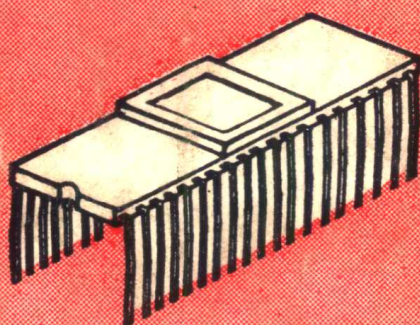
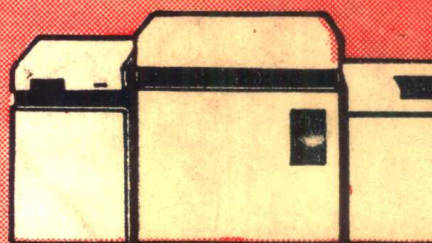
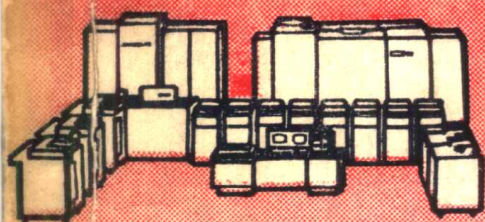
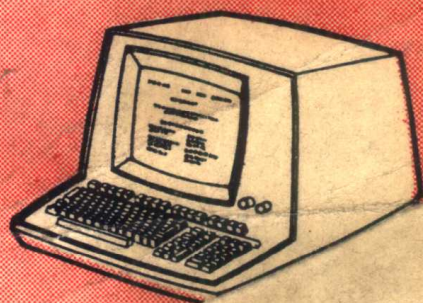


计算机电路分析和应用

史庆周 梁雄健 赵广仁 编译



机械工业出版社



计 算 机 电 路 分 析 和 应 用

史庆周 梁雄健 赵广仁 编译



机 械 工 业 出 版 社

计算机电路分析和应用

史庆周 梁雄健 赵广仁 编译

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $32 \frac{1}{4}$ · 字数 796 千字

1982年10月北京第一版·1982年10月北京第一次印刷

印数 00,001—13,500 · 定价 3.30 元

*

统一书号: 15033·5102

前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业教材座谈会审定为电子计算机及其应用专业的教学参考书。主要是根据国外中、大规模数字集成电路和应用等资料编译，内容比较先进，对学习计算机电路及微型计算机都很有帮助。

本书共分三篇：第一篇讲述小规模数字集成电路的原理和分析方法，以及所涉及到的基本网络定理、布尔代数和计算机数制等基本知识；第二篇讲述中规模数字集成电路、半导体存储器及其应用；第三篇讲述由中、大规模集成电路构成的微型计算机的中央处理器及其它逻辑部件，最后介绍了 8080 型和 Z-80 型微型计算机。

本书的特点是浅显易懂，讲解的比较详细，除本书中所要用到的布尔代数、数制以外，没有涉及到其它高等数学知识，书中有大量的例题和习题，便于读者自学和参考。

本书可以作为电子计算机及其应用专业、电子计算机专业以及其它电类专业学习计算机电路（或脉冲数字电路）和微型计算机课的教学参考书；可作为业余大学学习本课的教材；可作为短训班的讲义；也可作为教师、工程技术人员和对电子计算机发展有兴趣读者的参考书。

本书第一至第六章由东北重型机械学院史庆周同志编译，第七、八章由孟庆有同志编译，第九、十章由马龙生同志编译，第十一、十二章由邹沐昌同志编译，第十三、十四章由北京邮电学院梁雄健同志编译，第十五、十六章由同济大学赵广仁同志编译，第十七、十八章由上海杨浦电厂王汝范同志编译。全书并由马龙生和王汝范同志整理，上海市业余工业大学肖定柏和上海电机研究所吴玉法同志校审。由周斌同志负责编辑。

由于编译时间短促，加之编译者水平有限，因此本书难免存在不少缺点和错误，恳切希望读者给予批评指正。

一九八〇年十月

目 录

前言

第一篇 数字电路的分析基础

第一章 网络分析	1
§ 1-1 戴维南定理	1
§ 1-2 诺顿定理	4
§ 1-3 戴维南定理与诺顿定理之间的转换	5
§ 1-4 米尔曼定理	6
§ 1-5 RC电路的瞬态响应	9
§ 1-6 输入阶跃函数电压的 RC 电路	13
§ 1-7 RC 衰减器	15
习题	16
第二章 半导体开关电路	18
§ 2-1 半导体二极管	18
§ 2-2 二极管的信号特性	21
§ 2-3 晶体管的伏安特性	21
§ 2-4 晶体管开关	26
§ 2-5 晶体管开关电路的瞬态响应	30
§ 2-6 过驱动	31
§ 2-7 不饱和方法	35
§ 2-8 减少延迟时间的方法	39
§ 2-9 场效应晶体管	39
一、结型场效应管 (JFET)	39
二、绝缘栅 FET (IGFET) 或金属氧化物半导体 FET (MOSFET)	42
§ 2-10 场效应管开关	44
§ 2-11 小结	44
习题	44
第三章 计算机的数学与逻辑基础	48
§ 3-1 数制	48
§ 3-2 数制的转换方法	50
§ 3-3 二进制运算	55
§ 3-4 补码及反码	58
§ 3-5 二-十进制代码	60
§ 3-6 布尔代数	64

