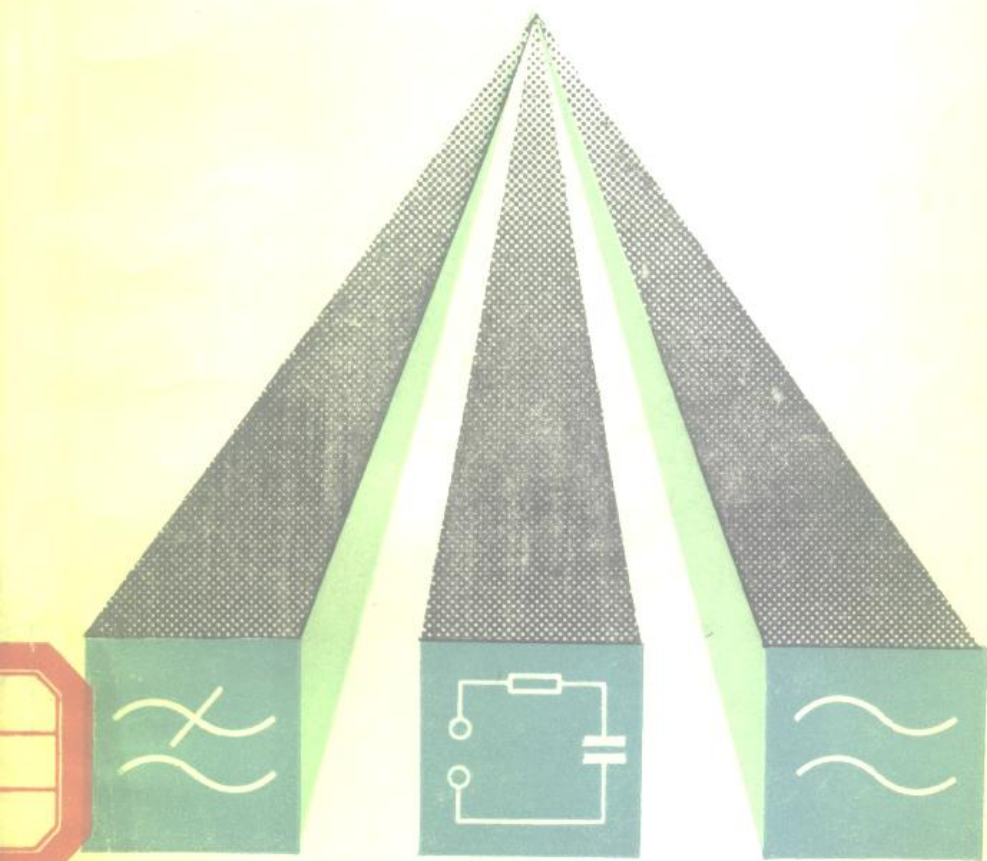


RC电路及其应用

王洪山 编著



中国通信学会通信科普读物研究会主编

RC 电路及其应用

王恒山 编 著

人民邮电出版社

内 容 简 介

本书讲RC电路的工作原理和应用。全书共分七章，包括：电阻和电容的基本电学特性；电容的充放电；RC与单结晶体管振荡器；RC在交流电路中的作用；RC滤波器；RC电路在音频信号处理中的应用；RC正弦波振荡器。书后有附录：常用RC电路计算图表；常用国产继电器的特性数据。本书叙述深入浅出，着重讲清物理概念和电路工作原理，对一些电路给出了简便、实用的设计方法。配合电路原理的讲解，介绍了大量的适用性强的应用实例。

本书可供具有中等文化水平的工人、技术人员及广大无线电爱好者阅读。

RC 电路 及其 应用

王恒山 编著

人民邮电出版社出版

北京东长安街27号

天津新华印刷一厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

开本：787×1092 1/32 1985年5月第一版

印张：8 24/32 页数：140 1985年5月天津第一次印刷

字数：196 千字 插页：2 印数：1-30,000册

统一书号：15045·总2954—无6306

定价：1.30元

前 言

通信科学技术普及读物的编辑出版，以面向生产、面向群众、面向基层为方针。它不仅包括知识性的图书，而且以实用性的图书为重点，同时也介绍一些新技术的读物。

通信科普读物的主要读者对象是从事通信工作的干部、工人以及关心通信事业的广大读者。根据他们的特点和需要，在内容和选材上力求密切联系通信科研、生产、使用、维护和管理上的需要；在叙述上力求通俗易懂、概念清楚、深入浅出、结合实际、生动活泼，以帮助读者学习钻研通信科学技术，为培养一代新人、提高全民族的科学文化水平作贡献。

