

Technology
实用技术

高效电能变换应用丛书

电容器及其应用

陈永真 编著



 科学出版社
www.sciencep.com

高效电能变换应用丛书

电容器及其应用

陈永真 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是“高效电能变换应用丛书”之一。本书系统全面地介绍各种电容器的原理和各种电容器的应用与注意事项。全书共分7章,主要包括电容器的基础知识,薄膜电容器、陶瓷电容器、铝电解电容器、钽电解电容器、铝聚合物电解电容器、超级电容器、抑制电源电磁干扰用电容器、电力电子电容器等基本原理、特性和典型应用。

本书可作为电气、电子、自动化等专业高校师生的参考用书,也可供电子工程师、科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电容器及其应用/陈永真编著. —北京:科学出版社,2005
(高效电能变换应用丛书)

ISBN 7-03-015807-5

I. 电… II. 陈… III. 电容器-原理-应用 IV. TM53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 071009 号

责任编辑:杨 凯 崔炳哲/责任制作:魏 谨

责任印制:刘士平/封面设计:李 祥

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>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年10月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2005年10月第一次印刷 印张:16 1/2

印数:1—4 000 字数:306 000

定 价:32.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

编著者简介



陈永真

1956年生，辽宁人，于1982年1月毕业于大连工学院。现任中国电源学会常务理事、科普工作委员会副主任、学术工作委员会委员、直流电源专业委员会委员；中国电工技术学会电力电子学会理事、学术工作委员会委员。辽宁工学院电力电子与电力传动硕士研究生导师。参加2003~2004年、2005年“863”计划电动汽车重大专项的“解放牌混合动力城市客车用超级电容器组”项目。

丛 书 序

电能是现代社会不可或缺的重要能源。在 21 世纪,电力可持续发展已成为实现社会经济可持续发展的基础,并在社会经济、能源与环境协调发展中起着重要的平衡作用。

在现代社会所有的动力资源中,电能使用最方便,适用范围最广泛。电能在不同领域的深入应用,以及对高效率、高功率密度、高可靠性电能变换的需求,推动着电能变换技术、理论、电路、材料和工艺的发展。《高效电能变换应用丛书》即从应用“电能变换”技术的角度,讨论获取最佳供电的方法,同时探求节省能源和保护环境的高效电能变换的有效装置。

我们知道,未经加工和调理的原生态电能是有效电能的初始态。电网是电能的支柱,燃油发电机是防备电网故障或远离电网的应急和补充,太阳能电池、风力发电、潮汐发电等是向自然能换取电能的有效途径,燃料电池、铅酸蓄电池、锂离子电池、干电池等是可再生或一次性的电能载体。

对于现代社会大多数用电领域,原生态电能从某种意义上都是“粗电”。使用“粗电”将不尽如人意。例如,针对不同用户,电网上的电就不一定好用。电网是公用的,电网在高峰期和低谷期的电压存在差异。由于不同用户从电网支取电能的时机和电量的不确定性和偶然性,特别是大型设备的起动和刹车,会给邻近电网造成随机的瞬时冲击和定式落差;雷电、风暴、炎热等自然因素造成电网扰动甚至供电瞬时中断等,也将给敏感用户带来麻烦;设备运转失常、系统效率降低、计算机数据丢失、逻辑功能混乱,严重时还将造成系统硬件损坏,使系统工作陷于瘫痪。为此,需要在电网上游运用柔性输配电控制,而在电网下游采用稳压器和 UPS 对从电网下载的粗电进行整合和修补。

由于电池自身具有的电容性,电压瞬时波动可能比电网小。但电池在工作中也存在不少问题,最常见的问题是电池电量随工作时间的延长或用电量的加大会逐渐衰竭。另外,电池单体的电压较低,以其自然形态很少可直接使用,多数是串联或串并联组合使用,这种使用方式很难保证串联或串并组合中的每个单体的特性一致。为此,必须实施合理的充电、放电和监管。