§ 3-7 串、并联电路	64
§ 3-8 布尔定理	66
§ 3-9 逻辑设计	71
§ 3-10 与非、或非、禁止及蕴含门电路	73
§ 3-11 小结	74
第三章附录 ASCII 字符表 (7 位代码)	75
习题	75
第四章 二极管逻辑	78
§ 4-1 二极管“与”门电路的静态分析	78
§ 4-2 实用的二极管“与”门电路	80
§ 4-3 “与”门电路的瞬态分析	82
§ 4-4 二极管“或”门电路的静态分析	84
§ 4-5 实用的二极管“或”门电路	86
§ 4-6 “或”门电路的瞬态分析	88
§ 4-7 级联二极管门电路的静态分析	90
§ 4-8 电平迁移	91
§ 4-9 级联二极管门电路的瞬态分析	92
§ 4-10 小结	93
第四章附录 A 与门电路上升时间	93
第四章附录 B 或门电路下降时间	94
习题	95
第五章 反相器 (“非”门电路)	97
§ 5-1 基本反相器	97
§ 5-2 基本反相器的静态分析	98
§ 5-3 集电极钳位饱和型反相器	99
§ 5-4 扇入系数、扇出系数及单位负载的概念	100
§ 5-5 直流噪声容限	100
习题	101
第六章 电阻-晶体管逻辑和电阻-电容-晶体管逻辑电路	102
§ 6-1 RTL “或非”门电路	102

§ 6-2 多晶体管 RTL “或非” 门电路 的分析.....	103	§ 10-4 逻辑触发器的实际电路	174
§ 6-3 RCTL 电路	105	§ 10-5 触发器的空翻问题	177
§ 6-4 小结	106	§ 10-6 D 型触发器	183
习题	106	§ 10-7 各种触发器的相互转换	184
第七章 二极管-晶体管逻辑、射极 耦合逻辑及线逻辑电路	108	习题	185
§ 7-1 DTL 集成电路	108	第十一章 专用电路	188
§ 7-2 ECL 电路	111	§ 11-1 内部门电路	188
§ 7-3 线逻辑电路	116	§ 11-2 肖特基钳位的 TTL 门电路	190
§ 7-4 小结	119	§ 11-3 简单的灯驱动电路	191
习题	119	§ 11-4 继电器驱动电路	192
第八章 晶体管-晶体管逻辑电路	122	§ 11-5 传输线驱动和终端负载	192
§ 8-1 多发射极晶体管结构	122	§ 11-6 晶控时钟脉冲发生器	193
§ 8-2 TTL “与非” 门电路的静 态分析	123	§ 11-7 施密特触发器	194
§ 8-3 TTL “与非” 门电路的瞬 态分析	132	§ 11-8 施密特触发器电路的分析	195
§ 8-4 TTL “或非” 门电路	135	§ 11-9 施密特触发器的快速分析	200
§ 8-5 TTL 反相器	136	§ 11-10 FET 逻辑电路	200
§ 8-6 TTL “与” 门电路	136	§ 11-11 CMOS 逻辑电路	204
§ 8-7 TTL “或” 门电路	137	§ 11-12 三态逻辑电路	205
§ 8-8 TTL “与或非” 门电路	138	§ 11-13 接口单元	207
§ 8-9 输出电路的类型	140	§ 11-14 小结	208
§ 8-10 小结	148	习题	208
习题	149	第二篇 中规模集成电路及其应用	
第九章 无稳态和单稳态电路	151	第十二章 数字集成电路组件及其 应用	209
§ 9-1 集电极-基极耦合的无稳态电路	151	§ 12-1 TTL 组件的封装	209
§ 9-2 电路分析	153	§ 12-2 TTL 门电路组件	209
§ 9-3 改进的集电极耦合无稳态电路	157	§ 12-3 TTL 触发器组件	215
§ 9-4 集电极耦合无稳态电路的同步 和分频	158	§ 12-4 TTL 单稳态组件	217
§ 9-5 pnp 管集电极耦合的无稳态 电路	160	§ 12-5 中规模集成电路组件	219
§ 9-6 集电极-基极耦合的单稳态电路	161	习题	233
§ 9-7 单稳态电路的应用	166	第十三章 中规模数字集成电路的 应用	235
§ 9-8 小结	167	§ 13-1 数字比较器的应用	235
习题	168	§ 13-2 奇偶校验器的应用	237
第十章 双稳态电路和触发器	169	§ 13-3 数字多路转换器或数据选择 器的应用	239
§ 10-1 基本的触发器	169	§ 13-4 译码器的应用	243
§ 10-2 基本逻辑触发器	171	§ 13-5 多路分离器	244
§ 10-3 逻辑触发器的类型	172	§ 13-6 编码器	246
		§ 13-7 小型固体显示器的应用系统	247
		一、LED 基本原理	247

二、单数字七段 LED 显示器	248
三、多数字七段显示器	250
四、多路转换多个数字七段显示器	252
五、LED 点阵显示器	254
§ 13-8 小结	256
习题	256
第十四章 半导体存储器	258
§ 14-1 只读存储器	258
一、ROM 的基本原理	258
二、PROM 的种类	259
三、ROM 的电气特性	260
四、PROM 的手工编程方法	261
五、ROM 的扩展	263
§ 14-2 ROM 的应用举例	264
一、随机逻辑的发生	264
二、微程序控制	266
三、查表	266
四、编码的转换和发生	267
五、字符的发生	268
§ 14-3 可编程序逻辑阵列	270
§ 14-4 读写存储器	274
一、双极型存储单元	275
二、MOS 存储单元	276
三、双极存储器	276
四、静态 MOS 存储器	281
五、动态 MOS 存储器	283
六、存储器的扩展	285
§ 14-5 专用存储器	290
一、内容定址存储器 (CAM)	290
二、先入先出存储器 (FIFO)	291
三、后入先出存储器 (LIFO)	291
四、写-同时-读存储器	291
§ 14-6 小结	292
习题	292

第三篇 微处理器

第十五章 微型计算机的中央处理器	294
§ 15-1 概述	294
一、数字电路的发展及微处理器	294
二、微型计算机的组成	295
§ 15-2 微处理器	299
一、微处理器中的寄存器	299

