

电 容 器 手 册

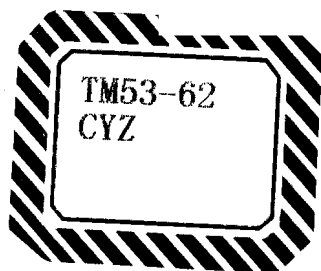
陈永真 李 锦 编著



科学出版社
www.sciencep.com

电容器手册

陈永真 李 锦 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面论述了各种电容器的基本原理和特性及其影响特性的客观因素、电容器的失效分析及防范方法、电容器的寿命与应用条件的关系及预测、各种电容器在不同领域中的应用及注意事项、应用电容器时对电容器的选择及其注意事项、各类电容器的典型技术数据等。

本书共分9章。全书内容包括:电容器基础知识、薄膜电容器、陶瓷介质电容器、云母电容器与真空电容器、电解电容器、超级电容器与电化学电容器、抑制电源电磁干扰电容器、抑制电磁干扰电容器及其应用、电力电子电容器等。

本书可供电气与电子工程师、科研人员及电子爱好者阅读,也可作为高等学校电气、电子、自动化等相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电容器手册/陈永真,李锦编著. --北京:科学出版社,2008

ISBN 978-7-03-022607-5

I. 电… II. ①陈…②李… III. 电容器-技术手册 IV. TM53-62
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 111825 号

责任编辑:岳亚东 杨 凯/责任制作:魏 谨

责任印制:赵德静/封面设计:李 力

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本:A5(890×1240)

2008 年 9 月第一次印刷 印张:26 3/4

印数:1--4 000 字数:824 000

定 价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

电容器是三大无源元件(电阻、电容器、电感器)之一,在电子电器装置中几乎无处不在。电容器看起来非常简单,就是由两个极板构成,但是,在实际应用中有很多问题都是出现在电容器的选择与安装上。如果对电容器没有比较深刻的理解,选择不当,所设计制造的电子线路、电器装置就会出现这样或那样的问题或故障。因此,需要根据应用的要求来选择电容器。

那么,都需要了解电容器的什么特性呢?例如:用电容器作振荡器或定时电路,并要求在比较宽的温度范围内具有比较高的精度,需要选择零温度系数或低温度系数的电容器,如复合膜电容器或低温度系数的Ⅰ类陶瓷介质电容器(Ⅱ类陶瓷介质电容器尽管可以获得很大的电容量,但其温度系数比较大);在电力电子电路中的缓冲电容和谐振电容,不仅需要电容器具有相应的耐压,而且还要能承受较高的有效值电流和 dv/dt ;电解电容器在应用中则需要注意在隔直应用时需要低漏电流,在大脉动电流滤波时需要具有低 ESR(等效串联电阻),而且还要注意流过的纹波电流是否超过电解电容器的额定电流;在高频、大电流滤波时则不仅需要低 ESR,还要具有低的寄生电感,以获得良好的阻抗频率特性以及纹波电流是否超过额定电流;在脉冲焊接的应用中,电解电容器还要能承受短时大电流脉冲的反复冲击;不仅如此,电解电容器还要根据应用环境的温度范围和应用寿命要求选择不同温度范围和不同寿命时间的电解电容器。再如,叠片陶瓷电容器介质中的Ⅱ类稳定级和Ⅲ类能用级的介质材料,电容量性能基本差不多,但是在温度系数方面,后者不如前者,而后者价格低于前者。因此,选择陶瓷电容器应根据不同的应用要求、成本要求来选择,而不能只贪图价格便宜。

不仅如此,为什么电解电容器的电容量随频率的升高而减小?电解电容器的残余电压是怎么回事?陶瓷电容器的 X7R、X5R、Z5U、Y5V 是怎么回事,他们之间有什么区别?是 CBB 电容器就能耐受高纹波电流

吗？为什么有些电容器工作频率高到一定程度额定电压需要降低？见过电容器有多只引脚吗？什么是安规电容器，为什么称为安规，有什么特殊性能，普通电容器能代替吗？超级电容器是什么器件？它能取代蓄电池吗？等等。因此，想用好电容器就要对电容器的性能有比较深刻的了解。

