

数 字 电 路

王淑绵 曾宪长 于国喜

吉 林 大 学 出 版 社

数 字 电 路

王淑绵 曾宪长 于国喜

吉 林 大 学 出 版 社

内 容 提 要

本书是在吉林大学计算机科学系多年的教学讲义和教学实践的基础上编写而成的。全书共分九章，分别阐述了脉冲数字电路的基础知识，逻辑门电路，组合逻辑电路，时序逻辑电路，MOS和其它集成电路原理，脉冲波形的产生与整形，集成的模/数和数/模转换器，传输线，噪声及其抑制方法。各章均配有习题，并在书末附以习题解答。附录阐述了逻辑代数及其化简方法。该书深入浅出，通俗易懂，可作为理工科大学、师范院校、电视大学、职工大学有关专业的教材或教学参考书，亦可供工程技术人员参考。

数 字 电 路

王淑绵 曾宪长 于国喜

※

吉林大学出版社出版 长春市第四印刷厂印刷
吉林省新华书店发行

※

787×1092 16开 21.5印张 517 000字
1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷
印数：1—2 500册

ISBN 7-5601-0036-8/O·5

统一书号：13323·24 定价：3.90元

出 版 说 明

根据教学需要，我们出版了这套《吉林大学本科生教材》，这套教材适合高等学校本科生基础课或选修课的教学，由我社逐年陆续出版。

吉林大学出版社

序 言

随着科学技术的飞速发展,不仅仅是计算机专业的学生需要学习和掌握脉冲数字电路的基础知识及其应用,理工科各有关专业的学生以及各行各业的科技人员、工程技术人员,也需要学习和掌握这方面的知识。

本书是在吉林大学计算机科学系多年的教学讲义和教学实践的基础上编写而成的。书中比较全面和深入地阐述了数字电路的基本理论,并且注重了最新器件及其应用,注意了所阐述内容的先进性、系统性、完整性和实用性。

本书各章均附有思考题和习题,特别搜集了近年来许多高等院校、科学院有关单位硕士研究生入学试题(题序前注有*者),并给出了解答,以助读者深入理解教材内容,提高综合分析和解决问题的能力。

本书可作为理工科大学、师范院校、电视大学、职工大学的有关专业的教材或教学参考书,亦可供工程技术人员参考。

全书由王淑绵主编。书中插图由工程师陆志平绘制。

吉林大学计算机科学系主任鞠九滨教授审阅了本书,并提出了许多宝贵的修改意见,编者在此致以诚挚的谢意!

由于水平所限,错误或欠妥之处在所难免,希望广大读者批评指正。

编 者

一九八五年八月

目 录

绪 言	(1)
第一章 脉冲数字电路的基础知识	
1.1 脉冲波形的频谱分析	(3)
1.2 RC 电路	(5)
1.3 RC 电路的应用	(8)
1.3.1 微分电路	(8)
1.3.2 积分电路	(10)
1.3.3 脉冲分压器	(11)
1.4 二极管开关特性及其应用	(12)
1.4.1 二极管开关特性	(12)
1.4.2 二极管限幅器	(15)
1.4.3 二极管箝位器	(17)
1.5 晶体管开关特性	(18)
1.5.1 晶体三极管的三种工作状态	(18)
1.5.2 晶体三极管的开关特性	(19)
1.5.3 加速电容改善开关时间	(21)
复习题	(22)
习 题	(22)
第二章 逻辑门电路	
2.1 基本逻辑门电路	(25)
2.1.1 二极管“与”门电路	(25)
2.1.2 二极管“或”门电路	(26)
2.1.3 “非”门电路	(26)
2.1.4 常用逻辑门电路	(32)
2.2 正逻辑和负逻辑	(34)
2.3 TTL集成电路的发展	(36)
2.3.1 DTL“与非”门	(36)
2.3.2 HTL“与非”门	(37)
2.4 TTL集成电路“与非”门分析	(37)
2.4.1 简易TTL“与非”门	(37)
2.4.2 TTL“与非”门的工作原理	(38)
2.4.3 TTL“与非”门电压传输特性	(40)
2.4.4 TTL“与非”门的输入特性和输出特性	(44)
2.4.5 TTL“与非”门的瞬态特性	(47)