由于我们缺乏经验，难免存在不足之处，欢迎广大读者提出意见和建议。

中国通信学会科普读物研究会

序

在各种电子元器件层出不穷、五彩缤纷的当今时代，电阻器和电容器不免显得有些平常无奇了。但是，它们却是历史最久、直至今日仍在电子电路中被普遍采用的元件。

早在电学、电子学奠基时期，人们就首先熟悉了它们。1745年，第一只电容器——莱顿瓶的诞生，曾经轰动人世。莱顿瓶第一次向人们显示了电的威力，使人们对电产生了崭新的认识。它象春雷一样把电学惊醒了。

1800年伏打发明了第一只电池以后，人们才有了获得电流的可能。随后，更大更好的电池不断涌现，对电的研究，便由研究静电荷进而转向研究定向移动的电荷——电流。德国科学家欧姆基于对电路导电的研究。于1827年总结出最基本的电学定律——欧姆定律，揭示了电阻导电的最基本特性。进而人们制造了电阻器用于电力和弱电技术。电阻器作为通用的电子元件，迄今已有九十多年的历史。

随着电工、电子技术的不断发展，用电阻器和电容器构成的、满足不同技术要求的各种阻容电路即 RC 电路也不断地应运而生。

现在，不管是工业用电子设备，还是民用电子产品，不管是分立元件组成的电路，还是以集成电路为主构成的电路，都广泛地使用 RC 电路。今日的电阻、电容元件虽不像当年那样声誉鹊起，但却以它们的合作方式，继续在电子电路中与其它元件竞相放奇葩。

将电阻器和电容器接成 RC 串联电路。利用电容电压不能突变，并合理地控制其变化，可以组成微分电路、积分电路，各种定时电路、锯齿波产生电路以及非正弦波振荡电路等等。本书第二章和第三章将讲述这些电路的基本原理和电路的应用。

如果 RC 电路受到正弦信号的激励，在电路进入稳态的情况下，则电阻和电容元件上的电压和其中电流的波形仍然是正弦波。但是，当频率变化时，幅度和相位相应地会随频率而变化，即 RC 电路具有频率选择性。本书第四章将讲述 RC 在交流电路中的作用，第五章至第七章将讲述利用 RC 电路的频率选择性构成的 RC 滤波器、音频信号处理电路及 RC 正弦波振荡器。

为叙述方便起见，先在第一章讲述电阻、电容两种元件的基本电学特性。

本书试图通过 RC 电路在上述各种工作状态下的物理过程的说明，工作原理的分析及日常可以想见的应用举例，对“ RC 电路及其应用”做一个粗线条的描述。以期引起读者的兴趣。从而更系统、更全面地认识 RC 电路，并努力扩大它的应用。

本书在写作过程中，得到黑龙江省通信学会科普负责同志的关怀和支持，谨致谢意。

因作者水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，希望广大读者批评指正。

作者

目 录

序

第一章 电阻和电容的基本电学特性	1
1-1 电阻器	1
1. 电阻对电流形成阻力	1
2. 流经电阻的电流依赖于电压	3
3. 电阻消耗功率	5
4. 理想化的电阻元件	6
5. 电阻器的分类与型号表示法	7
6. 电阻器的主要参数	9
1-2 电容器	12
1. 电容器是储存电荷的仓库	12
2. 电容器储存电荷的能力	14
3. 电容导电的电流依赖于电压的变化率	16
4. 位移电流将中断的传导电流联接起来	18
5. 电容器的“记忆”作用	18
6. 储存了电荷便储存了电能	19
7. 电容器的分类与型号表示法	20
8. 电容器的主要参数	21
9. 常用各种介质电容器的性能及应用	24
第二章 电容的充放电	28
2-1 电容经电阻充电	28
2-2 电容经电阻放电	30
2-3 RC 电路的天然惰性——时间常数	31

