

WUXIANDIANGONGXUE

无线电工学

何铁刚 刘意松 编

中国铁道出版社

无线电工学

—— 基础理论 ——

中国工业出版社

无 线 电 工 学

何铁刚 刘意松 编

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 6 年 • 北 京

内 容 简 介

本书系统地叙述了有关晶体管电路、接收机部分电路和电子管电路的基本工作原理，以及各种单元电路的性能特点和定性分析。本书的突出特点是将基本原理紧密地与带有一定典型性和应用广泛的晶体管收音机、晶体管黑白电视机、电子管收音机以及扩音机相结合。本书基础电路知识和实用产品电路并重；晶体管和电子管电路原理兼顾，内容简明扼要，深入浅出，通俗易懂，读者面广，实用性强。

本书可供具有中等文化程度的广大无线电爱好者阅读，也可作为有关专业院校学生的课外读物。

无 线 电 工 学

何铁刚 刘意松 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 殷小燕

封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张：15.5 插页：1 字数：410 千

1986年11月 第1版 第1次印刷

印数：0001—9,000册 定价：3.20 元

前 言

目前电子技术已逐渐渗透到国民经济的各个领域，普及电子科学知识对促进四化建设有重要作用。许多读者特别是青年迫切需要自学电子技术，为了满足广大无线电爱好者学习无线电基本原理的需要，我们编写了这本书。

现有的阐述电子线路原理的书很多，针对初学者的学习特点和实际需要，本书有以下三个方面的特色：第一，本书考虑到初学电子技术的读者对于繁深的数学推导和分析不太适应，所以在前七章阐述晶体管器件及放大、振荡、变频、检波等接收机常用的基本电路时，尽量着重从物理概念上讲述电路工作原理和性能分析，使具有中等以上文化程度的读者阅读后会感到通俗易懂，理解不太费劲。第二，是将所讲的基本电路紧密与实际应用的电子设备结合起来，所举的电子产品在国内具有一定的典型性和普遍性，例如晶体管收音机是以上海无线电三厂生产的春雷703型七管一波段收音机作为代表产品，电子管收音机是以上海生产的红灯711型六灯交流收音机为代表，扩音机是以上海无线电十八厂生产的飞跃JK50-1型晶体管扩音机为代表；黑白电视机是以国内统一设计的31cm(12英寸)黑白电视机电路为代表等。结合具体的普遍应用的产品不仅说明其工作原理，而且进一步介绍了如何对整机电路的统调，这样可使读者能够作到理论与实际结合，深入理解电路的工作原理，从而对无线电整机电路和性能得到一个比较完整的概念。第三，是本书九、十、十一这三章扼要叙述了电子管、电子管电路和电子管收音机的基础知识和简要分析。因为目前在一些电子仪器和高质量的收音机中尚采用电子管电路。

目前有关晶体管电路和电子管电路基础知识并与实际产品紧密结合的书尚不多见，为了给广大读者提供一本学习无线电技术的基础读物，我们作了一次尝试，本书第一至十二章由何铁刚执笔，第十三章由刘意松执笔。由于水平有限，书中缺点错误希望得到广大读者的批评指正。

本书在编写过程中，曾参阅了上海无线电三厂、上海无线电十八厂等有关典型产品生产厂家的书刊及技术资料，由于篇幅所限，未能一一列出，在此一并表示感谢。

编 者

1985年6月于天津大学

目 录

第一章 电路基本元件	1
第一节 电阻器	1
第二节 电容器	7
第三节 电感器	16
第四节 变压器	22
第二章 半导体器件	29
第一节 半导体的基础知识	29
第二节 晶体二极管	37
第三节 晶体三极管	42
第三章 低频放大器	57
第一节 基本放大器电路分析方法	57
第二节 放大器的偏置电路和工作点的稳定措施	73
第三节 多级放大器	78
第四节 功率放大器	90
第五节 放大器中的负反馈	101
第四章 中频放大器	106
第一节 LC 并联谐振回路	107
第二节 中频放大器	114
第三节 陶瓷滤波器在中频放大器中的应用	122
第五章 正弦波振荡器	126
第一节 振荡器的基本工作原理	126
第二节 LC 振荡器	136
第三节 石英晶体振荡器	150
第四节 RC 振荡器	155
第六章 检波器	163
第一节 调制的基本原理	163
第二节 调幅信号的解调——检波	174
第三节 自动增益控制	185
第四节 调频信号的解调——鉴频	190
第七章 变频器	197