2.4.6	TTL “与非” 门的主要指标和主要性能分析	(50)
2.4.7	STTL (带肖特基势垒二极管的TTL) “与非” 门	(52)
2.5	TTL扩展器及其它基本门	(54)
2.5.1	“与或非” 门	(54)
2.5.2	扩展器	(55)
2.5.3	输出集电极开路门	(56)
2.5.4	三态逻辑门	(59)
2.6	ECL (发射极耦合逻辑) 门电路	(60)
2.6.1	ECL电路的工作原理	(61)
2.6.2	ECL门的主要技术性能和特点	(63)
2.6.3	接口转换门	(66)
	复习题	(68)
	习 题	(69)
第三章 组合逻辑电路		
3.1	译码器与显示器	(73)
3.1.1	二进制译码器	(73)
3.1.2	二-十进制译码器及数字显示	(76)
3.2	编码器	(79)
3.2.1	二进制编码器	(79)
3.2.2	优先编码器	(81)
3.3	采样器	(83)
3.4	奇偶校验器	(85)
3.5	组合逻辑电路的设计	(87)
3.6	组合逻辑电路的竞争冒险	(93)
	复习题	(95)
	习 题	(95)
第四章 时序逻辑电路		
4.1	TTL 触发器	(98)
4.1.1	触发器的基本形式及其逻辑功能	(98)
4.1.2	维持-阻塞触发器	(103)
4.1.3	主从触发器	(106)
4.1.4	边沿触发器	(109)
4.1.5	不同类型触发器之间的转换	(112)
4.1.6	集成单元触发器的主要指标	(113)
4.2	寄存器和移位寄存器	(115)
4.2.1	数码寄存器	(115)
4.2.2	移位寄存器	(116)
4.2.3	寄存器应用实例	(118)
4.3	计数器	(120)

4.3.1	二进制计数器	(120)
4.3.2	十进制计数器	(125)
4.3.3	N 进制计数器	(131)
4.3.4	移位寄存器型计数器	(134)
4.3.5	格雷码计数器和分配器	(136)
4.4	时序逻辑电路的设计	(138)
4.4.1	同步时序逻辑电路的设计	(138)
4.4.2	异步时序逻辑电路的设计	(144)
	复习题	(147)
	习 题	(148)
第五章 大规模集成电路介绍		
5.1	MOS场效应晶体管 (MOSFET)	(155)
5.2	MOS反相器	(161)
5.2.1	电阻负载MOS反相器	(161)
5.2.2	饱和型有源负载反相器	(161)
5.2.3	非饱和型有源负载反相器	(163)
5.2.4	CMOS反相器	(165)
5.2.5	动态MOS反相器	(167)
5.3	MOS门电路	(168)
5.3.1	“与非”门和“或非”门	(168)
5.3.2	驱动器	(170)
5.3.3	传输门	(171)
5.3.4	异或门	(172)
5.3.5	三态门	(172)
5.4	MOS触发器	(173)
5.4.1	RS触发器	(173)
5.4.2	维持-阻塞触发器	(174)
5.4.3	主从触发器	(175)
5.4.4	动态MOS触发器	(176)
5.5	MOS寄存器	(176)
5.6	半导体存贮器	(177)
5.6.1	随机存贮器 (RAM)	(178)
5.6.2	只读存贮器 (ROM)	(180)
5.7	MOS与双极型电路接口问题	(183)
5.8	集成注入逻辑 (I^2L) 电路	(184)
5.8.1	I^2L 的基本结构和工作原理	(184)
5.8.2	I^2L 组成的基本逻辑电路	(185)
5.9	电荷耦合器件 (CCD) 存贮器	(187)
	复习题	(190)