二、CPU 寄存器的作用	300
三、运算器 (ALU)	306
四、控制器 (CU)	307
五、状态标志位	307
§ 15-3 指令的执行	310
一、指令的定时	311
二、指令的周期	311
三、一条指令所能完成的操作	315
§ 15-4 微程序和控制单元	320
一、微指令和宏指令的概念	320
二、以微处理器为基础的微型计算机	322
三、位片式微型计算机	328
四、位片式寄存器、运算器和逻辑 部件	330
五、位片式控制器	338
第十六章 中央处理器以外的逻辑 部件	342
§ 16-1 程序与数据存储器	342
§ 16-2 微型计算机与外围设备的 数据传输	347
§ 16-3 程序控制输入输出	347
§ 16-4 中断的输入输出	351
§ 16-5 直接存储器存取 (DMA)	366
§ 16-6 串行输入输出的要求	377
一、串行数据位的识别	378
二、电话线路	382
三、错误检测	382
§ 16-7 串行输入输出约定	383
一、同步串行数据的传输	383
二、同步电话的约定	384
三、异步串行数据的传输	385
§ 16-8 串行输入输出通讯部件	387
一、双列直插式组件引脚	387
二、逻辑分配	387
三、CPU 与串行 I/O 部件的接口	388
四、串行 I/O 接口	388
五、串行 I/O 的控制信号	389
六、调制-解调器的控制信号	391
七、串行 I/O 接口部件的控制信号	392
八、串行 I/O 接口部件寻址	393
§ 16-9 其它逻辑电路	394
一、外部系统总线逻辑电路	394

二、实时逻辑	394	四、优先权中断控制器 8214	451
第十七章 8080 微型计算机	397	第十八章 Z-80 微型计算机	459
§ 17-1 概述	397	§ 18-1 Z-80CPU结构	459
§ 17-2 8080 中央处理器	397	一、CPU 寄存器	459
一、8080CPU的总体结构	397	二、算术与逻辑单元 (ALU)	460
二、8080CPU引脚功能	399	三、指令寄存器和 CPU 控制	461
三、8080CPU的电气性能	400	§ 18-2 Z-80CPU 引脚功能	461
四、8080微处理器指令执行周期	403	§ 18-3 Z-80CPU 时序	463
五、中断时序	411	§ 18-4 Z-80CPU 指令系统	470
六、保持 (HOLD) 时序	412	一、指令系统概述	470
七、暂停 (HALT) 的时序	414	二、寻址方式	471
八、8080 CPU的启动	414	三、指令操作码	473
§ 17-3 8080CPU 指令系统	415	§ 18-5 Z-80CPU 标志	487
一、8080 指令和数据的格式	415	§ 18-6 操作码与执行时间	490
二、寻址方式	416	§ 18-7 中断响应	503
三、条件标志	417	一、中断允许禁止	503
四、符号和缩写	417	二、CPU 响应	503
五、叙述的方式	419	§ 18-8 Z-80 硬件应用举例	505
§ 17-4 8080 微型机系统部件		一、最小系统	505
介绍	435	二、增加 RAM	506
一、时钟发生器及驱动器 8224	435	三、存储器速度控制	506
二、系统控制器及总线驱动器 8228	440	四、接口动态存储器	507
三、8 位输入输出接口 8212	444	§ 18-9 Z-80 电气性能	507

第一篇 数字电路的分析基础

第一章 网络分析

在分析脉冲数字电路时，经常需要用等效电路来代替实际电路。这个等效电路是用网络定理求得的。在这一章里将讨论线性网络分析的一般定理：戴维南（Therenin）定理、诺顿（Norton）定理和米尔曼（Millman）定理，它们在计算机电路分析中有广泛的应用。此外，还要讨论 RC 电路，因为分析脉冲数字电路时也经常用到它。

§ 1-1 戴维南定理

戴维南定理叙述任意两端线性网络，不论它如何复杂，可用一个电压源与一个阻抗相串联的支路来代替。其戴维南等效电压 V_{TH} 与网络负载两端开路产生的输出电压相同。当全部电源用它们的内阻抗代替时，戴维南阻抗 Z_{TH} 就与在开路两端看进去的内阻抗相同。

当分析具有变化负载的复杂电路时，这个定理是非常有用的。例如，在图 1-1 a 中，每当负载电阻 R_L 改变时，所有电阻上的电压降和电流都将改变。如果需要求出很多不同 R_L 值的负载电压 V_{R_L} 时，必须每次都重新分析整个电路。在图 1-1 b 中是把这个电路的不变部分，由它的戴维南等效电路来代替。这样就容易计算出当 R_L 变化时，在 R_L 上的电压

$$V_{R_L} = V_{TH} \left(\frac{R_L}{R_L + R_{TH}} \right) \quad (1-1)$$

当需要求出包括几个电压源或电流源电路的输出电压时，戴维南定理也很有用。在图 1-2 中是包括两个电压源的电路及用戴维南等效电路替代后得到的简单串联电路。在图 1-2 中的 V_{TH} 及 R_{TH} 用这个定理中叙述的规则，计算如下：

按照断开 R_L 及计算 A 、 B 两点的开路电压 ($V_{A||OC}$) 求 V_{TH} 。图 1-3 a 表示求 V_{TH} 的电路。该电路需要进行分析