太阳能电池能将阳光转换成电能,但阳光的照射会因向背、阴晴、昼夜、四季而不均衡,为此需要对转换的电能进行收集储存、再经 DC-DC 或 DC-AC 变换,获得稳定的直流电和交流电。风力等自然能发电同样受自然因素牵制,借助风力等自然力传动的发电机输出的电力经常处于不稳定状态,也必须实行调整控制。……

在供电和用电的大舞台上,电能变换充当着极其重要的角色;在电能变换领域,以高频逆变技术为核心的 PWM 开关控制能使上述的许多问题迎刃而解,它比传统的低频电能变换有更多的优点。例如,高频逆变可使电能变换设备成十倍地缩小体积和重量,还可显著降低能耗和电磁干扰,可赋予设备数字化、智能化特性等等。这里所谓的高频,是相对于工频变换 50Hz 以及 20 世纪 60 年代兴起的 20kHz 变换频率的更高变换频率,数十 kHz、数百 kHz 乃至数 MHz 等。高频变换装置的功率密度随频率的提高而提高,器件和材料的开关损耗也随之愈加突出,促使高频损耗小的功率器件和材料不断获得改进。由此,高频损耗小的软开关 PWM 电路在近十年中取得了神速的发展。这些都使高效电能变换装置日臻完美。

不论是电网、电池还是相对独立的供电系统,都存在电磁环境问题。即在电力运行中因环境电磁干扰(如雷电、汽车点火引发),或共享电源母线的负载设备的电磁干扰,或 DC-DC、DC-AC 转换装置自身的电磁干扰,搅得“四邻不安”。因此,电磁兼容性成为供电和用电都必须面对的复杂问题。

现代社会的电网面临的承载非常严酷。由于功率半导体开关器件的长足进步、控制技术日益先进,变流设备的功率等级提升极快;又由于采用变流举措的负载设备日益增多,其复杂的负载性质带来的负面影响突出。基于这些因素的电网存在功率因数低下、波形畸变、浪涌、相位丢失等不良境况。因此,电能质量控制刻不容缓,电力补偿、有源滤波等电能变换技术在电网和用户之间能起到较佳的缓冲匹配作用。

能源问题在本世纪占据瞩目位置,人们在追求节约电能方面有卓越贡献的高效能供电设备和用电方法。在现实中,相当一部分电能消费是以驱动电机的形式进行的,如机床、电动工具、电动汽车、城市轻轨、传动系统、机器人、风机、水泵、纺机、空调等等。直接用粗放的原电驱动,免不了要引入串联阻抗或并联阻抗,以便控制和调节电机的运行状态,而这些不得已介入的阻抗会白白消耗电能。为了将这些浪费掉的非常可观的电能“拣”回来,利用现代电能变换技术对电机实行变频控制,具有很好的节电潜力。

照明用电据称占全球总体用电较大比重,节电潜力巨大,起源于欧美的绿色照明浪潮大有席卷全球之势。绿色照明的主题词:最小耗电产生最大流明。除了新型电光源和新型发光介质外,以全新的高频电能变换技术装备的电子镇流器将是实现绿色照明的重要手段。

生产力愈发展,技术越进步,环境问题愈加突出。电能的生产、变换、使用在很大程度上影响到环境。电能的生产一般伴随二氧化碳、二氧化硫气体排放,前者是地球温室效应气体,后者是酸雨的成因,两者对环境危害都很大。少一点电能生产却能换得少一点环境恶化。生产发展必然要增加电力的需求,关键在于节约电力,减少电力的浪费。这要求我们的电源装置、电能变换系统提高效率。另外,干净的电磁环境也要求电能变换设备在电磁兼容性方面达标。节约电能、电磁兼容、无环境污染的绿色供电势在必行。

21 世纪将是科学技术突飞猛进的时代,技术进步必定会牵动电能变换技术需求急速膨胀。《高效电能变换应用丛书》在这一时刻呈献给读者,意在诠释电能变换技术的最新应用。

电能变换技术是实用性极强的技术,服务于各种领域,内容丰富。一套丛书毕竟规模有限,实难尽述。我们企望借助几个具有典型意义的层面,如高频功率变换、变频传动、电能质量控制等在学术、产业都呈热点的几个方面展示多彩的电能变换技术应用。丛书主要供中等技术水平的科技人员阅读,在概念和应用实例方面照顾到其他层面的科技人员。丛书的读者定位为电源技术、运动控制、电力电子、电子技术、信息技术、能源转换、过程控制等应用领域的工程技术人员,以及科技爱好者们。