习 题	(190)
第六章 脉冲波形的产生与整形	
6.1 分立元件触发器	(195)
6.1.1 双稳态触发器	(195)
6.1.2 单稳态触发器	(199)
6.2 用集成“与非”门组成的单稳态触发器	(201)
6.2.1 微分型单稳态电路	(202)
6.2.2 积分型单稳态电路	(204)
6.2.3 带扩展端的单稳态电路	(206)
6.3 用集成“与非”门组成的多谐振荡器	(207)
6.3.1 对称型多谐振荡器	(207)
6.3.2 环型多谐振荡器	(209)
6.4 用集成“与非”门组成的施密特触发器	(213)
6.5 锯齿波电压发生器	(216)
6.5.1 恒流源锯齿波发生器	(217)
6.5.2 自举型锯齿波发生器	(219)
6.5.3 密勒扫描电路	(223)
6.6 间歇振荡器	(226)
6.6.1 电感脉冲变压器	(226)
6.6.2 单稳态间歇振荡器	(232)
6.6.3 自激间歇振荡器	(234)
附： CMOS 构成的脉冲产生与整形电路	(235)
复习题	(237)
习 题	(238)
第七章 集成的模/数和数/模转换器	
7.1 概述	(240)
7.2 模拟信号的数字编码	(240)
7.2.1 采样和保持	(240)
7.2.2 采样-保持电路	(241)
7.2.3 量化和编码	(243)
7.3 数/模(D/A)转换器	(244)
7.3.1 权电阻 D/A 转换器	(244)
7.3.2 $R-2R$ 梯形 D/A 转换器	(246)
7.3.3 D/A 转换器的分辨率和精度	(248)
7.3.4 D/A 转换器所使用的开关	(248)
7.4 模/数(A/D)转换器	(252)
7.4.1 计数器控制的 A/D 转换器	(253)
7.4.2 并行比较型 A/D 转换器	(253)
7.4.3 逐次逼近型 A/D 转换器	(256)

7.4.4	双积分型A/D转换器	(258)
7.4.5	A/D转换器的技术指标	(269)
	习 题	(260)
第八章 传输线		
8.1	传输线反射的基本规律	(261)
8.1.1	信号沿传输线运动的基本现象	(261)
8.1.2	传输线的特性	(262)
8.2	TTL集成电路系统中传输线反射的图解方法	(270)
8.3	TTL集成电路系统中传输线阻抗的匹配方法	(273)
8.3.1	终端匹配方法	(273)
8.3.2	始端匹配方法	(275)
	习 题	(277)
第九章 噪声及其抑制方法		
9.1	概述	(278)
9.2	干扰的来源	(278)
9.3	噪声的耦合方式	(280)
9.4	抑制电子噪声的方法	(282)
9.4.1	保护接地	(282)
9.4.2	信号接地	(282)
9.4.3	电缆屏蔽层的接地	(284)
9.4.4	放大器的屏蔽罩接地	(285)
9.4.5	数字系统的接地和系统接地方式	(285)
9.4.6	屏蔽	(286)
9.4.7	滤波和去耦	(288)
9.4.8	隔离	(290)
9.4.9	平衡	(291)
	习 题	(291)
习题解答		
第一章	习题解答	(292)
第二章	习题解答	(294)
第三章	习题解答	(302)
第四章	习题解答	(305)
第五章	习题解答	(310)
第六章	习题解答	(314)
第八章	习题解答	(316)
第九章	习题解答	(317)
附录：逻辑代数及其化简方法		(319)
参考文献		(331)