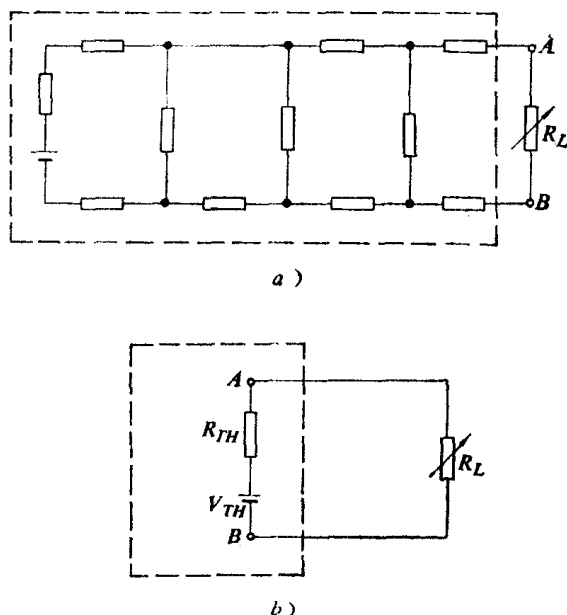


图1-1 复杂电路的简化
a) 有变化负载的复杂的串并联电路 b) 用戴维南等效电路代替不变部分的电路

2

如果

及

如果

又

因此

及

$$R_{AB} = \infty$$

$$I_{AB} = 0$$

$$V_{R_3} = V_{R_4} = 0$$

$$V_{R_3} = 0$$

$$V_A = V_C$$

$$V_{R_4} = 0$$

$$V_B = V_D$$

$$V_{AB} = V_{CD}$$

$$V_{CD} = V_{R_2} + E_2 = V_{R_1} + E_1$$

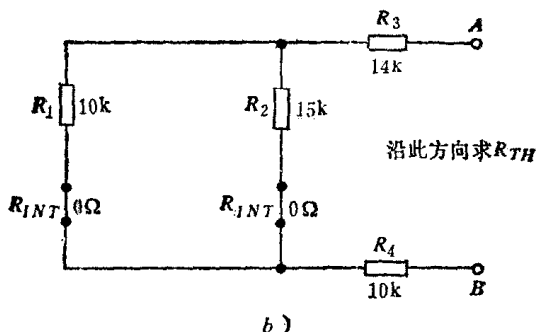
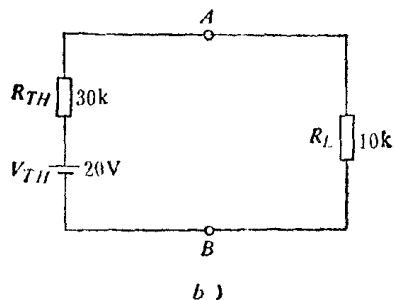
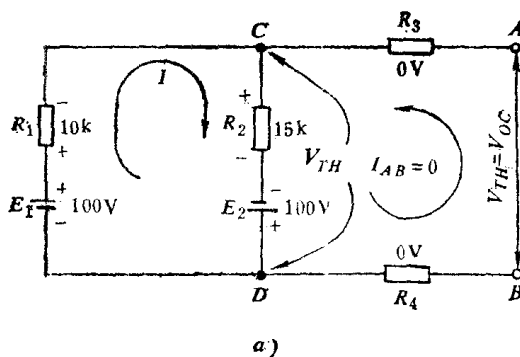
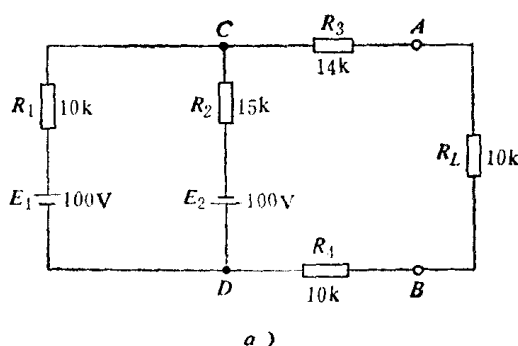


图1-2 多电源电路的化简

a) 多电源电路 b) A、B点左边简化后的戴维南等效电路

图1-3 求 V_{TH} 和 R_{TH} 的电路

a) 求图1-2中 V_{TH} 的分析电路 b) 求图1-2中 R_{TH} 的分析电路

因此, 求 V_{TH} 时需解出 V_{R_1} 或 V_{R_2} , 并加上相应的电源电压。在图1-3a中由于 $R_{AB} = \infty$, 电流 I 只能流过串联电路。因为 E_1 和 E_2 在回路中是串联的, 所以这个回路的总电压是:

$$E_T = E_1 + E_2 = 100 + 100 = 200 \text{ V}$$

及

$$V_{R_1} = E_T \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = 200 \times \frac{10}{25} = 80 \text{ V}$$

因此

$$V_{CD} = V_{R_1} + E_1 = (-80) + (100) = 20 \text{ V}$$

即

$$V_{TH} = 20 \text{ V}$$

当求 C 点对 D 点的电压时, 要在 R_1 及 E_1 支路的 C 点看 V_{R_1} 与 E_1 的极性。

现在来求 R_{TH} , 即用电源的内阻代替两个电源, 并计算由 R_2 处看进去的电阻。图 1-3 a 表示求 R_{TH} 的分析电路。除非另有说明外, 一般假定电压源内阻为零, 及电流源内阻为无穷大。则

$$R_{TH} = R_3 + R_4 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 14 + 10 + \frac{(10)(15)}{25} = 30 \text{ k}\Omega$$

现在介绍计算 V_{TH} 的另一种方法。

$$V_{R_2} = E_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 200 \times \frac{15}{25} = 120 \text{ V}$$

所以

$$V_{CD} = V_{R_2} + E_2 = (120) + (-100) = 20 \text{ V}$$

在任意一种情况下

$$V_{TH} = 20 \text{ V}$$

更复杂网络的戴维南等效电路, 是逐步求出的。首先使断开的电路不比图 1-3 a 的电路更复杂, 因而能够求出其戴维南等效电路。然后一次一次地代替其剩余部分的电路。在每部分被代替之后, 就可计算这新的部分戴维南等效电路, 一直计算到整个电路都包括为止。例 1-1 是计算图 1-4 a 的戴维南等效电路, 说明了上述过程。