《高效电能变换应用丛书》编辑委员会

《高效电能变换应用丛书》

编辑委员会成员名单

主任委员	倪本来	中国电源学会编辑工作委员会主任	教授级高级工程师
副主任委员	陈建业	清华大学	研究员
	徐德鸿	浙江大学电气工程学院常务副院长	教授,博士生导师
	阮新波	南京航空航天大学	教授,博士生导师
委 员	(以下按姓氏笔画排序)		
	丁道宏	南京航空航天大学	教授
	区健昌	北京理工大学	教授
	王志通	北方交通大学	教授
	王赞基	清华大学	教授,博士生导师
	邓智泉	南京航空航天大学	教授,博士
	艾多文	航天工业总公司二院 25 所	教授级高级工程师
	刘凤君	航天工业总公司二院 206 所	研究员
	刘晓融	科学出版社	编审
	阮新波	南京航空航天大学	教授,博士生导师
	李永东	清华大学	教授,博士生导师
	李厚福	北京电视技术研究所	高级工程师
	沙 斐	北方交通大学抗电磁干扰中心主任	教授,博士生导师
	张 立	天津大学	教授
	张 宙	香港理工大学	副教授,博士
	张卫平	北方工业大学	教授,博士
	张中相	中国运载火箭技术研究院第十五研究所	研究员,博士生导师
	张占松	广东工业大学	教授
	张志国	中国运载火箭技术研究院第十四研究所主任	研究员
	陈 坚	华中理工大学	教授,博士生导师
	陈永真	辽宁工学院	副教授,硕士生导师
	陈建业	清华大学	研究员
	陈慕平	(台湾)工业技术研究院能源与资源研究所	博士
	罗方林	新加坡南洋理工大学	教授,博士
	季幼章	中科院等离子体研究所	研究员
	郑琼林	北京交通大学电气学院院长	教授,博士生导师
	赵争鸣	清华大学	教授,博士生导师
	赵良炳	清华大学	教授
	赵修科	南京航空航天大学	教授

倪本来 中国电源学会编辑工作委员会主任 教授级高级工程师
倪海东 北京奥米伽电源技术服务中心主任 副教授
徐德鸿 浙江大学电气工程学院常务副院长 教授,博士生导师
黄济荣 株洲电力机车研究所 教授级高级工程师,博士生导师
龚绍文 北京理工大学 教授
龚幼民 上海大学 教授
崔炳哲 科学出版社 编辑
路秋生 北京职业技术学院 教授

前言

电容器是三大无源元件(电阻、电容、电感)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,如果对电容器没有比较深刻的理解,选择不当的话,所设计制造的电子线路、电器装置则会出现这样或那样的问题和故障。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,但是其温度系数比较大)。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,而且还要能承受高的有效值电流和 di/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,贴片陶瓷电容器的介质中的Ⅱ类稳定级和Ⅱ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,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。

在使用电容器的过程中大家往往会有许多疑问,如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、Z5V 是怎么回事?它们之间有什么区别?是 CBB 电容器就能耐受高温波电流吗?为什么有些电容器工作频率高到一定程度,额定电压需要降额?见过电容器有数十条引脚吗?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个比较深刻的了解。

电容器经历了比较原始的空气介质电容器(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。到今天由于各种介质材料的出现,尤其是有机介质的出现再加上先进的制造工艺,电容器的性能得到极大的提高,同时体积越来越小,整机的体积得以有效减小。