绪 言

脉冲技术与数字电路

脉冲技术是现代电子技术中一项重要的基础技术。所谓脉冲技术是产生、变换、处理、传输和测量各种脉冲信号的方法和技术。它诞生于二十世纪四十年代末，首先在雷达技术中得到了广泛的应用。随着现代科学技术的发展，特别是电子计算机的出现，促使脉冲技术得到了迅速发展，并形成了一个新的分支学科——数字电子学。

数字电路具有速度快、精度高、电路简单、抗干扰能力强、数字信号可以长期保存等优点。随着中、大规模数字集成电路的出现以及数字电子计算机的广泛应用，数字电路的重要性越来越明显。

数字信号与脉冲信号

电子电路中的工作信号，可分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是连续变化的量，如生产中常遇到的各种物理量，转化为电信号就是平滑的、连续的量。数字信号是离散的、不连续的量，通常用二进制数“0”和“1”组合代码序列来表示，转化为电信号就是一连串的脉冲。

脉冲信号是一种短促的断续作用的电压或电流信号。一些常见的脉冲信号的波形，如图1所示。从这些波形图中，可以看出脉冲波有一个共同的特点，这就是它们的电压或电流在极短的时间（ μs 或 ns ）内发生突变。

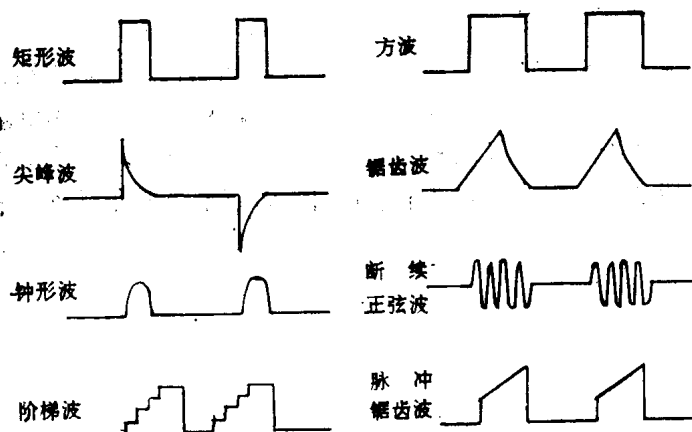


图 1

为了便于对脉冲信号的波形进行定量的分析，表征和评价脉冲电路的性能，定义描述脉冲波形的一些参数，现在，以图2所示的矩形脉冲电压为例，说明脉冲波形的一些主要参数。

脉冲幅度 V_m ——脉冲波形电压变化的最大值；

脉冲上升时间 t_r ——波形由 $0.1V_m$ 上升到 $0.9V_m$ 所需的时间；

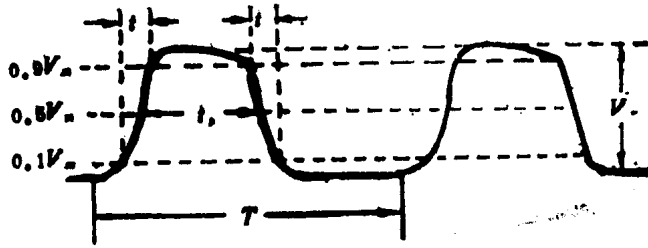


图 2

脉冲下降时间 t_f ——波形由 $0.9V_m$ 下降到 $0.1V_m$ 所需的时间；

脉冲宽度 t_p ——由前沿 $0.5V_m$ 到后沿的 $0.5V_m$ 的时间；

脉冲重复周期 T ——周期脉冲前、后两次脉冲出现的时间间隔（脉冲的重复频率为 $f = \frac{1}{T}$ ）；

脉冲空度系数 Q ——脉冲周期与宽度比值。

脉冲电路和数字集成电路所研究的内容

脉冲数字电路的内容大致包括脉冲的产生、整形、传输、控制、记忆和计数等。在一般脉冲电路中，重点是对脉冲波形的研究。而在数字电路中，重点始终放在研究基本单元的状态之间的逻辑关系上，然后通过各种逻辑关系实现一定的逻辑功能。

