6·2 300 千瓦同步发电机的励磁自动调节装置	561
本章小结	565
参考文献	566
思考题和习题	567

第九章 脉冲数字电路基础

本章先学习 RC 电路的瞬态分析和三极管的开关特性,作为脉冲数字电路的入门。在此基础上讨论门电路,从分立元件逻辑门入手,过渡到讨论集成逻辑门。集成逻辑门最基本的形式是“与非”电路。本章着重介绍三极管-三极管逻辑门(TTL)的工作原理、逻辑关系、参数以及由它构成的其它门电路。同时也讨论了高阈值逻辑门(HTL)。集成注入逻辑门(I^2L)是双极型集成电路发展的一个新领域,本章也作了简要的介绍。在掌握各种门电路逻辑功能及逻辑函数式的基础上,本章最后讨论了逻辑代数的基本定律和应用,并介绍了逻辑函数的两种简化方法——代数法和卡诺图法,为后面各章讨论数字部件提供了分析工具。

9.1 脉冲数字电路概述

9.1.1 脉冲数字电路及其特点

电子电路中的电信号可以分为两类:一类是随时间连续变化的模拟信号,例如音频电压信号;另一类是不连续变化的信号,例如各种脉冲信号。这两类信号在处理方法上各不相同。处理模拟信号的电路称为模拟电路,如交流和直流放大电路。处理脉冲数字信号的电路称为脉冲数字电路,如脉冲信号的产生与变换电路和具有各种逻辑功能的电路等。

1. 脉冲数字电路举例

脉冲数字电路大致包括脉冲的产生、放大、整形、传送、控制、

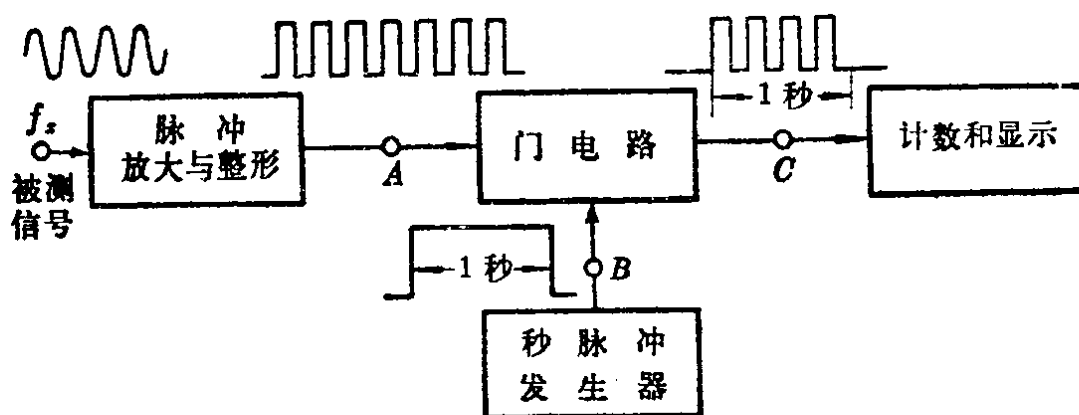


图 9·1·1 数字频率计方框图

记忆、计数等内容。下面以数字频率计为例说明它们的应用。

图 9·1·1 表示一个数字频率计的方框图，它是用来测量周期信号频率的。被测信号假定为正弦波，它的频率为 f_x 。为了要把被测信号的频率用数字直接显示出来，首先要经过脉冲放大与整形电路，使被测信号变换为频率与它相同的矩形脉冲信号，然后把它送到“门”电路的一个输入端 A 。门电路是用来控制电路的“开通”与“关断”的一种电路。在图 9·1·1 中，门电路的开与关是由加到 B 端的秒脉冲信号所控制的。秒脉冲把“门”打开一秒钟，在这段时间内，矩形脉冲通过门电路进入计数器，计数器累计的脉冲数目就是被测信号在一秒钟内重复的次数，也就是信号的频率。最后通过数字显示电路直接显示出来。

上述简单实例中，包含脉冲信号的放大与整形，脉冲信号的产生、控制以及计数、显示等典型的数字电路单元。可见脉冲数字电路包含的内容是很广泛的。

2. 脉冲数字电路的特点

脉冲数字电路包含的元件有两类：一类是非线性元件——半导体管或集成门电路，用来接通和断开电路，以实现开关作用。另一类是线性元件，如电阻、电容等，用来贮藏和释放电场能量。因