第一节	变频器的的工作原理	197
第二节	晶体管变频器	201
第三节	场效应管变频器	206
第四节	变频器的干扰	211
第八章	晶体管收音机	219
第一节	晶体管收音机的类型和基本性能指标	219
第二节	超外差式收音机整机电路分析	227
第三节	晶体管收音机的调整	252
第四节	晶体管收音机的附加电路	262
第五节	调频收音机的工作原理	271
第九章	电子管	278
第一节	真空二极管	278
第二节	真空三极管	288
第三节	真空五极管和束射四极管	297
第十章	电子管电路基础	306
第一节	电子管低频电压放大器	306
第二节	电子管低频功率放大器	316
第三节	电子管放大器中的负反馈	324
第四节	电子管振荡器	330
第十一章	电子管收音机	341
第一节	电子管收音机的组成	341
第二节	电子管超外差式收音机基本原理	343
第三节	电子管收音机的附加电路	364
第四节	电子管收音机的整机电路分析	368
第十二章	扩音设备	374
第一节	扩音设备常用电声器件	374
第二节	电子管扩音机电路分析	384
第三节	晶体管扩音机电路分析	400
第四节	扩音机与扬声器的配接	414
第十三章	黑白电视机	424
第一节	广播电视基本知识	424
第二节	电视接收机的电路分析	435
第三节	电视接收机的选用与维护	480

第一章 电路基本元件

电子设备是由许多元件用导线按照一定的电路连接起来的，能够完成所需功能。它包括电阻器、电容器、电感器、变压器、晶体管和电子管等。本章介绍前四种基本元件，晶体管见第二章，电子管见第九章。

第一节 电 阻 器

电阻器是一种具有一定数值的电阻元件。在电子线路中，电阻具有降低电压（简称降压）、分去电流（简称分流）、限制电流（简称限流）和产生电路中需要的一定数值的电压（产生压降）等多种作用。

电阻器按照在使用过程中阻值是否变化可分成三类：固定电阻器（简称电阻器或电阻）、可变电阻器和电位器。

电子设备中应用的电阻器种类很多，常用的电阻器按照导电体的结构特征可以分成三类：实心电阻器、薄膜电阻器和线绕电阻器。

实心电阻器是体积导电，它是用高电阻系数的材料、粘接剂和填料混合后压制而成，如合成碳质电阻器。

薄膜电阻器是表面导电，它是将高电阻系数的材料用一定方法使之在绝缘体上淀积一层薄膜而制成，如合成碳膜、热分解碳膜、金属膜、金属氧化膜等电阻器。

线绕电阻器是将电阻金属丝缠绕在绝缘基体上制成的。通过电阻丝导电。

一、电阻器的基本参数

1. 电阻值及精度

在电阻器的外表面，一般都标出电阻值的大小，这个电阻值叫做标称阻值。

目前国产的电阻器都是按标准系列阻值生产的。表 1—1 列出了标准系列产品的标称阻值。各档阻值的电阻，其阻值为标称值的 1 倍、10 倍、100 倍、1000 倍、10000 倍、10 万倍和 100 万倍。例如 330Ω 是 3.3Ω 的 100 倍， $5.1k\Omega$ 是 5.1Ω 的 1000 倍， $5.6M\Omega$ 是 5.6Ω 的 100 万倍。

表 1—1 中的误差栏是指产品的实际阻值偏离标称值的程度，“+”表示阻值偏大；“-”表示阻值偏小。表中所列百分数则表示偏离的程度。例如 II 级电阻器的误差是 $\pm 10\%$ ，它表示实际阻值可以比标称值大 10%，也可以比标称值小 10%。

标准系列产品的标称阻值

表 1—1

系 列	误 差	电 阻 的 标 称 值(Ω)
E24	I 级 $\pm 5\%$	1.0 1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.2 2.4 2.7 3.0
		3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
E12	II 级 $\pm 10\%$	1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
E 6	III 级 $\pm 20\%$	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8