数字集成电路又称为逻辑电路。目前的各种数字集成电路，主要采用的电路形式有二极管-晶体管逻辑(DTL)和晶体管-晶体管逻辑(TTL)两种类型。逻辑电路有饱和型逻辑电路、非饱和型逻辑电路、金属-氧化物-半导体逻辑电路等等。上述的DTL和TTL都属于饱和型逻辑电路。后面将要介绍的ECL电路，则属于非饱和型逻辑电路。我们还将介绍金属-氧化物-半导体场效应管MOSFET（简称MOS管）电路。特别是在大规模和超大规模集成电路中，除了一些基本形式外，还采用了其它多种不同结构的MOS电路。

数字集成电路是由各种逻辑门和基本触发器组成的。目前数字集成电路正在迅速发展，中规模、大规模和超大规模集成电路已经得到了广泛的应用。它的发展与应用对于整个工业的发展起极大的推动作用，为此，本书将向读者较系统地介绍数字集成电路。

第一章 脉冲数字电路的基础知识

1.1 脉冲波形的频谱分析

借助付立叶级数的分析方法，可以将任何一个脉冲函数 $f(t)$ 展开为如下形式的付立叶级数：

其中
$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \cos n\omega_0 t dt \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} f(t) \sin n\omega_0 t dt \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

(T 为函数 $f(t)$ 的周期)。

下面以相对座标原点对称的矩形波 (如图1.1.1所示) 为例来分析脉冲波形的频谱。 E 为脉冲波的振幅, T 为脉冲周期。

对称矩形脉冲的数学表示式为：

$$v(t) = \begin{cases} -E & (n - \frac{1}{2})T \leq t \leq nT \\ E & nT \leq t \leq (n + \frac{1}{2})T \end{cases} \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

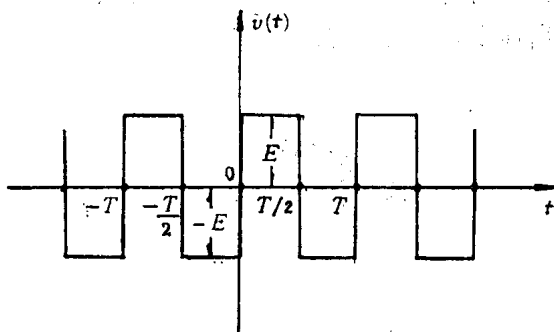


图 1.1.1

$v(t)$ 可展成为付立叶级数：

$$v(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega_0 t + b_n \sin n\omega_0 t)$$

因为 $v(t)$ 对 t 来说，是奇函数，因而可得

$$a_n = a_0 = 0$$

$$\begin{aligned} b_n &= \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} v(t) \sin n\omega_0 t dt \\ &= \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} v(t) \sin \frac{2\pi n}{T} t dt \\ &= \frac{4}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} E \sin \frac{2\pi n}{T} t dt \end{aligned}$$

$$= \frac{2E}{n\pi} (1 - \cos n\pi)$$

$$= \frac{2E}{n\pi} [1 - (-1)^n]$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

所以

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_0 t$$

$$= \frac{4E}{\pi} \left[\sin \omega_0 t + \frac{1}{3} \sin 3\omega_0 t + \frac{1}{5} \sin 5\omega_0 t + \dots + \frac{1}{2n-1} \sin (2n-1)\omega_0 t + \dots \right]$$

从上式可知，一个矩形脉冲是由不同频率的正弦波叠加而成的，而且这些正弦波的振幅随频率的增高而减小。反之，如果我们严格地按照上面数学描述式来用正弦波（不同频率、不同幅度）逐步叠加，最终一定会叠加出如图1·1·1所示的矩形波来。从图1·1·2可以看出逐步叠加的趋势。