此在脉冲数字电路中大量遇到的问题将是半导体管的开关作用和电容的充放电作用。由于半导体管是在大信号作用下工作在开关状态,在分析脉冲数字电路时就不能应用微变等效电路法,而是应用图解法或折线等效电路法。同时,由于电容的充放电是决定脉冲数字电路瞬态过程的关键,因此脉冲数字电路的定量计算就不能采用复数运算,而是在正确的物理概念(例如时间常数)和波形图的帮助下建立起量的关系,写出回路方程,求出所需结果。此外,还要利用逻辑代数来分析具有各种逻辑功能的电路。概括起来说,研究电子器件的开关特性和 RC^* 电路的瞬态特性以及逻辑代数,是分析脉冲数字电路的基础。

3. 脉冲波形与参数

在脉冲数字电路中,研究的对象是一些不连续的即突变的电信号,作用的时间很短(一般在毫秒~纳秒数量级),这种作用时间很短的突变电压(或电流)就称为脉冲信号。常见的脉冲信号波形表示在图 9.1.2 中。

为了表征脉冲信号的特征,以便对它们进行定量分析,下面以图 9.1.3 所示的矩形脉冲电压为例,说明脉冲波形的一些参数。

脉冲幅度 V_m : 脉冲电压变化的最大值。

脉冲前沿上升时间 t_r : 由 $0.1 V_m$ 上升到 $0.9 V_m$ 所需的时间。

脉冲后沿下降时间 t_f : 由 $0.9 V_m$ 下降到 $0.1 V_m$ 所需的时间。

脉冲宽度 t_p : 前沿的 $0.5 V_m$ 到后沿的 $0.5 V_m$ 的时间,又称脉冲持续时间。

脉冲周期 T : 周期性的脉冲信号前、后两次出现的时间间隔,单位为秒(s)、毫秒(ms)或微秒(μs)等。

* 有时也包括电感 L 。

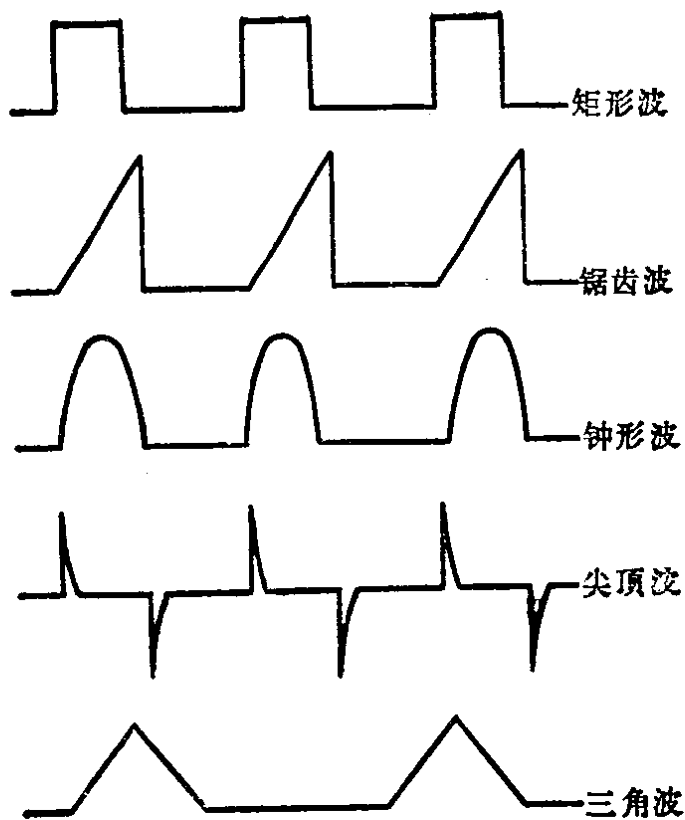


图 9.1.2 各种脉冲波形

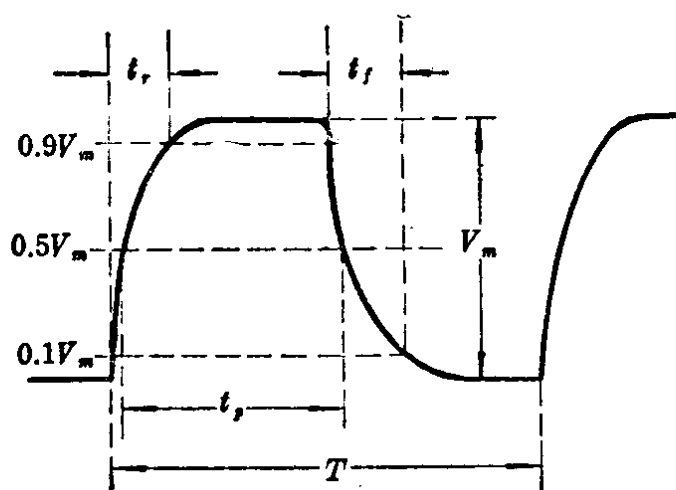


图 9.1.3 脉冲波形的参数

脉冲重复频率 f :
 $f = 1/T$, 它表示每秒钟脉冲信号出现的次数, 单位为赫兹(Hz)。

9.1.2 计数体制

脉冲数字电路中经常要遇到计数的问题。在日常生活中, 我们习惯于用十进制数, 而在数字系统中多采用二进

制数。现分别简介如下。

1. 十进制数

大家都熟悉的十进制是用十个不同的数码 0、1、2、3……9 来

表示一个数的。在十进制计数体制中，任何一个数都可以用上述十个数码按一定规律排列起来表示，其计数规律是“逢十进一”，即 $9+1=10$ ，这右边的“0”为个位数，左边的“1”为十位数，也就是 $10=1\times 10^1+0\times 10^0$ 。因此，所谓十进制就是以 10 为基数的计数体制。

这样，每一数码处于不同的位置时(数位)，它代表的数值是不同的。例如，数 234 可写为

$$234=2\times 10^2+3\times 10^1+4\times 10^0$$

从计数电路的角度看来，采用十进制是不方便的。因为构成计数电路的基本想法是把电路的状态跟数码对应起来，而十进制的十个数码，必须由十个不同的而且能严格区分的电路状态与之对应，这样将在技术上带来许多困难，而且也不经济。因此在计数电路中一般不直接采用十进制。