2-4 电容两端电压不能突变	35
2-5 电容充放电现象的简单利用	36
1. 用充放电现象检测电容	36
(1) 用万用表检测大容量电容	36
(2) 用万用表检测小容量电容	37
2. RC消火花电路	38
3. 微分电路	41
4. 巧用电容电压的缓慢上升	44
(1) 积分电路	44
(2) 电视机加装高压延时电路	47
(3) 扩音机加装软启动电路	48
(4) 自动关灯电路	49
5. 巧用电容电压的缓慢下降	51
(1) 电视机消亮点电路	51
(2) 电视机自动关机电路	52
第三章 RC与单结晶体管振荡器	54
3-1 从RC激起振荡, 看振荡器的工作原理	54
1. 可贵的负阻特性	54
2. 单结晶体管振荡器是怎样工作的	57
3. 振荡周期的计算	59
3-2 单结晶体管振荡器的应用	60
1. 形形色色的音频信号源	60
(1) 电子催眠器	60
(2) 细丝报警器	62
(3) 电子琴	63
2. 时间长短不一的定时器	66
(1) 时间程序控制器	66

(2) 滴嗒声计时器	68
(3) 超长延时电路	70
3. 触发可控硅用的脉冲信号源	71
第四章 RC在交流电路中的作用	74
4-1 正弦交流电	74
1. 直流电与交流电	74
2. 正弦交流电的有效值	79
4-2 电阻元件在正弦交流电路中的作用	80
1. 电阻中的电流与电压同相	80
2. 如何计算流经电阻的电流	81
3. 如何计算电阻消耗的功率	82
4-3 电容元件在正弦交流电路中的作用	83
1. 正弦律电压引起正弦律电流	84
2. 电流超前电压 90°	87
3. 如何计算电容导电的电流	88
4. 电容不消耗功率	90
4-4 RC串联电路	91
1. 瞬时值等式: $u = u_R + u_C$	91
2. 各电压有效值之间的关系	93
3. 电流的计算	95
4. 电容镇流	96
5. RC电路的移相作用	98
4-5 幅频特性和相频特性	99
第五章 RC滤波器	106
5-1 RC滤波器	107
1. 低通和高通RC滤波器	107
2. 带通RC滤波器	112

3. 带阻RC滤波器	114
(1) 由T型电路组成的带阻RC滤波器	115
(2) 用双T型带阻RC滤波器测试音频放大器的失真	118
5-2 RC有源滤波器	120
1. 低通RC有源滤波器	123
(1) 压控电压源低通滤波器	123
(2) 无限增益多路反馈低通滤波器	133
2. 高通RC有源滤波器	140
(1) 压控电压源高通滤波器	140
(2) 无限增益多路反馈高通滤波器	147
3. 带通RC有源滤波器	154
(1) 压控电压源带通滤波器	155
(2) 无限增益多路反馈带通滤波器	160
(3) 正反馈带通滤波器	163
(4) 双二次带通滤波器	167
4. 带阻RC有源滤波器	169
(1) 压控电压源带阻滤波器	169
(2) 双二次带阻滤波器	170
5. 选用与设计有源滤波器应考虑的问题	178
(1) 各种电路的比较	178
(2) 元件对有源滤波器的影响	178
第六章 RC电路在音频信号处理中的应用	181
6-1 等响度控制电路	184
1. 什么是等响度控制	184
2. 等响度控制电路	186
6-2 高低音控制电路	191
1. RC衰减型高低音控制电路	192

(1) 简单衰减型高音衰减电路	192
(2) 衰减型分别调整式高低音控制电路	193
2. RC 负反馈型高低音控制电路	200
(1) 简单负反馈型低音提升电路	200
(2) 负反馈型分别调整式高低音控制电路	201
6-3 频率均衡电路	208
1. 唱片放音用频率均衡电路	208
2. 录音机中录、放音用频率均衡电路	212
6-4 现场音感控制电路	216
6-5 高、低音切除电路	217
1. 采用有源滤波器的高、低音切除电路	218
2. 采用无源滤波器的高、低音切除电路	220
6-6 分频器	223
1. 功率分频	223
2. 前级分频	228
第七章 RC正弦波振荡器	233
7-1 产生正弦波振荡的条件	234
1. 自激振荡的条件	234
2. 自激振荡的建立和稳定	236
7-2 RC 移相式振荡器	238
7-3 采用 RC 串——并联选频电路的振荡器	243
7-4 采用双 T 选频电路的振荡器	248
附录	252
1. 电阻并联计算图	252
2. 电容串联计算图	253
3. RC 电路的时间常数计算图	254
4. 常用国产继电器的特性数据	256