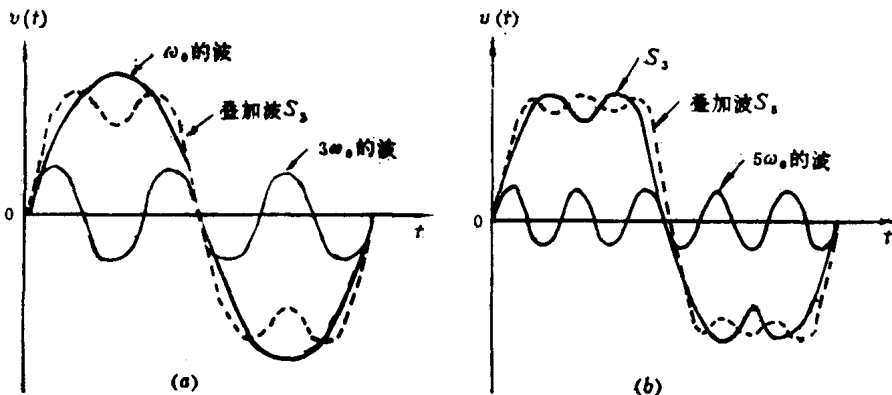


图 1·1·2

$v(t)$ 中的最低频率称为基频。这个基频周期恰好等于矩形脉冲的重复周期。当只有基波项时 $v(t) = \frac{4E}{\pi} \sin \omega_0 t$ ，用 S_1 表示；基波与三次谐波的和用 S_3 表示； n 次谐波与以前

各次谐波及基波的和用 S_n 表示。在图1·1·2(a)中表示出基波(ω_0 的波)和三次谐波($3\omega_0$ 的波)之和 S_3 。在图1·1·2(b)中表示出 S_3 和五次谐波($5\omega_0$ 的波)的和 S_5 。依此类推，再将 S_5 与七次谐波合成， \dots ，则合成波就越来越趋近于矩形波。当谐波愈多，合成后，便越近似于矩形的边。当谐波频率为 ∞ （即 $n \rightarrow \infty$ ）时，则 S_n 就必定是个理想的矩形波。由此可见，脉冲信号是频谱很宽的信号，它的突变部分（即前、后沿部分），包含有很高的频率成分，而前、后沿越陡，则所含的频率成分就越高。脉冲波的平顶部分和变化较缓慢的部分则包含的主要是零频（直流）和低频部分。显然，理想的脉冲的边沿所对应的谐波

频率为无穷大 (∞)。

1.2 RC电路

尽管脉冲数字电路的种类繁多，但是，构成这些电路的基本元件不外乎晶体管、电阻、电容和电感等等。因此，只要掌握了这些基本元件的特性，就可以为以后分析复杂电路打下良好的基础。RC电路是脉冲电路中用得最多的基本组成部分之一，了解RC电路的特性，是认识脉冲电路的基础。

在图1.2.1中，设 $t=0$ 时刻，开关 K 由位置1切换到位置2，则就会有一个阶跃电压 E 作用在RC电路的输入端。为了找出电容 C 两端的电压 v_C 的变化规律，列出回路电压方程如下：