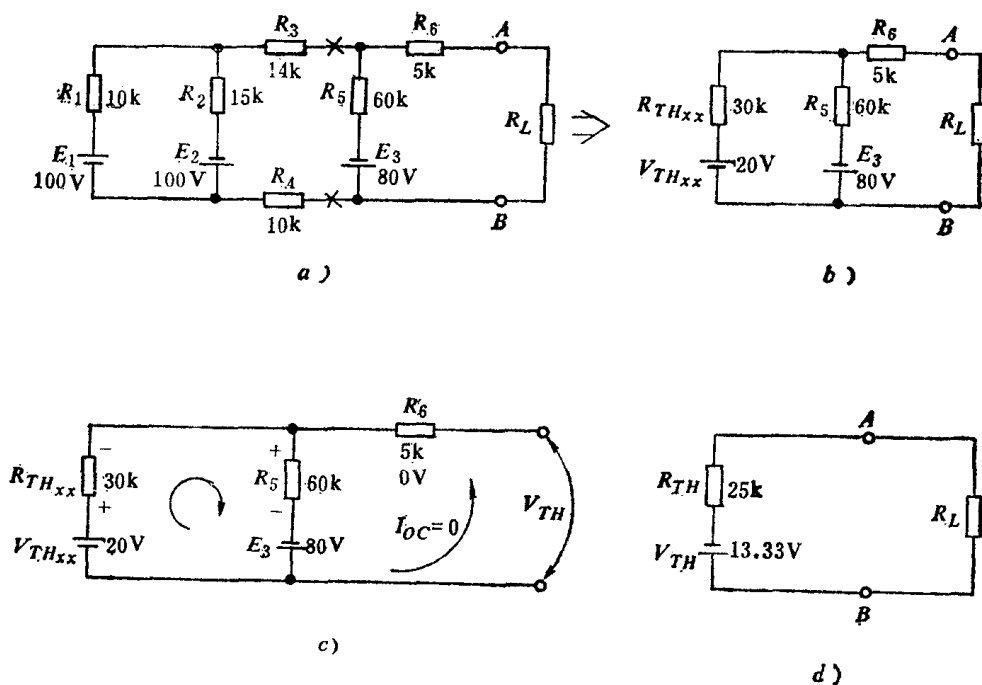


图1-4 复杂网络的简化

a) 包括三个电源较复杂的网络 b) 求出 $\times$ 点左边戴维南等效值后的简化电路 c) 表示图 b 在断开 R_L 的电流状况 d) 由 R_L 方面看出的总的戴维南等效电路

例1-1 求图 1-4 a 电路的戴维南等效值。

解 如果把电路在 $\times$ 点处断开, 在 $\times$ 点左边的电路是恰好与图 1-3 a 一样, 所以下面用前面的同样数值

$$V_{THxx} = 20 \text{ V}$$

及

$$R_{THxx} = 30k\Omega$$

其结果如图 1-4 b。根据断开 R_1 并求解剩余电路 (图 1-4 c), 就可求得总的戴维南等效值 V_{TH} 及 R_{TH} 。

V_{TH} 可这样求:

$$V_{TH} = V_{AB_{OC}} = V_{R_5} + E_3$$

式中

$$V_{R_5} = (V_{THxx} + E_3) \frac{R_5}{R_5 + R_{THxx}} = 100 \times \frac{60}{90} = 66.67 V$$

因此

$$V_{TH} = (+66.67) + (-80) = -13.33 V$$

求解

$$R_{TH} = R_5 + \frac{R_5 R_{THxx}}{R_5 + R_{THxx}} = 5 + \frac{(60)(30)}{90} = 25k\Omega$$

因为某些复杂电路的戴维南等效值总是不能直接找到, 在这样情况下, 可先应用其它定理简化电路, 然后再计算 V_{TH} 和 R_{TH} 。

§ 1-2 诺顿定理

诺顿定理叙述任意二端线性网络, 不论它如何复杂, 能够用一个电流源和一个阻抗相并联来代替。如果负载短路, 诺顿等效电流 I_N 值是同流过负载两端的短路电流值一样。当全部电源用它们的内阻抗代替时, 则诺顿阻抗 Z_N 值, 是同由负载方面看进去的这个阻抗一样。

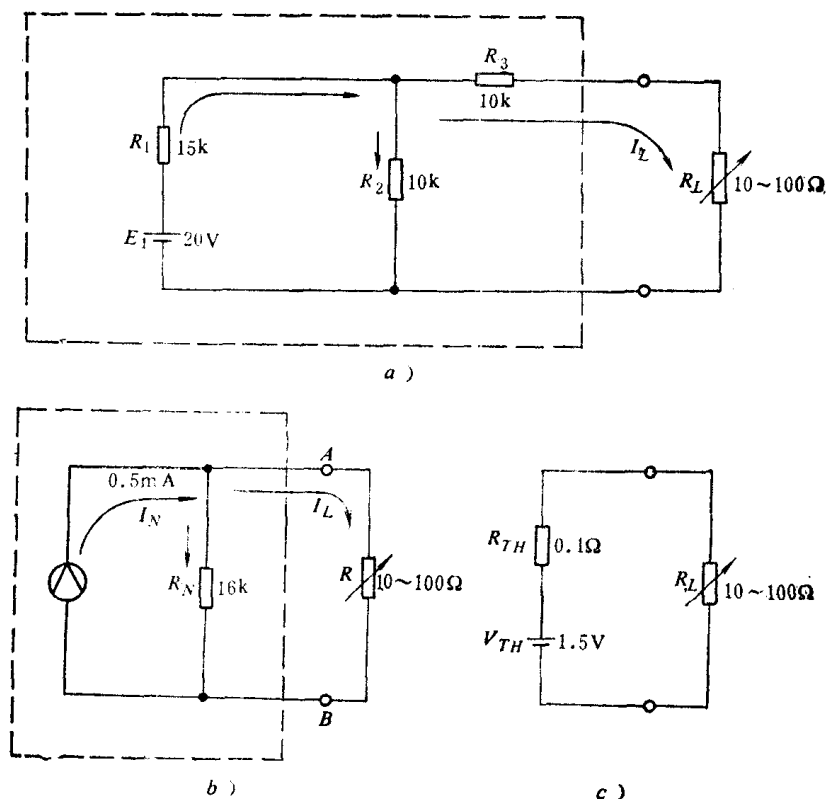


图1-5 二端网络的简化

a) 有可变负载的二端网络 b) 诺顿等效电路 c) $R_{TH} \ll R_L$ 时的戴维南电路

注意, Z_N 与 Z_{TH} 相同。

当负载阻抗 $Z_L \ll Z_N$ 时, 诺顿定理是非常有用的。例如, 在图 1-5 中, R_L 在 10Ω 至 100Ω 之间变化。当 $R_L = 10\Omega$ 时

$$I_L = I_N \frac{R_N}{R_L + R_N} = 0.5 \times \frac{16.000}{16.010} \approx 0.5 \text{ mA}$$