2. 额定功率

电流通过电阻器时，电阻器因消耗功率而发热，如果发热的功率大于它所能承受的功率，电阻器就会烧坏。在正常气候条件下，电阻器能长时间在连续负荷下而不损坏或不显著改变其性能时所允许消耗的最大功率，称为额定功率。

额定功率是在正常的温度、湿度、气压等条件下确定的，如果电阻器是在高温或低气压的环境条件下使用时，由于散热困难，必须降低功率使用。

在使用电阻器时，为了安全，额定功率不能过小，通常大于

实际消耗功率的一倍左右；同样额定功率也不能过大，过大时电阻器的体积大、成本高。

电阻器在脉冲状态下工作时，只要脉冲平均功率不大于额定功率，则允许脉冲功率超过额定功率使用。但当脉冲很窄，即脉冲宽度远小于重复周期时，应注意电阻器因局部过热或电击穿而损坏。

电阻器额定功率的标称值有 $1/20\text{W}$ 、 $1/16\text{W}$ 、 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 3W 、 5W 、 10W 、 20W 或更大。在晶体管收音机里，大多数电阻消耗的功率都很小，因此，选用 $1/8\text{W}$ 已经足够，甚至选用 $1/16$ 或 $1/20\text{W}$ 也可以。

3. 最大工作电压

最大工作电压是指电阻器长时间工作不发生过热或电击穿损坏时的电压。

最大工作电压不能只从电阻器的发热状态来确定，还必须考虑到电阻器本身的抗电强度以及工作环境的气压等因素，通常经过实验确定。

例如， $1\text{M}\Omega$ 、 2W 的合成碳电阻器，若仅从发热条件考虑，可施加 1400V 的电压才达到额定功率 2W ；但技术条件规定的最大工作电压却是 500V ，就是受到电阻器抗电强度的限制。

当电阻器在脉冲状态下工作时，脉冲电压的幅值不应超过最大工作电压。

4. 高频特性

当电阻器在高频下使用时，必须考虑其固有电感和固有电容的影响。高频下使用的电阻可以等效成为一个 R 、 L 、 C 回路，等效电路如图1—1所示。

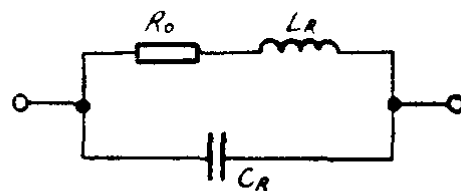


图1—1 电阻器的高频等效电路
 R_0 ——直流电阻； L_R ——分布电感； C_R ——分布电容。

非线绕电阻器的 $L_R=0.01\sim 0.05\mu\text{H}$ ， $C_R=0.1\sim 5\text{pF}$ 。线绕电阻器的 L_R 达几十微亨， C_R 达十几皮法，即使是无感绕法的线绕电阻器 L_R 仍有零点几微亨。

几种常用电阻器的频率特性如图 1—2 所示, 图中 R_f 为频率 f 时的等效电阻。

5. 噪声电动势

电阻器中的噪声有两种: 热噪声 (由分子热骚动所引起) 和电流噪声 (电流通过电阻器时, 由于电阻值起伏变化所引起)。热噪声的频谱分布是均匀的, 热噪声与导电材料无关, 因而它存在于一切电阻器中。电流噪声的频谱分布是不均匀的, 噪声能量主要分布在音频频带内, 电流噪声与导电材料有关。

电阻器的噪声电动势是热噪声电动势和电流噪声电动势之和, 用噪声比来度量。噪声比表示外加 1V 电压所引起的噪声电动势的大小。噪声比的单位符号是 $\mu\text{V}/\text{V}$ 。

6. 稳定性

稳定性是用来衡量电阻器在外界条件温度、湿度、电压、时间、负荷性质等作用下电阻值变化的程度, 用相应的系数来表示。

(1) 温度系数 α_t

它表示温度每变化 1°C , 电阻器阻值的相应变化量。

$$\alpha_t = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} / ^\circ\text{C}$$