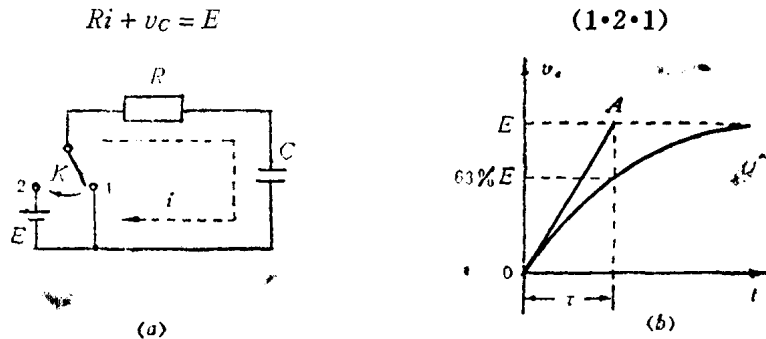


图 1.2.1

电容 C 的充电电流为 i ，电容 C 上积累的电荷为 Q ， Q 与 i 的关系如下式所示：

$$Q = \int i dt = C \cdot v_C$$

$$i = C \cdot \frac{dv_C}{dt}$$

将 i 代入(1.2.1)式中，得到

$$RC \frac{dv_C}{dt} + v_C = E$$

令

$$RC = \tau$$

则有

$$\tau \frac{dv_C}{dt} + v_C = E \quad (1.2.2)$$

(1.2.2)式是描述RC电路过渡过程的方程，该一阶微分方程的通解是：

$$v_C(t) = A \cdot e^{-t/\tau} + B \quad (1.2.3)$$

如果初始条件不为零（即电容上原来已充有一定电压），则可由电路的初始条件和终值条件求出常数 A 和 B 。

初始条件 $t \rightarrow 0$ $v_C = v_C(0)$

终值条件 $t \rightarrow \infty$ $v_C = v_C(\infty)$

将上面两个条件代入 (1.2.3) 式中, 得:

$$v_C(0) = A + B$$

$$v_C(\infty) = B$$

$$\therefore A = v_C(0) - v_C(\infty)$$

再将 A, B 值代入 (1.2.3) 式中, 得

$$v_C(t) = v_C(\infty) + [v_C(0) - v_C(\infty)]e^{-t/\tau} \quad (1.2.4)$$

为了适用一般情况, 若将 v_C 换成 v , 则有:

$$v(t) = v(\infty) + [v(0) - v(\infty)]e^{-t/\tau} \quad (1.2.5)$$

通常 (1.2.5) 式称为过渡过程公式。

综上所述, 可得出如下结论:

如果 RC 电路中只包含一个独立的电容, 或虽有几个电容, 但可归并为一个电容时, 其过渡过程的电路方程一定是一阶线性常系数微分方程, 具有 (1.2.2) 式的形式。

如果在 RC 电路中有阶跃电压作用时, 在已知电路初始状态的情况下, 微分方程必定可解, 而且其解应具有 (1.2.5) 式的形式。

为了建立 (1.2.5) 式, 需要判断式中三个基本量 $v(\infty)$ 、 $v(0)$ 、 τ , 只要这三个基本量能够确定, 则 $v(t)$ 方程即可建立。因此, 称这三个基本量为过渡过程公式的三要素。

为了能够确定具体电路中的三个基本量, 必须了解电容的特性。

$v_C(0)$: 阶跃电压作用到 RC 电路的瞬间, 其跳变部分含有很高的正弦波角频率, 即 $\omega \rightarrow \infty$, 故有 $Z_C = \frac{1}{\omega C} \rightarrow 0$, 这说明电容 C 在阶跃电压作用瞬间呈现短路元件性质。

$v_C(\infty)$: 阶跃电压作用到 RC 电路后, 进入稳态, 阶跃电压为平直部分, 所以正弦波角频率 $\omega \rightarrow 0$, 故使 $Z_C \rightarrow \infty$, 因此电容 C 呈现开路元件性质。

τ : 将电路中电压源短路保留其串联电阻, 电流源开路保留其并联内阻, 然后将电路归并一个总的电阻 R 和一个总的电容 C 的串联回路, $\tau = RC$ 。

下面讨论一下时间常数 τ 的物理意义。将下式

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

在零点微分得:

$$\left. \frac{dv(t)}{dt} \right|_{t=0} = \frac{1}{\tau} [v(\infty) - v(0)]$$

等式左边表示曲线起始点的斜率。从上式可以看出, 要使曲线变化加快, 即使 $v(t)$ 在 $t=0$ 点的速度加快, 有两个途径: 一个是加大稳态值与初始值的相对幅度, 另一个是减小时间常数 τ 。时间常数 τ 为:

$$\tau = \frac{v(\infty) - v(0)}{\left. \frac{dv}{dt} \right|_{t=0}}$$

该式说明时间常数 τ 等于过渡过程以其起始速度等速地由起始值至稳态值所需的时间。若从几何图形上看, 相当于图 1.2.1(b) 中从起点作一条切线, 切线与稳态值的交点为 A , 则线段 OA 之间所对应的时间即为时间常数 τ 。