电子管时代的电解电容器 450V/10 μ F 的尺寸大约为 ϕ 20mm $\times$ 70mm,1000 μ 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。不仅如此, 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, 出现了微法至 $10\mu\text{F}$ 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微法级。到了集成电路和大功率电力电子功率变换的今天, 不仅出现了 $450\text{V}/10\,000\mu\text{F}$ 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), 最高工作温度从 55°C 提高到 140°C , 有效工作频率上升到 1MHz , 这在电子管时代是不可想像的; 陶瓷电容器的容量也上升到数十微法; 为了减小体积, 有机介质电容器的电极也采用金属化的方式。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 陶瓷叠片电容器的出现, 使人们看到陶瓷叠片电容器的 ESR 优于钽电解电容器, 而且钽电解电容器的价格太高, 因而陶瓷贴片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出现了, 其性能优于钽电解电容器和陶瓷贴片电容器, 这又使得人们不得不对铝电解电容器刮目相看! 更令人兴奋的是过去谁敢说电容器有法拉级的? 双电层理论的出现而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, 其储能接近蓄电池的 $1/3$ 甚至更高。真是沧海桑田! 现在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)也已近物美价廉, 空气可变电容器仅能在博物馆和旧货市场上看到, 纸介电容器也在现今的产品中不见踪影, 取而代之的是性能优异的有机介质薄膜电容器。

为使读者在应用中能够合理地选择和使用电容器, 本书作者就电容器的介质种类、提高电容量的方法、电容器的主要特性、参数及测试条件、不同规格的电容器用途及注意事项、各种应用环境下电容器的电容器选择及注意事项、电容器应用实例、超级电容器的原理与特性及应用方法等相关内容进行分析 and 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。

参加本书编写工作的还有李锦、孟丽囡、宁武同志, 在此向他们付出的辛勤劳动和大力支持深表感谢。

作 者

目 录

第 1 章 电容器基础知识	1
1.1 概 述	1
1.1.1 什么是电容	1
1.1.2 什么是电容器	1
1.2 物理性质	2
1.2.1 电容器的物理意义	2
1.2.2 平板电容器的电容	2
1.3 介 质	3
1.3.1 介质的相对介电系数	3
1.3.2 介质损耗	3
1.3.3 介质击穿	3
1.3.4 介质的击穿场强	3
1.3.5 介质吸收(弛豫时间)与残余电压	4
1.4 基本特性	5
1.4.1 电容器各参数间的关系	5
1.4.2 电容器的连接	5
1.4.3 电容器的主要作用	6
1.5 主要参数	6
1.5.1 额定电压与介电强度	6
1.5.2 电容量	6
1.5.3 容量误差	6
1.5.4 损耗因数	7
1.5.5 等效串联电阻	7
1.5.6 温度系数	7
1.5.7 工作温度范围	7
1.5.8 漏电流	8
1.5.9 寿 命	8
1.6 参数的表示方式	8
1.6.1 电容器的分类	8
1.6.2 电容器的电容标称值及精度	8

1.6.3	电容量的表示方式	8
1.6.4	容量误差	9
1.6.5	电容器的额定工作电压	9
1.6.6	电容器额定电压的表示方式	10
1.6.7	温度特性	10
1.7	国产电容器的命名	12
1.8	附 录	13
1.8.1	数据表	13
1.8.2	电容器的储能与电容量、端电压的关系推导	14
第 2 章	薄膜电容器	16
2.1	概 述	16
2.1.1	纸介电容器	17
2.1.2	有机介质电容器	17
2.1.3	有机介质电容器	18
2.1.4	金属化电容器与箔式电容器	21
2.2	一般性能	23
2.2.1	电压和电流	23
2.2.2	额定电容量/测量条件	27
2.2.3	损耗因数	31
2.2.4	绝缘电阻	34
2.2.5	气候影响	35
2.2.6	自感、谐振	36
2.2.7	失效率与应用条件的关系	36
2.3	在电子线路中的应用	38
2.3.1	在振荡电路、定时电路、延迟电路和滤波器中的应用	38
2.3.2	在积分电路中的应用	40
2.3.3	在采样-保持电路中的应用	40
2.3.4	作为耦合电容器	40
2.3.5	作为 HI-FI 胆机放大器的耦合电容器	41
2.3.6	一般应用	41
2.4	电流参数及其在高电流、高 dv/dt 条件下的应用	41
2.4.1	薄膜电容器中与电流相关的特殊参数	41
2.4.2	电容器电流的产生与薄膜电容器的 dv/dt 的承受能力	42
2.4.3	薄膜电容器的有效值电流承受能力	43
2.4.4	晶闸管中频电源对谐振、相位补偿电容器的要求	44
2.4.5	作为 MOSFET 开关与 IGBT 开关的缓冲电容器	44