式中 R_1 、 R_2 分别为温度 t_1 和 t_2 时的电阻值。

一般说来, 温度系数愈小, 表明阻值愈稳定, 因此希望电阻的温度系数愈小愈好。

(2) 电压系数 α_v

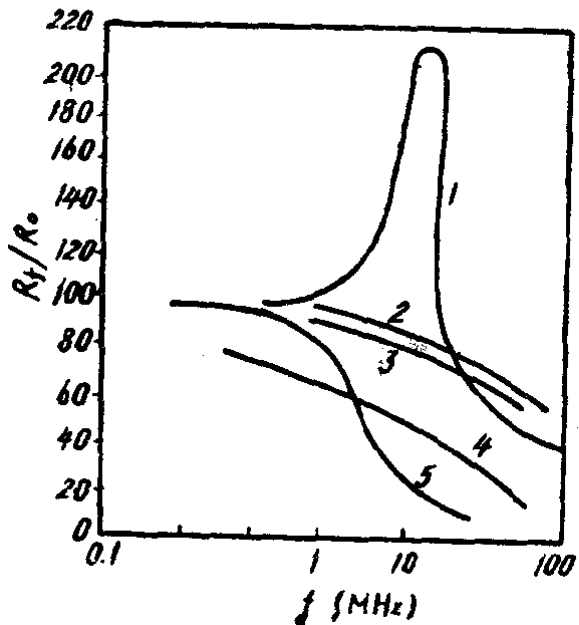


图 1—2 电阻器的频率特性
1 —— 线绕电阻器 ($10\text{k}\Omega$); 2 —— 碳膜电阻器 ($100\text{k}\Omega$); 3 —— 金属膜电阻器 ($100\text{k}\Omega$); 4 —— 实心电阻器 ($100\text{k}\Omega$); 5 —— 线绕电阻器 ($50\text{k}\Omega$)。

它表示电压每变化1V，电阻器阻值的相对变化量。

$$\alpha_v = \frac{R_2 - R_1}{R_1(U_2 - U_1)} \times 100\% / V$$

式中 R_1 、 R_2 分别为电压 U_1 和 U_2 时的电阻值。

二、电阻器的使用

1. 电阻器的选择

选择电阻器不仅要考虑电路的要求，还要掌握价格与供应情况。在民用和一般用途的电子设备中最好选择通用型电阻器，因为它们货源充足、造价低廉；专用和特殊用途的设备应选择专用型电阻器，以保证电路能够稳定可靠地工作。

电阻值应选择接近计算值的某个标称值。若对电阻值有高精度要求，则应选用精密电阻器。在某些场合下也可以从Ⅰ、Ⅱ和Ⅲ级电阻器中进行挑选或用串并联的方法得出，以便满足精度的要求。

线绕电阻器，即使是无感绕法的，其分布电感也比非线绕电阻器大得多，因此不适用于高频电路。

为了提高电阻器的温度稳定性，除选用温度系数小的电阻器外，还可与电阻器温度特性相反的热敏电阻进行补偿。

在潮湿条件下工作时，应选用密封（或涂覆）的电阻器。耐湿性能的优劣依据密封（或涂覆）的材料不同而异。

2. 电阻器的安装

焊接小功率电阻器时，要控制焊接时间，并选用功率合适的烙铁，以免过热造成阻值变化，甚至使端帽与基体脱开而损坏。

大功率电阻器重量大，不能用引线固定。最好利用螺栓通过电阻器的管状基体，或利用线夹包住电阻器直接安装在底座上，以增加传导散热。

电阻器安装时应使其纵轴沿水平方向排列，不要沿垂直方向排列，以增加对流散热。大功率电阻器直接安装在底板上，若绝缘强度不够，则可在管状基体的端头上加云母或石棉垫圈。

三、电 位 器

电位器是一种连续可调的电子元件，它靠电刷在电阻体上滑动，取得与电刷位移成一定关系的输出电压。当电位器作分压器用时，它是四端元件，如图 1—3 (a) 所示。图中 U_i 为输入电压， U_o 为输出电压，电刷把 R_o 分成 R_x 和 $R_o - R_x$ 两部分，输出电压是从 R_x 上取得的分压。1、2、3 分别为电位器三个引出端。