2. 二进制数

在数字电路中，经常遇到互相对立的两种状态，例如三极管的饱和与截止，节点电位的高与低等。因此，计数电路采用二进制较为方便。

二进制数与十进制数的区别在于数码的个数和进位的规律不同，十进制数用十个数码，并且“逢十进一”；而二进制数则用两个数码 0 和 1，并且“逢二进一”，即 $1+1=10$ (读为“壹零”)。必须注意，这里的“10”与十进制数的“10”是完全不同的，它并不代表“拾”。右边的“0”表示 2^0 位数，左边的“1”表示 2^1 位数，也就是 $10=1\times 2^1+0\times 2^0$ 。因此，所谓二进制就是以 2 为基数的计数体制。这样，我们可将任一个二进制数转换为十进制数，例如，二进制数 1001 转换为十进制数等于

$$1\times 2^3+0\times 2^2+0\times 2^1+1\times 2^0=9$$

表 9.1.1 为十、二进制数对照示例。

3. 十进制数转换为二进制数

表 9.1.1 十、二进制数对照表

十 进 制 数	二 进 制 数
0	0 0 0 0
1	0 0 0 1
2	0 0 1 0
3	0 0 1 1
4	0 1 0 0
5	0 1 0 1
6	0 1 1 0
7	0 1 1 1
8	1 0 0 0
9	1 0 0 1

既然二进制和十进制是同一个数的两种不同表示形式，两者之间就必然有一定的关系来进行互换。例如将十进制数 25 用二进制表示时，可写成

$$(25)_{10} = K_4 \times 2^4 + K_3 \times 2^3 + K_2 \times 2^2 + K_1 \times 2^1 + K_0 \times 2^0$$

式中 $K_4、K_3、K_2、K_1、K_0$ 分别是该位中的数字。25 被 2 除后得到的余数就是 K_0 ；其商再连续除以 2 后得余数 $K_1、K_2、K_3、K_4$ ，直至最后的商等于 0 为止。这样 $K_4、K_3、K_2、K_1、K_0$ 就是十进制数 25 的二进制形式，即

$$\begin{array}{rcl} 2 \mid 25 & \cdots \cdots \cdots & \text{余 } 1 \cdots \cdots \cdots K_0 \\ 2 \mid 12 & \cdots \cdots \cdots & \text{余 } 0 \cdots \cdots \cdots K_1 \\ 2 \mid 6 & \cdots \cdots \cdots & \text{余 } 0 \cdots \cdots \cdots K_2 \\ 2 \mid 3 & \cdots \cdots \cdots & \text{余 } 1 \cdots \cdots \cdots K_3 \\ 2 \mid 1 & \cdots \cdots \cdots & \text{余 } 1 \cdots \cdots \cdots K_4 \\ & & 0 \end{array}$$