还有，最常见的问题就是，电解电容器存在着其他类型的电容器所没有的寿命问题，这是为什么？上述这些问题都需要弄清楚，否则很难设计制作出性能优良、价格合理的电路。

电容器经历了比较原始的莱顿瓶、空气介质电容器（直到现在还有空气介质的可变电容器）、云母（介质）电容器、陶瓷（介质）电容器、纸介质电容器和电解质电容器。迄今由于各种介质材料的出现，尤其是有机介质的出现以及先进的制造工艺，使电容器的性能得到极大的提高，同时体积越来越小，使得整机的体积得以有效的减小。

电子管时代的电解电容器 $450\text{V}/10\mu\text{F}$ 的尺寸大约为 $\Phi 20\text{mm} \times 70\text{mm}$ ， $1000\mu\text{F}$ 以上基本就不敢想； $0.01\mu\text{F}$ 以上的容量不得不用纸介或纸介油浸电容器；陶瓷电容器与云母电容器也只在 $0.01\mu\text{F}$ 以下看得见。这些电容器的体积现在看来真是大得不得了！到了晶体管时代出现了有机介质（如涤纶），而且由于使用电压的降低和制造技术的提高，有机介质电容器和电解电容器的尺寸得到有效的减小，也出现了 μF 至 $10\mu\text{F}$ 级的有机介质和纸介质电容器，陶瓷介质电容器的容量也上升到数十 μF 级；到了集成电路和大功率电力电子功率变换的今天，不仅有了容量在 $450\text{V}/10\,000\mu\text{F}$ 的电解电容器，体积也大大减小（如 $450\text{V}/10\mu\text{F}$ 的尺寸大约为 $\Phi 10\text{mm} \times 20\text{mm}$ ，甚至有了 $\Phi 8\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的），最高工作温度也从 55°C 提高到 140°C ，有效工作频率也上升到 1MHz ，这在电子管时代是不可想象的。陶瓷电容器的容量也上升到数十 μF 。为了减小体积，有机介质电容器的电极采用金属化的方式。曾几何时，在高频电源的应用中，人们似乎觉得铝电解电容器的 ESR 和高频特性就是不如钽电解电容器，后来 SMD 叠片陶瓷电容器的出现，使人们看到叠片陶瓷电容器的 ESR 低于钽电解电容器，而且钽电解电容器的价格太高，因而，叠片陶瓷电容器又有取代钽电解电容器的趋势。现在铝聚合物电解电容器的出现，这又使得人们不得不对铝电解电容器刮目相看！

问题最多的当属铝电解电容器。为什么铝电解电容器会出现如此多的问题？这不仅是铝电解电容器自身的特殊性，还有市场的投机与欺骗，

而后者可能是铝电解电容器招致骂名的一个重要原因。

更令人兴奋的是过去谁敢说电容器有法[拉]级的? 双电层理论的出现推动了超级电容器的问世,目前超级电容器的单体容量为 5000F! 其尺寸不过是 $60\text{mm} \times 75\text{mm} \times 165\text{mm}$, 3F 的超级电容器的尺寸约为 $\Phi 8\text{mm} \times 10\text{mm}$ 。已经不仅仅是法[拉]数量级,其储能接近铅酸蓄电池的 1/5 甚至更高。真是沧海桑田!

如果将电化学引进电容器,可以得到电化学电容器,据称电化学电容器的能量密度将可以达到 $20\text{W} \cdot \text{h/kg}$ 。更为惊人的是,美国一家公司宣称研制出基于钛酸钡材料的超级电容器,其能量密度将可以与电池媲美。如果这种超级电容器成为商品,蓄电池将可能被取代。

超级电容器除了物理效应外是否还有电化学效应,如果有,与电池还有什么区别? 如何鉴别超级电容器和电池? 如何鉴别双电层电容器和电化学电容器?