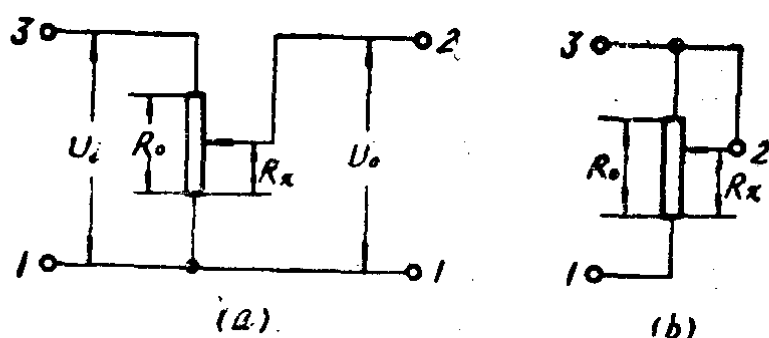


图 1—3 电位器的使用

(a) 当作分压器

(b) 当作变阻器

电位器用于调节电流时，它是个二端元件，如图 1—3 (b) 所示。图中 2、3 端短接成一个引出端，变阻器具有一可变的阻值 R_x 。

一般的电位器都属于接触式电位器，按其电阻体的材料可分为：合金型电位器、合成型电位器和薄膜型电位器三大类。

电位器按调节机构的运动方式可分为旋转式电位器和直滑式电位器两大类。用转轴使电刷作旋转运动的电位器称为旋转式电位器；用滑柄使电刷作直线运动的电位器称为直滑式电位器。旋转式电位器的旋转角度小于 360° 的称单圈电位器，大于 360° 的称多圈电位器。多圈电位器的总角度通常为 $(2 \sim 40) \times 360^\circ$ 。

电位器按输出特性的函数关系可分为线性电位器和非线性电位器两大类。输出比 U_o/U_i 与行程比 θ/Θ (θ 为转角， Θ 为总转角) 成直线关系的电位器称为线性电位器 (X 式)，不成直线关系的称非线性电位器。非线性电位器中有指数式电位器 (Z 式)、

对数式电位器（ D 式）及其他函数式电位器。图 1—4 给出 X 、 Z 、 D 式三种电位器的输出特性曲线。

因为各种电位器所用的电阻材料和相应的电阻器一样，所以其主要性能也和相应的电阻器类似。下面简略介绍电位器的一些特性。

标志在电位器上的阻值称为标称阻值。电位器标称阻值系列采用 $E12$ 和 $E6$ 系列。允许偏差对线绕电位器有 $\pm 10\%$ 、 $\pm 5\%$ 、 $\pm 2\%$ 以及 $\pm 1\%$ ；允许偏差对非线绕电位器有 $\pm 20\%$ 、 $\pm 10\%$ 以及 $\pm 5\%$ 。电位器的标称阻值都是指最大阻值。最小阻值又称零位电阻，由于触点存在有接触电阻，因此最小电阻值不可能为零。

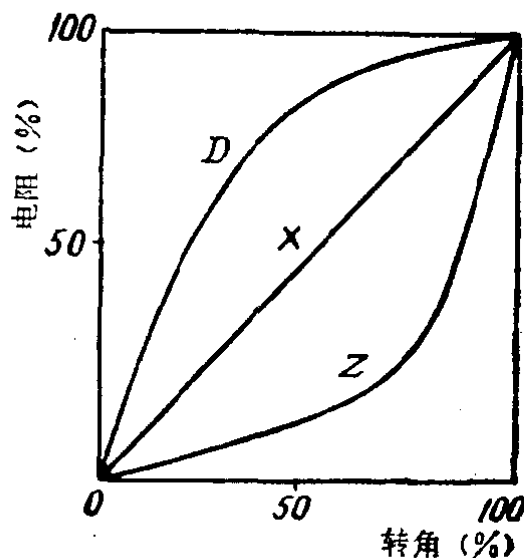


图 1—4 X 、 Z 、 D 式电位器的输出特性曲线

电位器的额定功率大小决定于电位器的结构、尺寸和材料。电位器的额定功率系列为：0.025W、0.05W、0.1W、0.25W、0.5W、1W、1.6W、2W、3W、5W、10W、16W、25W、40W、63W、100W 等。