第一章 电阻和电容的基本电学特性

1-1 电 阻 器

1. 电阻对电流形成阻力

当我们购买电池的时候，售货员要用一个连接着导线的小灯泡接在电池上，试一下电池的好坏，如图1-1所示。当导线、电池、小灯泡相连接后，整个电路中金属导体里的自由电子由于受到电池正极的吸引和负极的排斥，便向一定的方向运动，于是在电路中形成了持续的电流。在该电流的作用下，使灯泡发光。然而，在导体中，自由电子的定向运动并不是畅通无阻的，也会受到一定的阻力。人们把这种阻力叫做电阻。

为什么导体会有电阻呢？这是由于在导体中还有其它质点存在，且在作热运动，当自由电子运动时，就会与它们发生碰撞，阻碍了电子的定向运动。

在图1-1中，小灯泡的灯丝、导线和电池内部都具有电阻。通常导线的电阻很小，可以忽略，于是可将图1-1的实际电路画成图1-2所示的电路模型。图1-1中的电池用电压源 E 与电阻元件 r 表示，小灯泡则用电阻元件 R 表示，连接线为电



图 1-1 用电池使小灯泡发光

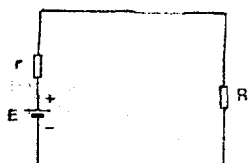


图 1-2 图 1-1 的电路模型

阻为零的理想导线。所谓电压源，它是一个理想电路元件，该元件的电压与通过它的电流无关，总保持为某给定的状况。图 1-2 中的电压源 E ，它的端电压保持恒定，故称为直流电压源，长线段表示电压源的高电位端，短线段表示电压源的低电位端， E （或用 V ）表示端电压的大小。实际的电源，其端电压都随着电流变化而变化，例如当电池接上负载后，其电压就会下降，这是由于电池内部有电阻的缘故。图中 r 就是用来表示电源内阻的。

上面是在金属导体中自由电子形成电流的例子。但是，能形成电流的并不只限于自由电子。例如，电解质溶液中的电流就是由正、负离子形成的。这样的电流也会遇到阻力。人们发现，除某些金属的超导电状态*外，任何电导体都具有一定的电阻。

在电工和电子技术中应用的具有电阻这一性质的元件叫做电阻器。通常也简称为电阻，用符号“ R ”表示。其单位是“欧姆”，简称“欧”，常用符号“ Ω ”表示。

为了用好电阻元件，我们有必要对电阻的导电特性作一些简单介绍。

2. 流经电阻的电流依赖于电压

在金属导体两端不加电压时，自由电子只有无规则的热运动，因而定向运动的速度为零，所以导体中没有定向的电子流

* 导体的电阻随温度下降而减小。某些导体，在温度低到一定值时，其电阻突然消失，这种状态被称为超导电状态。

动。在导体两端加上电压，导体内就建立了电场。自由电子在电场力的作用下，克服导体阻力，形成定向运动，于是，导体中便有电流流动了。两端加上电压，才意味着有了使电流在其中维持流动的原动力。因此，可以说电流是依赖电压而生存的，电阻两端若没有电压，其中也就没有电流了。

那么，电流与电压、电阻的大小成什么关系呢？1827年德国科学家欧姆，经过大量的实验，解答了这个问题，总结出一则最基本的电路定律——欧姆定律。定律指出：通过导体的电流与导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比。

设导体端电压为 V ，电阻为 R ，导体中的电流为 I ，则它们之间的关系是：

$$I = \frac{V}{R} \quad (1.1)$$

式中的 V 的单位是伏特简称伏， R 的单位是欧姆简称欧， I 的单位是安培简称安。

为什么通过导体的电流与导体两端电压成正比呢？我们来看一下金属导体中自由电子形成定向运动的情形。在导体两端加上电压后，导体内便建立了电场，自由电子在电场力作用下，就要在杂乱的高速热运动之上叠加一个定向的加速运动。电子的加速不是无限制的，在加速运动过程中，要与振动的原子晶格或杂质原子相碰撞。由于碰撞，定向运动很快被破坏，进而它们又在电场力作用下，重新得到加速，然后再碰撞，再次失去定向运动，如此不断地进行下去。从而看出，为了在导体中使自由电子不断地产生定向运动，必须在两端保持着电压，以便自由电子在每次失去定向运动后能被重新加速。

导体中的电流跟自由电子平均的定向运动速度成正比*。平均的定向运动速度直接与导体中的电场强度成正比例，而这个电场强度又正比于外加电压。所以，导体中的电流与导体两端的电压便成正比。