空气介质的可变电容器(除高压射频功率发射以外)早已被遗弃,取而代之的是体积小巧的有机膜可变电容器,不仅有双连、四连(用于调幅/调频收音机),而且物美价廉。现在,空气可变电容器仅能在博物馆和旧货市场上看到,纸介质电容器在现今的电子产品中也不见了踪影,取而代之的是性能优异的有机介质薄膜电容器。

大量电气电子、电气设备的应用带来了严重的电磁干扰,电容器承担了抑制电磁干扰的重任。这要求电容器要有极低的寄生电感和极好的频率特性,因此涌现出如穿心电容器、平衡线电容器等专用于抑制电磁干扰的电容器。在抑制电源电磁干扰的同时,还要准备承受严酷的浪涌电压和过电压的冲击,同时还要确保电气安全和人身安全,这就需要选用电源电磁干扰抑制电容器。

随着电力电子技术的日新月异,电力电子技术的应用领域不断拓新,电力电子技术对电容器的性能要求越来越高。电力电子电容器最主要的特征是低等效串联电阻、低等效串联电感和高纹波电流承受能力等。

如果频率达到数兆赫甚至十几兆的功率谐振和耦合的应用时,数十 pF 到数千 pF 的电容量需要流过十几安[培]甚至更高的电流,一般介质电容器的损耗和 ESR 产生的损耗是特大的,这时常用的电容器如云母电容器已不能满足要求,那么需要什么样的电容器呢? 最古老的真空电容器在这个领域中发挥着不可替代的作用。

电容器为什么会失效?怎样防止电容器的失效?这是电容器使用者不可回避的问题,也是本书需要回答的问题。

为使读者在应用中能够合理地选择和使用电容器,本书针对电容器的介质种类、提高电容量的方法、电容器的主要特性、参数及测试条件、不同规格的电容器的用途及注意事项、各种应用环境下电容器的选择及注意事项、电容器的失效分析与防范、铝电解电容器预期寿命的推算、电容器应用实例等相关内容进行详尽地分析和论述。

承蒙专家力荐和科学出版社的信任,谨以此书为祖国的科学事业献出微薄之力。如果读者读后确有收益,我将感到欣慰,更企盼此书能起到抛砖引玉的功效。

仅将此书献给为祖国的教育事业奋斗一生的原锦州工学院院长、作者的科技启蒙者、引导者、父亲陈明涛。

辽宁工业大学 陈永真

辽宁医学院 李 锦

2008年3月

目 录

第1章 电容器的基础知识

1.1 电容器的回顾与展望	2
1.2 电容器概述	4
1.2.1 什么是电容	4
1.2.2 什么是电容器	5
1.3 电容器的物理性质	5
1.3.1 电容器的物理意义	5
1.3.2 平板电容器的电容	6
1.4 电容器的介质	6
1.4.1 介质的相对介电系数	6
1.4.2 介质损耗	7
1.4.3 介质击穿	7
1.4.4 介质的击穿场强	8
1.4.5 介质吸收(弛豫时间)与残余电压	9
1.5 电容器的分类	9
1.6 电容器的基本特性	10
1.6.1 电容器各参数间的关系	10
1.6.2 多只电容器的连接	11
1.6.3 电容器的主要作用	11
1.7 电容器的主要参数	11
1.7.1 电 压	11
1.7.2 电容量	12

1.7.3	电容量的容差	12
1.7.4	损耗因数	13
1.7.5	等效串联电阻	13
1.7.6	温度系数	14
1.7.7	工作温度范围	14
1.7.8	漏电流	14
1.7.9	寿 命	14
1.7.10	理想电容器与实际电容器	14
1.8	电容器参数的表示方式	15
1.8.1	电容器的电容标称值及精度	15
1.8.2	电容量的表示方式	15
1.8.3	电容量的容差	16
1.8.4	电容器的额定工作电压	17
1.8.5	电容器额定电压的表示方式	17
1.8.6	温度特性	18
1.9	国产电容器的命名	21
1.10	电容器的储能与电容量、端电压的关系推导	22

第2章 薄膜电容器

2.1	薄膜电容器概述	26
2.2	薄膜电容器的基本参数	28
2.2.1	电压和电流	28
2.2.2	薄膜电容器的额定电流	34
2.2.3	电容量	37
2.2.4	薄膜电容器的阻抗频率特性	38
2.2.5	损耗因数	39
2.3	影响薄膜电容器特性的因素	39
2.3.1	薄膜电容器的可施加交流电压/可施加交流电流与 应用条件的关系	39
2.3.2	电容量与温度的关系	42