使用电位器时应注意，当电位器的电阻值最小时，电流达到最大值。电位器的额定功率应选择得能承受这一电流。降低功率，可以提高电位器的稳定性、可靠性，延长电位器的使用寿命。在电位器的转动机构中不得涂油，以免电位器内部聚集灰尘和导电微粒。触头在电阻体上移动，如果接触不良或导电层上有灰尘和导电微粒，则会成为噪声的新来源。

第二节 电 容 器

电容器是一种具有充电和放电性能的元件，它具有隔直流和

分离各种频率的作用，在无线电设备中主要用于隔直流、耦合、旁路、滤波等。

电容器还具有储存电能的作用，它可将电能逐渐积累起来，然后在短时间内向外电路释放出去，从而获得大功率的瞬时脉冲。

电容器按照其电容量是否可变，分成固定电容器和可变电容器两大类。

电容器按照其介质材料的不同又可分为空气电容器、真空电容器、充气电容器、陶瓷电容器、云母电容器、玻璃电容器、玻璃釉电容器、纸介电容器、有机薄膜电容器、铝电解电容器、钽电解电容器等等。

一、电容器的基本性能

1. 电容量及精度

电容器充、放电能力的大小，用电容量的数值来表示。这个数值标印在每一个电容器上，叫做标称容量。标称容量的单位是“法拉”，简称“法”，用符号F表示。法是一个非常大的单位，实际上，常取法的一百万分之一来做单位，叫做微法(μF)；或取它的一万亿分之一来做单位叫做皮法(pF)。

电容器的实际容量与标称容量的偏差反映了电容器的精度。常见的容量误差等级有三种： $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 。在晶体管收音机内，实际容量与标称容量的误差为 $\pm 10\%$ 和 $\pm 20\%$ 的电容器均可使用，在精确度要求较高的调谐回路中，可在电容器两端并联微调电容器来补偿容量的误差。

2. 耐压强度

耐压强度通常用以下几个量来表示。

(1) 额定直流工作电压 $U_{\text{额}}$

$U_{\text{额}}$ 是指电容器在它的寿命时间内，可靠持续地工作所能承受的直流电压，这个电压又称电容器的工作电压，它标记在电容器上。如果加在电容器两端的电压若超过工作电压的50%，电极

间的绝缘介质就有被击穿的危险。

(2) 交流工作电压 u

电容器在交流电压下工作时, 介质损耗增大, 同时也容易发生表面击穿。为保证电容器在交流电压下长期可靠地工作, 规定了交流工作电压的大小, 并且规定交流电压的最大值 u_m 与直流工作电压 U 之和不应超过额定直流工作电压 U_{cd} , 即 $u_m + U \leq U_{cd}$ 。

3. 绝缘电阻

电容器中的两块金属片之间, 介质的电阻值叫电容器的绝缘电阻 (R_{iv}), 一般都很大, 大约在数百兆欧以上。

小容量 (小于 $0.1\mu\text{F}$) 电容器的绝缘性能用绝缘电阻表示, 其大小随温度的升高而减小, 随电压的增大而下降。

大容量 (大于 $0.1\mu\text{F}$) 电容器, 用时间常数 τ 来表示其绝缘性能。

$$\tau = R_{iv} \cdot C = 8.84 \times 10^{-14} \rho_v \cdot \varepsilon \quad (\text{s})$$

式中 ρ_v ——介质的体积比电阻 (单位: 欧·米, 符号: $\Omega \cdot \text{m}$);

ε ——介质的介电常数 (单位: 法拉每米, 符号: F/m)。

τ 只与介质的质量有关而与电容器的形状、尺寸无关。若要求容量大、绝缘电阻高, 则应选用 τ 大的电容器。

绝大多数电容器, 由于绝缘电阻很大, 因此不考虑电容器的漏电流和内阻发热的问题。电解电容器的漏电流不能太大, 因此规定漏电流不得大于一定的计算值, 以免造成热破坏。

4. 电容器的损耗

电容器的损耗一般是由介质损耗和金属损耗所引起。介质损耗包括极化损耗和漏导损耗。金属损耗包括极片与引线的电阻以及极片与引线之间的接触电阻带来的损耗。



图 1—5 只考虑金属电阻的电容器等效电路

金属电阻 R_{js} 与电容 C 串联, 其等效电路如图 1—5 所示。由金属电阻引起的金属损耗为;