当

$$R_L = 100\Omega$$

$$I_L = 0.5 \times \frac{16.000}{16.100} \approx 0.5 \text{ mA}$$

因此, 无论何时 $R_L \ll R_N$, 则 $I_L \approx I_N$ 。

当 R_L 比 R_N 或 R_{TH} 大得多时, 宜用戴维南定理。这个条件在图 1-5 c 中存在。不管 R_L 如何, 则 $V_{R_L} \approx V_{TH}$ 。

利用这个定理中叙述的规则, 计算图 1-5 b 中的 I_N 及 R_N 值。

求 I_N 时, 首先把 R_L 短路, 并计算从 A 到 B 的短路电流 ($I_{AB_{SC}}$)。图 1-6 a 表示求 I_N 时需要分析的电路。

$$I_N = I_{AB_{SC}} = I_{R_3}$$

如果 $R_{AB} = 0$,

$$R_T = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 15\text{k} + 5\text{k} = 20\text{k}$$

如果在电源 E 处观看 20k 的电阻

$$I_T = \frac{E_T}{R_T} = \frac{20\text{V}}{20\text{k}} = 1\text{mA}$$

利用电流的分配比, 可得

$$\begin{aligned} I_N = I_{R_3} &= \frac{R_2}{R_2 + R_3} (I_T) \\ &= \frac{10\text{k}}{20\text{k}} (1\text{mA}) = 0.5\text{mA} \end{aligned}$$

诺顿电流发生器的箭头, 指向规定电流的方向。规定电流就是诺顿等效电流。电流离开发生器进而按原电路中的方向流过 R_L 。如图 1-5 b 所示, 这个电流发生器的电流方向箭头必须向上。

现在求解 R_N , 用电源的内电阻代替电源, 并计算向 R_L 的左侧看进去的电阻。图 1-6 b 表示求 R_N 时需要分析的电路。假定电源的内电阻为零, 显而易见

$$R_N = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 10\text{k} + 6\text{k} = 16\text{k}$$

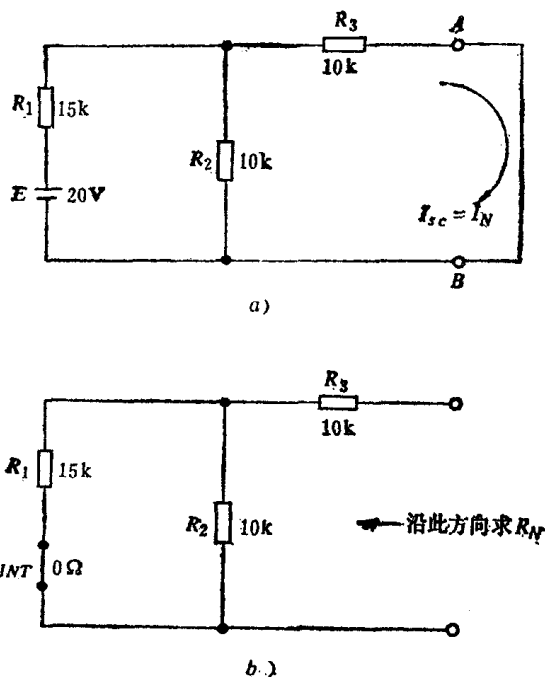


图1-6 求 I_N 和 R_N 的电路

a) 求图1-5中 I_N 的电路 b) 求图1-5中 R_N 的电路

§ 1-3 戴维南定理与诺顿定理之间的转换

把等效电流源改变成等效电压源, 或者反变换, 这是很方便的。例如, 先把图 1-7 a 的

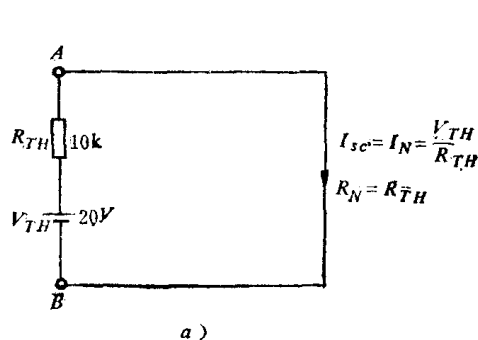
戴维南电路转换成诺顿电路或等效电流源。

当负载两端短路时，

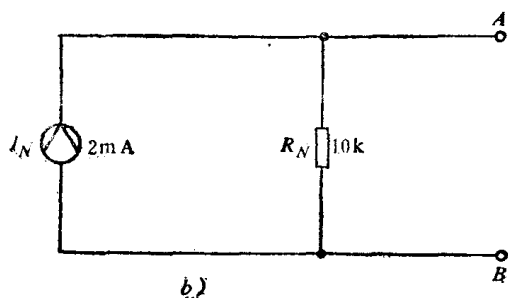
$$I_N = I_{ABSC} = \frac{V_{TH}}{R_{TH}} = \frac{20V}{10k} = 2mA \quad (1-2a)$$

根据用 $R_{INT} = 0$ 代换电源 V_{TH} ，看出

$$R_N = R_{TH} = 10k \quad (1-2b)$$



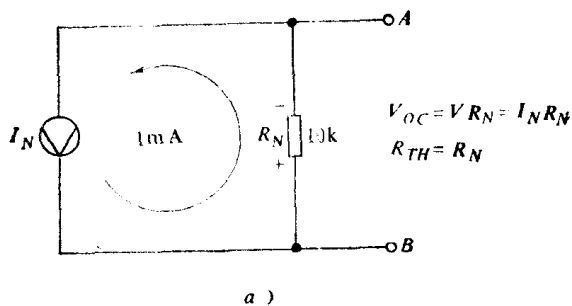
a)



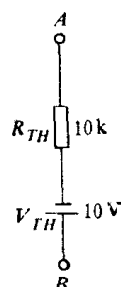
b)

图1-7 戴维南电路变成诺顿电路

a) 戴维南等效电路 b) a图的诺顿等效电路



a)



b)