2.3.3	电容量与湿度的关系	43
2.3.4	电容量与频率的关系	44
2.3.5	电容量与时间的关系	45
2.4	影响薄膜电容器损耗因数的因素	46
2.4.1	损耗因数与频率的关系	46
2.4.2	损耗因数与温度、湿度和电压的关系	47
2.5	影响薄膜电容器漏电流与绝缘电阻的因素	48
2.5.1	绝缘电阻与测试条件	48
2.5.2	影响绝缘电阻的因素	49
2.5.3	气候影响	49
2.6	薄膜电容器的种类及特点	50
2.6.1	纸介电容器	50
2.6.2	合成有机介质电容器简介	51
2.6.3	聚对苯二甲酸乙二酯电容器	51
2.6.4	聚对苯二甲酸乙二酯电容器	52
2.6.5	聚丙烯电容器	53
2.6.6	聚碳酸酯电容器	53
2.6.7	聚苯硫醚电容器	53
2.6.8	聚苯乙烯电容器	54
2.6.9	聚四氟乙烯电容器	54
2.6.10	聚砒电容器	55
2.6.11	聚乙烯电容器	55
2.6.12	聚酰亚胺电容器	55
2.6.13	聚对二甲苯薄膜电容器	55
2.6.14	复合介质电容器	56
2.6.15	可调电容器	56
2.6.16	漆膜电容器	57
2.6.17	陶瓷-有机材料混合薄膜电容器	57
2.7	电容器电极形式	58
2.7.1	有感电容器与无感电容器	58
2.7.2	箔式电容器	59

2.7.3	金属化纸介电容器	59
2.7.4	双面金属化纸-塑料薄膜电容器	60
2.7.5	金属膜电容器的优点	60
2.8	电容器的失效与对策	61
2.8.1	失效率与应用条件的关系	61
2.8.2	薄膜电容器失效分析与对策	63
2.9	薄膜电容器的一般应用	68
2.9.1	旁路电容器	69
2.9.2	薄膜电容器作为滤波电容器	72
2.9.3	电容器作为耦合电容器	73
2.9.4	电容器在采样-保持电路中的应用	74
2.9.5	电容器在振荡电路、定时电路、延迟电路和滤波器 中的应用	74
2.9.6	电容器在积分电路中的应用	76
2.9.7	薄膜电容器在音响设备中的应用	76
2.9.8	薄膜电容器用于单相电机启动与裂相	77
2.9.9	薄膜电容器用于抑制电磁干扰等其他应用	78
2.10	薄膜电容器的电流参数及其在高电流、高 dv/dt 条件下的应用	78
2.10.1	薄膜电容器中与电流相关的特殊参数	78
2.10.2	电容器电流的产生与薄膜电容器的 dv/dt 的承受 能力	79
2.10.3	薄膜电容器的有效值电流承受能力	81
2.10.4	晶闸管中频电源对谐振、相位补偿电容器的要求 ..	81
2.10.5	薄膜电容器作为高频感应加热电源的谐振电容器 ..	82
2.10.6	薄膜电容器作为 MOSFET 开关与 IGBT 开关的 缓冲电容器	82
2.11	薄膜电容器用于镇流与分压	88
2.12	薄膜电容器的典型数据	90
2.12.1	RIFA 薄膜电容器数据	91
2.12.2	EPCOS 薄膜电容器数据	136