例1·2·1 试用过渡过程公式求解图 1·2·1(a) RC 电路中电阻和电容上的电压变化规律。

解：首先判断三要素：

$$v_C(0) = 0 \qquad v_R(0) = E$$

$$v_C(\infty) = E \qquad v_R(\infty) = 0$$

$$\tau = RC \text{ (设电源内阻为零)}$$

将上面三个量代入公式 (1·2·5) 得：

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

$$v_R(t) = E \cdot e^{-t/\tau}$$

波形如图 1·2·2 所示。从表达式中可以看出，电容器充电需要无穷长的时间，但在实际应用中，只要 v_C 充到 $0.9E$ ，也即 $v_R = 0.1E$ 时，可认为电容器充电完毕。若以 $v_R = 0.1E$ 代入 $v_R(t)$ 中，则得

$$0.1E = Ee^{-t/\tau}$$

$$t = \tau \ln 10 = 2.3\tau$$

若使 $v_C = 0.95E, t = 3\tau$ ；若使 $v_C = 0.99E, t = 5\tau$ 。

在实际应用中这三个值都存在，一般取 t 为 2.3τ 。

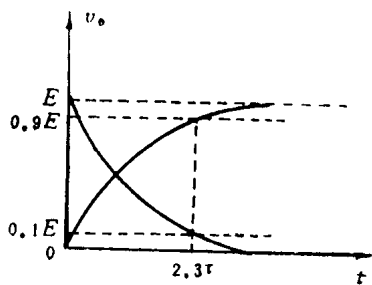


图 1·2·2

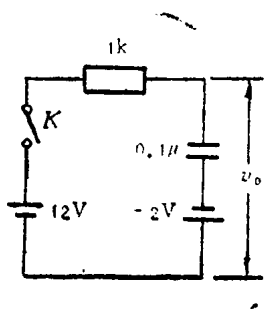


图 1·2·3

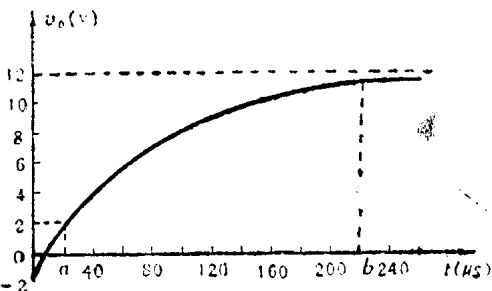


图 1·2·3

例1·2·2 电路如图 1·2·3(a) 所示。当 $t=0$ 时，开关 K 合上。试求经多长时间 $v_o(t)$ 为 $2V$ ，并画出 $v_o(t)$ 的波形图。

解 $v_o(0) = -2V$

$$v_o(\infty) = 12V$$

$$\tau = RC = 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6} = 10^{-4} S = 0.1ms$$

将三要素代入公式得：

$$v_o(t) = -2 + (12 + 2)(1 - e^{-t/0.1}) = 2V$$

$$t = 0.1 \ln 1.4 = 23 \times 10^{-3} ms = 23\mu s$$

波形如图 1·2·3(b) 所示。输出电压到达 $2V$ 需 $23\mu s$ ，即图中 a 点。达到稳态值需时间 2.3τ ，即图中 b 点。

从上面分析可以看出，过渡过程公式的物理意义可以归纳为：

电容器上的电压不能突变；电容器两端的电压以指数规律变化；电容器具有隔直的作用。