图1-8 诺顿电路变成戴维南电路

a) 诺顿等效电路 b) a图的戴维南等效电路

现在把图 1-8 a 的诺顿电路转换成戴维南电路或等效电压源。先断开负载两端给出

$$V_{ABSC} = V_{TH} = I_N R_N = (1mA)(10k) = 10V$$

其极性如图中在 R_N 上所表示的那样， V_{TH} 上端极性是负的。最后，用 $R_{INT} = \infty$ 替换电流源 I_N ，

$$R_{TH} = R_N = 10k$$

§ 1-4 米尔曼定理

在脉冲数字电路分析中，米尔曼定理是很有用的工具。这个定理适用于像图 1-9 这样的电路。在这种电路中，只有并联支路，且连通各支路的连线中没有电阻。它不适用于像图 1-4 a 那样的电路，因为那里串接了电阻 R_3 、 R_4 及 R_6 。

参照图 1-9，我们看到这个定理可表示为

$$V_{AB} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} \cdots + \frac{E_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \cdots + \frac{1}{R_n}} \quad (1-3)$$

式中的电压 E_1 、 E_2 、 $E_3 \dots E_n$ 是有极性的。

如果电源在 A 边为正，则电压为正；如果电源在 A 边为负，则电压为负。

1. 米尔曼定理的推导 把诺顿定理应用到图 1-9 中，可以推导出米尔曼方程。图 1-10 a 表示出，当输出端短路时的电流路径。诺顿电流 I_N 是短路电流的和。要注意，电源 E_2 是负的，它引起的电流与其它的相反。这就是说在米尔曼方程中 E_2 是带有负号的。短路电流是

$$I_N = \frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \dots + \frac{E_n}{R_n}$$

和

$$R_N = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

参照图 1-10 b，可见 A 及 B 两端的电压等于 I_N 流过 R_N 所产生的电压。

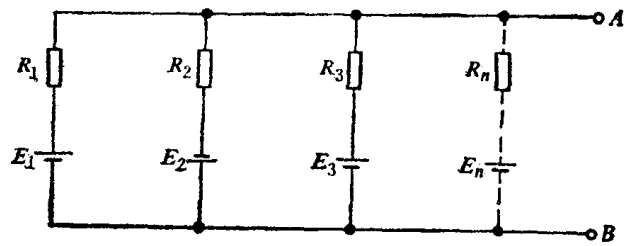


图1-9 可以用米尔曼定理来分析的电路

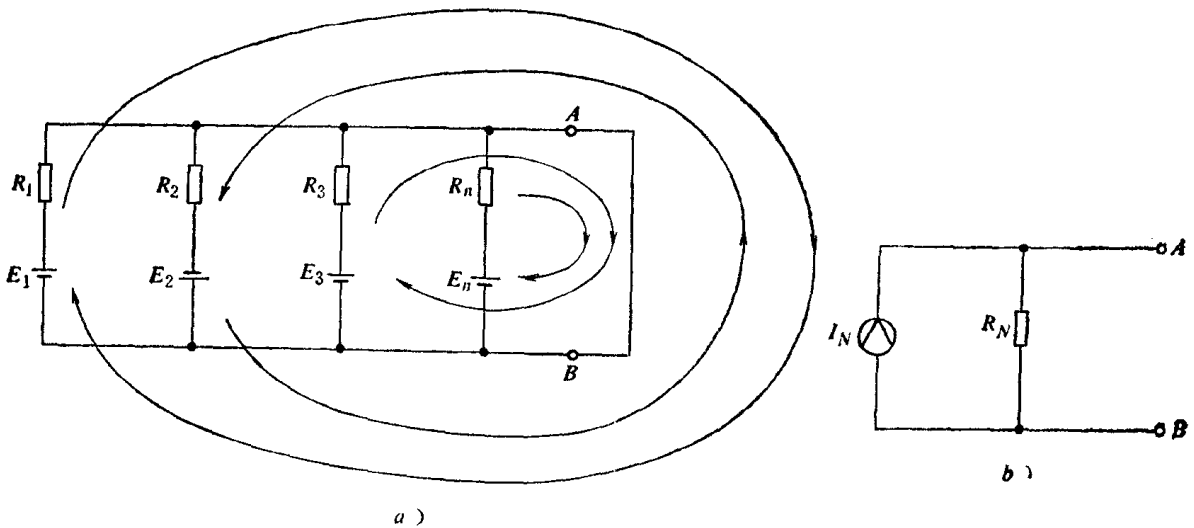


图1-10 图1-9电路输出端 AB 短路

a) 图1-9输出两端短路后的电流路径 b) 诺顿等效电路

$$V_{AB} = I_N R_N$$

$$= \left(\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \dots + \frac{E_n}{R_n} \right) \times \left(\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}} \right)$$

$$= \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \dots + \frac{E_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

在例 1-2 中给出了米尔曼定理的应用。

例1-2 求图 1-11 电路的输出电压

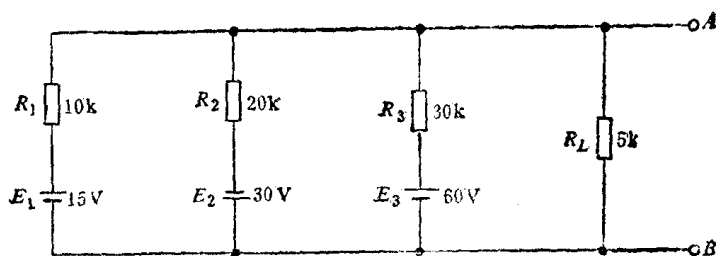


图1-11 米尔曼定理例题的电路

解 利用米尔曼定理求

$$V_{AB} = \frac{-\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \frac{E_L}{R_L}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_L}} = \frac{\frac{15}{10\text{k}} + \frac{-30}{20\text{k}} + \frac{60}{30\text{k}} + \frac{0}{5\text{k}}}{\frac{1}{10\text{k}} + \frac{1}{20\text{k}} + \frac{1}{30\text{k}} + \frac{1}{5\text{k}}} = 5.22\text{V}$$