2.12.3	一般用途松下薄膜电容器数据	158
2.12.4	国产薄膜电容器数据	170
2.12.5	一般用途薄膜电容器数据分析	181

第3章 陶瓷介质电容器

3.1	概 述	184
3.2	陶瓷介质电容器	184
3.3	陶瓷电容器的分类	185
3.3.1	I 类陶瓷电容器	185
3.3.2	II 类陶瓷电容器	186
3.4	陶瓷电容器简介	186
3.4.1	叠片陶瓷电容器	186
3.4.2	独石陶瓷电容器	187
3.4.3	穿心式陶瓷电容器	187
3.4.4	高压陶瓷电容器	188
3.4.5	低压陶瓷电容器	189
3.4.6	圆片陶瓷电容器	189
3.4.7	高功率陶瓷电容器	190
3.4.8	其他陶瓷电容器	192
3.4.9	可调电容器	194
3.5	陶瓷电容器制造工艺及名词简介	195
3.5.1	喷 银	195
3.5.2	丝网印银	196
3.5.3	涂 银	196
3.5.4	印 银	196
3.5.5	烧 银	196
3.5.6	银 浆	196
3.6	陶瓷介质电容器的基本特性	197
3.6.1	陶瓷电容器的等效电路与寄生参数	198

3.6.2	陶瓷电容器的电压、电流与功率特性	198
3.6.3	陶瓷电容器的电容特性	202
3.6.4	陶瓷电容器的频率特性	211
3.6.5	陶瓷电容器的其他温度特性	215
3.7	新型陶瓷电容器	216
3.7.1	叠片陶瓷电容器	216
3.7.2	低电感封装陶瓷电容器	220
3.7.3	大尺寸叠片陶瓷电容器	222
3.7.4	柔性端头陶瓷电容器	224
3.7.5	开路陶瓷电容器	226
3.7.6	穿心电容器	226
3.7.7	大电容量陶瓷电容器	227
3.7.8	电容排	228
3.7.9	温度补偿型高频多层片状陶瓷电容器	228
3.8	陶瓷电容器的失效分析	229
3.8.1	潮湿对电参数恶化的影响	229
3.8.2	银离子迁移的后果	229
3.8.3	高湿度条件下陶瓷电容器击穿机理	230
3.8.4	电极材料的改进	231
3.8.5	叠片陶瓷电容器的断裂	231
3.8.6	叠片陶瓷电容器的断裂分析	232
3.8.7	叠片陶瓷电容器电极端头被熔淋	232
3.9	叠片陶瓷电容器的保管与使用需注意的事项	233
3.9.1	第二类陶瓷介质电容器老化问题	233
3.9.2	陶瓷电容器的一般注意事项	233
3.9.3	安装与焊接	234
3.9.4	PCB 设计对焊接与安装后组件的影响	238
3.9.5	黏合剂的正确应用	240
3.9.6	助焊剂的应用	240
3.9.7	波峰焊接	240
3.9.8	PCB 焊接锡量和弯曲强度	241

3.9.9	焊接锡量和温度循环	242
3.9.10	PCB 材料的弯曲强度	244
3.9.11	叠片陶瓷电容器的抗断裂强度	245
3.9.12	热振荡	246
3.9.13	焊锡耐热性	247
3.9.14	使用烙铁进行校正时的热振荡	248
3.9.15	清洗需要注意的问题	248
3.10	陶瓷电容器的应用	249
3.10.1	大容量陶瓷电容器在一般旁路中的应用	249
3.10.2	大容量陶瓷电容器在开关功率负载的旁路和 高频整流滤波中的应用	252
3.10.3	陶瓷电容器在定时电路、振荡器、时钟电路、延迟 电路、滤波器中的应用	264

第4章 云母电容器与真空电容器

4.1	概 述	268
4.2	云母电容器的基本特性	269
4.3	云母电容器数据及主要应用介绍	271
4.3.1	高功率云母电容器	271
4.3.2	精密云母电容器及高温云母电容器	277
4.4	真空电容器基础	278
4.4.1	什么叫真空电容器	278
4.4.2	陶瓷真空电容器的分类	278
4.4.3	命名方法	279
4.5	真空电容器的应用领域与特点	280
4.5.1	真空电容器的应用领域	280
4.5.2	真空电容器的特点	280
4.6	真空电容器的结构	281
4.7	真空电容器的一般技术条件	282

4.8	真空电容器的主要技术参数与分析	283
4.9	真空电容器的并联	285
4.10	真空电容器的冷却方式	285
4.11	真空电容器的其他注意事项	286
4.11.1	真空电容器的储存	286
4.11.2	真空电容器的电压测试	287
4.11.3	真空电容器的安装	287
4.11.4	真空电容器维护	287
4.12	国内外真空电容器数据分析及代换	287