上面讨论的电阻具有这样的特性：电阻值与通过它的电流无关。这样的电阻称为线性电阻。线性电阻遵守欧姆定律，可以用式 (1·1) 描述其特性。

如果电阻与通过它的电流有关，即当电流的大小和方向改变时，电阻的数值也随之而变，这样的电阻称为非线性电阻。非线性电阻上的电压与其中的电流是不遵守欧姆定律的。严格说来，所有实际的电阻器，电灯、电炉等的电阻或多或少都具有非线性。但是，对于金属膜电阻、碳膜电阻、线绕电阻等实际元件，在一定范围内，非常接近于线性电阻。因此，本书把实际使用的电阻器均视为线性电阻器。

当电阻器两端加上恒定的电压，其中的电流也必是恒定的，大小由式 (1·1) 确定；当端电压随时间变化时，其中的电流也随时间变化，但在每一个瞬时上，它们的值仍由式 (1·1) 确定。

因而，从更普遍的意义上来看，式 (1·1) 应表示成：

$$i(t) = \frac{1}{R} v(t) \quad (1·2)$$

公式 (1·1) 中的 I 和 V 分别表示恒定的电流和电压，这里的 $i(t)$ 和 $v(t)$ 则分别表示随时间而变化的瞬时电流和瞬时电压。

* 电流的传导速度与自由电子定向运动的速度是两码事。我们一合上开关，电源使外电路的各个部分立即建立电场，电路里的自由电子几乎同时开始做定向运动，整个电路中亦几乎同时形成电流。所以，电流的传导速度远远大于自由电子定向运动的速度。

由此看出电阻导电的基本特性：电阻中的电流依赖于它两端的电压，电流与电压成比例。在某一瞬间的电流值，决定于同一瞬间的电压值，与这一瞬间以前的情况无关。

很明显，电阻两端的电压按什么样的波形变化，其中的电流也跟着按同样的波形变化，只是差一个固定的比例系数 $\frac{1}{R}$ 而已。

3. 电阻消耗功率

电阻两端加上电压，其中的自由电子在电场力的作用下，产生定向运动，从而形成了电流。在这个过程中，电场力推动电子运动而作功。电压就是衡量电场力作功本领的。从数值上看，电阻两端的电压也就是电场力把单位正电荷从电阻的一端移至另一端所作的功。

当流经电阻的电荷量为 q 时，电场力所作的功便为 $W = qV$ 。由于 $q = It$ ，所以

$$W = VIt \quad (1.3)$$

式中， W 、 V 、 I 、 t 的单位分别用焦耳（简称焦）、伏、安、秒。

由于 $V = IR$ ，因此有

$$W = I^2 R t \quad (1.4)$$

W 便是电源提供的能量，这些能量消耗在电阻上，转化为热能。

这个过程是怎样发生的呢？前面已经讲到，自由电子由于电场力的作用而作加速运动，在行进过程中不断与原子发生碰撞。这种碰撞的结果便使金属原子的热运动加剧，导体内能增加，温度升高。由此看出，在电流流经电阻的同时发生着电能

向热能的转化。在图1-1中，电流流过小灯泡时，电能便转化为热能（由于单位时间内生成的热能足够多，使灯丝炽热，小灯泡发光，于是热能又部分地转化为光能）。由于导线有电阻，因此，电流流经导线时也有热能生成，只不过由于导线的电阻很小，产生的这部分热能也很小，通常可以忽略。

电流流经电阻，使电能转化为热能，这是一个不可逆的能量转换过程，其所以不可逆，是因为不能直接经电阻将热能转化为电能。因此，电流流过电阻，便发生电能的不可逆的消耗。从而可知，任何一个元器件，只要含有电阻成分，在电路中便有功率损耗。电阻是损耗的化身。所以，电阻元件是耗能元件。

由式（1·4）不难看出，在单位时间内，电阻消耗的电能即功率为

$$P = I^2 R \quad (1.5)$$

式中 I 和 R 的单位分别用安培和欧姆， P 的单位为瓦特，简称“瓦”。上式表示电阻中的功率损耗与电流的平方成正比。比例系数为 R ，它反映了消耗功率的能力。到这里我们可以建立一个完整的电阻的概念：电阻是导电材料在一定程度上阻碍电流流通，并将电流的能量转换成热能的一种物理性能。

电阻消耗的功率也可以表示为

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1.6)$$

式中 V 是电阻两端的电压。

4. 理想化的电阻元件

人们设计和制造了各种形式的电阻器，目的是为了利用电阻特性。遗憾的是，我们所制造出来的电阻器不可能做到只具有电阻的特性。在频率较高的交流电路中，实际的电阻器还具