所以 $(25)_{10} = (K_4K_3K_2K_1K_0)_2 = (11001)_2$

由此可见,将十进制整数用二进制表示时,只要把这个数不断除以2,直至出现商等于零为止,每次所得到的余数(必为“0”或“1”)就是二进制整数从低位到高位各位数字。

4. 二进制的特点

由于二进制具有一定的优点,因此它在计算技术中被广泛采用。

(1) 二进制的数字装置简单可靠,所用元件少;二进制只有两个数码0和1,因此它的每一位数都可以用任何具有两个不同稳定状态的元件来表示,如三极管的饱和与截止,继电器的闭合和断开,灯泡的亮和灭等。只要规定其中一种状态表示“1”,另一种状态表示“0”,就可以表示二进制数了。这样,数码的存贮和传送,也就可以用简单而可靠的方式进行。

(2) 二进制的基本运算规则简单,因此运算操作简便,如
加法运算: $0+0=0$ $1+0=1$ $0+1=1$ $1+1=10$
乘法运算: $0\times 0=0$ $1\times 0=0$ $0\times 1=0$ $1\times 1=1$

至于减法和除法则分别是加法和乘法的逆运算。

但是,采用二进制也有一些缺点。用二进制表示一个数时,位数多,例如十进制数49表示为二进制数时,即为110001,使用起来不方便也不习惯。因此,在运算时原始数据多用人们习惯的十进制数,在送入机器时,就必须将十进制的原始数据转换成数字系统能接受的二进制数。而在运算结束后,再将二进制数转换为十进制数,表示最终结果,这样又会增加一些设备。

除二、十进制外,在数字系统中,有时还用其它计数体制,如六进制、八进制等等。

9.2 RC 电路

关于RC电路的瞬态特性分析在“电工原理”课程中已学过了。本书第六章亦介绍过在阶跃电压作用下利用RC元件和线

性组件构成的微分和积分电路。由于 RC 电路是脉冲数字电路很重要的基础之一,所以本节先对一些基本概念进行简单复习,然后进一步讨论阶跃电压作用下的 RC 电路以及在矩形脉冲作用下的 RC 微分和积分电路。

9.2.1 RC 电路的分析

1. 电容充放电的规律

由“电工原理”可知,电容器的充、放电过程有如下特点:

(1) 在包含电阻、电容的充、放电回路里,电源经电阻向电容充电或电容经电阻放电,都需要一定的时间才能基本完成。在充放电过程中,电容器的端电压 v_C 和电流 i 随时间变化的规律是指数函数,通常用时间常数 $\tau = RC$ 来表征充放电过程的快慢。 τ 值越大,充放电过程越慢。

(2) 电容两端电压不可能在瞬间发生突变,因为电容两端电压的改变是靠极板上电荷的改变来实现的。要使电容器极板上的电荷量在瞬间突变就是要求电容的充电(或放电)电流为无穷大,这在实际上是不可能的,所以电容两端电压在瞬间是不能突变的。这是脉冲数字电路中最重要、最基本的概念之一。

(3) 充电或放电过程结束后,流过电容的电流等于零,电容呈现高阻抗,相当于“开路”,即所谓电容的“隔直”作用。

(4) 在充放电过程开始时,流过电容的电流最大,电容(对突变电压)呈现低阻抗,相当于“短路”。

2. RC 电路的分析

在图 9.2.1(a)所示的 RC 电路中,如果输入一个阶跃电压 v_i ,当输入电压从 0 跳变到 E 时,回路中的电流和电容、电阻两端的电压,便由原来的稳态经历一定的时间过渡到新的稳态,这种变化过程称为 RC 电路的瞬态过程。这样的过程在脉冲数字电路中是经常遇到的。

图 9.2.1(b)表示输入电压 v_i ,在跳变前瞬间($t=0^-$), $v_i=0$;