第5章 电解电容器

5.1	概 述	298
5.1.1	大电容量的需求引出电解电容器	298
5.1.2	介质薄膜的获得	300
5.1.3	粗糙电极的获得	300
5.1.4	负极的获得方法	301
5.2	铝电解电容器的基本知识	301
5.2.1	铝电解电容器结构	301
5.2.2	铝电解电容器的制作过程简述	302
5.3	铝电解电容器的基本参数	304
5.3.1	电 压	305
5.3.2	电容量	307
5.3.3	漏电流	309
5.3.4	损耗因数	310
5.3.5	工作温度范围与寿命	311
5.3.6	等效串联电阻	312
5.3.7	额定纹波电流	313
5.4	应用环境对铝电解电容器参数的影响	313
5.4.1	电容量的温度特性	313

5.4.2	电容量与频率的关系	314
5.4.3	漏电流与应用环境的关系	314
5.4.4	铝电解电容器的损耗因数与应用的关系	317
5.4.5	铝电解电容器的应用环境与寿命的关系	318
5.5	铝电解电容器的寄生参数对电特性的影响	318
5.5.1	电解电容器的等效电路	319
5.5.2	电解电容器的等效串联电阻与应用环境的关系 ...	319
5.5.3	电解电容器的阻抗频率特性	320
5.5.4	电介质吸收与残余电压	322
5.6	ESR的热效应与铝电解电容器的热阻	323
5.6.1	等效串联电阻(ESR)的热效应	323
5.6.2	热 阻	323
5.7	铝电解电容器失效分析与防范	332
5.7.1	铝电解电容器失效模式及其失效因素	332
5.7.2	铝电解电容器自身特性	333
5.7.3	应用环境对铝电解电容器失效的影响	334
5.7.4	压力释放装置动作	337
5.7.5	特殊失效模式	337
5.7.6	电容失效的防范	339
5.8	铝电解电容器的相关型式试验	342
5.8.1	负载寿命的测试简介	343
5.8.2	负载寿命的测试	343
5.8.3	绝缘与接地	343
5.8.4	低气压试验	344
5.8.5	振 荡	344
5.8.6	压力释放装置的动作	344
5.8.7	充电与放电	346
5.8.8	极性与反电压	346
5.8.9	可燃性	346
5.9	铝电解电容器的应用状态与寿命推算	346
5.9.1	不同的铝电解电容器的额定寿命与实际意义	348

5.9.2	铝电解电容器寿命的简单推算	349
5.9.3	使用条件与铝电解电容器寿命的关系	350
5.9.4	利用特性曲线和换算表的寿命推算 EPCOS 的方法 ...	352
5.9.5	CDE 的寿命问题推算	355
5.9.6	RIFA 的铝电解电容器寿命的推算	358
5.10	铝电解电容器的其他注意事项	369
5.10.1	铝电解电容器的安全性	369
5.10.2	接触电解液的处置	371
5.10.3	并 联	371
5.10.4	串 联	373
5.10.5	铝电解电容器的并联/串联	375
5.10.6	电压降额	376
5.11	铝电解电容器的特殊形式	377
5.11.1	闪光灯用铝电解电容器	377
5.11.2	低 ESR 铝电解电容器	377
5.11.3	无极电容器	378
5.12	铝电解电容器的发热与冷却	378
5.12.1	铝电解电容器发热的原因	379
5.12.2	铝电解电容器的冷却	379
5.13	选择、购买铝电解电容器应注意的事项	383
5.13.1	不要使用来路不明的铝电解电容器	383
5.13.2	拆机件、水货、假货	384
5.13.3	套膜铝电解电容器	384
5.13.4	翻新铝电解电容器	385
5.13.5	“偷电压”的铝电解电容器	385
5.13.6	下线铝电解电容器	385
5.13.7	在国内销售的国外电解电容器情况	386
5.13.8	短寿命的高温铝电解电容器的预期寿命	387
5.13.9	铝电解电容器的体积与性能、预期寿命	387
5.14	如何用好铝电解电容器	388
5.14.1	额定电压的选择	388