2. 利用米尔曼定理求戴维南电压 只包括并联支路电路的戴维南电压, 利用米尔曼定理可以一步求得。例如, 如果求图 1-11 的戴维南等效电路, 断开电路 R_L 并按米尔曼定理求

$$V_{TH} = V_{AB \text{ open}} = \frac{-\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} = \frac{\frac{15}{10\text{k}} + \frac{-30}{20\text{k}} + \frac{60}{30\text{k}}}{\frac{1}{10\text{k}} + \frac{1}{20\text{k}} + \frac{1}{30\text{k}}} = 10.9\text{V}$$

R_{TH} 可用一般方法求出。

3. 两个支路的 V_{TH} 的特殊方程 当求比较复杂电路 (例如图 1-4 a) 的戴维南等效值, 要逐步算出 V_{TH} , 如例 1-1 中所表明的那样。由于电路总是要在简单的两支路连接处断开, 这样便于通过求简单的两支路的开路电压, 来计算每部分的戴维南电压。现在利用米尔曼定理推导有两个支路电路的特殊方程, 这个方程给出 V_{TH} 的大小和极性。

参照图 1-12, 显而易见

$$V_{TH} = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{E_1 R_2 + E_2 R_1}{R_1 + R_2} \quad (1-4)$$

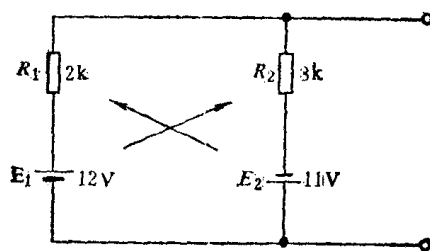


图1-12 推导特殊戴维南电压方程
(1-4) 的电路

这个方程容易记住, 如图 1-12 表明的那样是交叉乘积的和被两个电阻的和来除。其电压可以是正, 负或零。

$$V_{TH} = \frac{\text{交叉乘积的和}}{\text{电阻的和}}$$

例1-3 利用方程 (1-4) 计算图 1-12 的戴维南等效电压。

解

$$V_{TH} = \frac{12 \times 8 + (-11) \times 2}{2 + 8} = 7.4\text{V}$$

很明显, 方程 (1-4) 是提供计算 V_{TH} 大小和极性的简单而又直接的方法。

§ 1-5 RC 电路的瞬态响应

电阻电容电路 (RC 电路) 在脉冲数字电路中应用很多。例如, 它们常常用来改变脉冲的形状, 滤掉不希望的频率, 或引进希望的时间延迟等等。然而, 它们也常常引起不希望的时间延迟, 限制了计算机的速度。在学会分析脉冲数字电路以前, 深刻了解 RC 电路原理是很必要的。

RC 时间常数 电容是阻碍电压变化的一种元件。在图 1-13 中当开关放到位置 A 的瞬间, v_c 保持 0 V 及 $v_R = E - v_c = E$ 。这时在每个等于 RC 的时间间隔内, v_c 按所施加的电压和原来 C 上的电压之差的 63.2% 增加。如图 1-13 曲线所示, v_c 开始在 0 V, 而在第一个 RC 间隔之后达到 E 的 63.2%。然后在第二个 RC 间隔内, 按剩余 36.8% 的 63.2% 增加。用这种方法继续下去, 在理论上 v_c 决不会完全达到 E。然而, 一般在 5RC 周期之后, 可以认为电容器电荷已完全充足。RC 这个时间称为电路的时间常数 τ 。

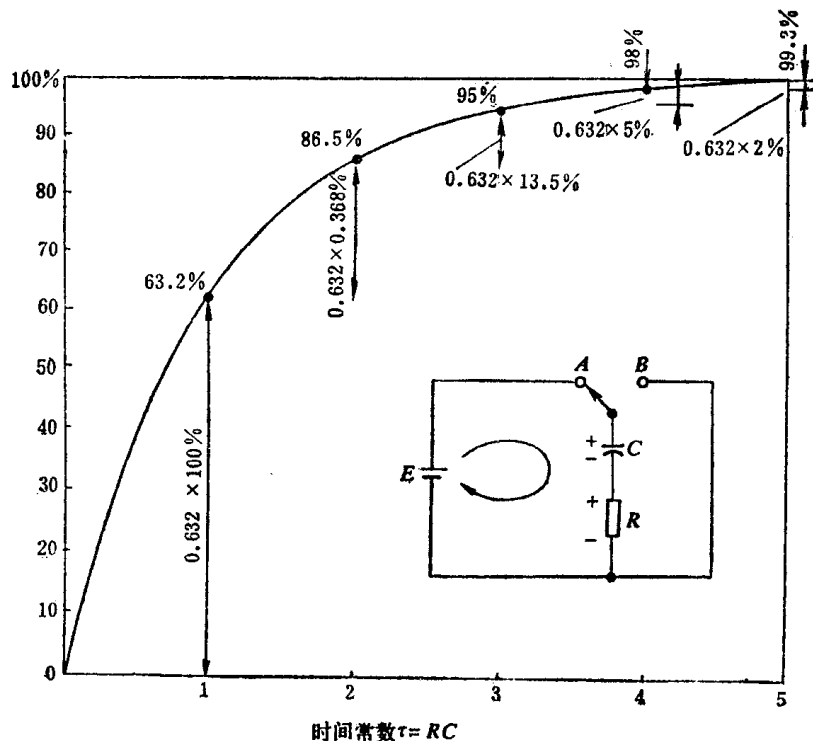


图1-13 电容在RC电路中的充电作用曲线, 时间常数 $\tau = RC$

在图 1-14 中绘出了通用时间常数图表。它表明, 当 v_c 增加时, v_R 减少。当 C 完全充电后, $v_R = 0$ 。

如果当开关掷到位置 B 时, 电容器开始放电。这时, 电容器作为电源, 把已充满的电压加到电阻上去。要注意 v_R 的极性, 现在与充电时所引起的电压极性正好相反。随着 v_c 的减小, v_R 也同时减少。当 C 完全放电后, $v_R = 0$ 。可见, 无论是充电还是放电情况, v_R 都随时间减少, 所以在充电或放电期间, v_R 都可用同样曲线来表示。这条曲线是指数曲线。