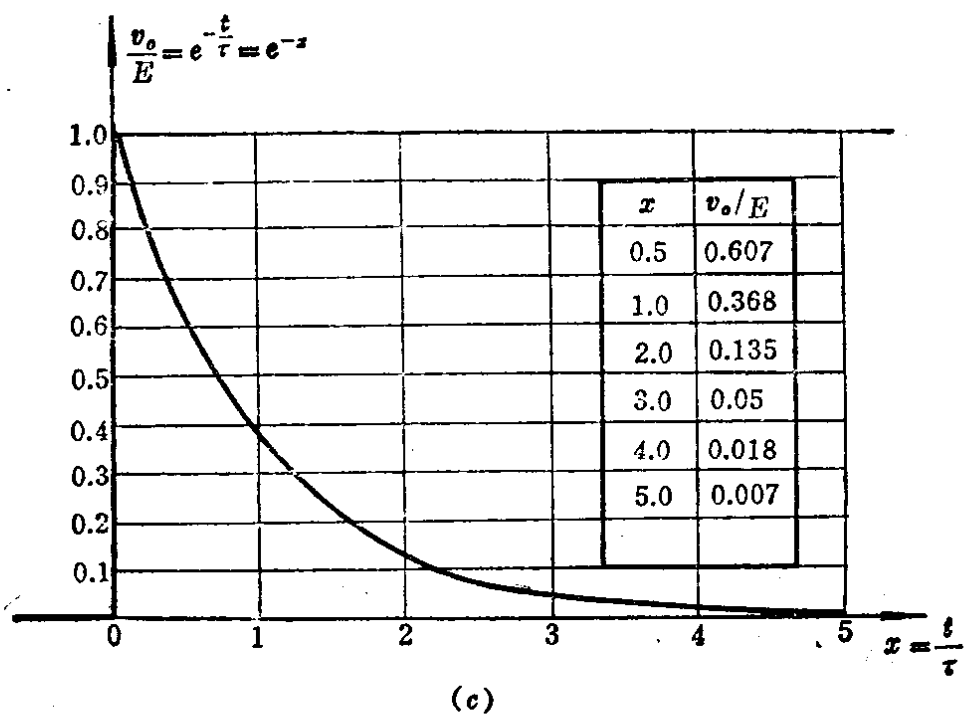
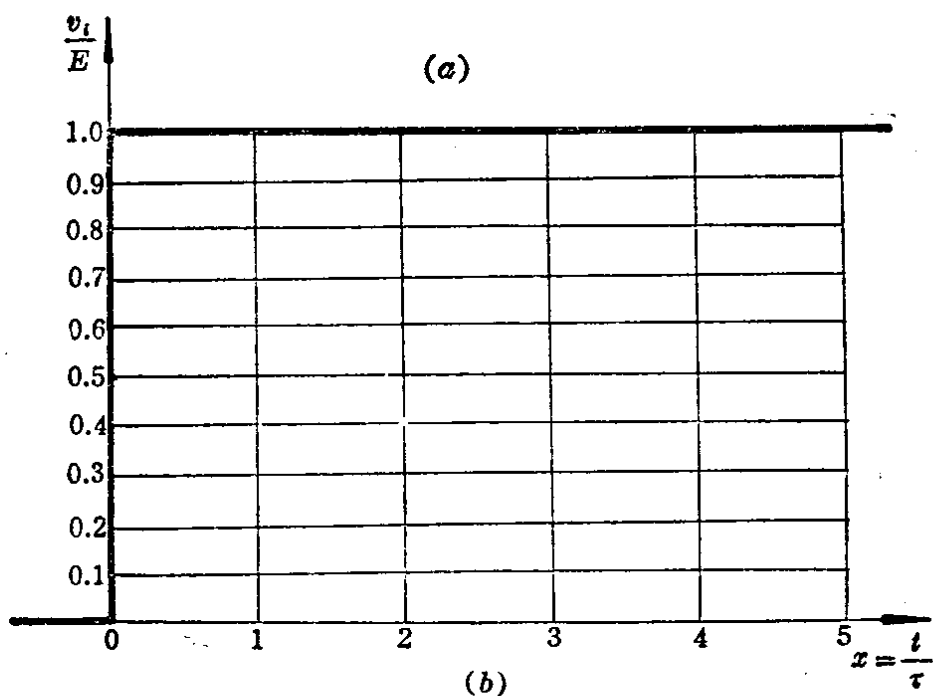
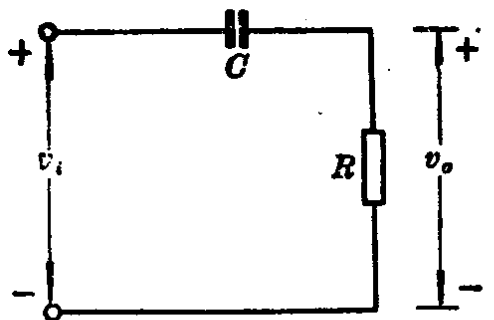


图 9·2·1 RC 电路的分析
(a) 电路图 (b) v_i 波形 (c) v_o 波形