2.4.6 作为高频整流滤波电容器	49
第3章 陶瓷介质电容器	50
3.1 概 述	50
3.1.1 陶瓷介质电容器	50
3.1.2 I类陶瓷电容器	50
3.1.3 II类陶瓷电容器	51
3.1.4 新型陶瓷电容器	51
3.1.5 还在用的陶瓷电容器	52
3.1.6 不太常用的陶瓷电容器	55
3.1.7 其他陶瓷电容器的称呼与特点	56
3.1.8 陶瓷电容器制造工艺的名词简介	57
3.2 基本特性	58
3.2.1 I类陶瓷介质电容器的温度性质	59
3.2.2 II类陶瓷介质电容器的温度性质	62
3.2.3 频率特性	66
3.2.4 电容量与直流偏置电压的关系	70
3.2.5 陶瓷电容器所允许加载的交流电压与电流同频率的关系	72
3.2.6 脉冲处理能力	73
3.2.7 热特性和电气额定值	74
3.2.8 老 化	74
3.2.9 测量条件的影响	75
3.3 陶瓷叠片电容器	76
3.3.1 陶瓷叠片电容器的结构	76
3.3.2 陶瓷贴片电容器对频率特性的改善	77
3.3.3 陶瓷贴片电容器的保管条件	78
3.4 陶瓷贴片电容器的保管与使用时需注意的事项	78
3.4.1 安装与焊接	78
3.4.2 使用烙铁进行校正或手工焊接	81
3.4.3 清洗需要注意的问题	82
3.4.4 PCB设计对焊接与安装后元件的影响	82
3.4.5 黏合剂的正确应用	83
3.4.6 助焊剂的应用	84
3.4.7 波峰焊接	84
3.4.8 PCB焊接锡量和弯曲强度	85
3.4.9 焊接锡量和温度循环	86
3.4.10 PCB材料的弯曲强度	88

3.4.11	陶瓷贴片电容器的抗断裂强度	88
3.4.12	热震荡	90
3.4.13	焊锡耐热性	90
3.4.14	使用烙铁进行校正时的热震荡	91
3.5	其他陶瓷电容器	92
3.5.1	圆片形陶瓷电容器	92
3.5.2	陶瓷叠片电容器	93
3.5.3	电容排	94
3.5.4	温度补偿型高频多层片状陶瓷电容器	94
3.6	大容量陶瓷电容器在旁路、高频整流滤波中的应用	94
3.6.1	大容量陶瓷电容器在旁路中的应用	94
3.6.2	大容量陶瓷电容器在高频整流滤波中的应用	97
3.7	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	99
3.8	陶瓷电容器在高频功率振荡与发生中的应用	101
第 4 章	电解电容器	105
4.1	引 言	105
4.2	铝电解电容器的基本知识	106
4.2.1	结 构	106
4.2.2	制作过程	107
4.3	铝电解电容器电压、容量与漏电流	109
4.3.1	电 压	109
4.3.2	电 容 量	111
4.3.3	漏电流	113
4.4	铝电解电容器的寄生参数对电特性的影响	115
4.4.1	等效电路	115
4.4.2	等效串联电阻	116
4.4.3	阻抗频率特性	116
4.4.4	损耗因数	118
4.5	铝电解电容器的应用状态与寿命关系	120
4.5.1	额定温度	120
4.5.2	环境温度与寿命的关系	120
4.5.3	使用条件与铝电解电容器寿命的关系	121
4.5.4	其他寿命问题	125
4.6	铝电解电容器的应用及注意事项	127
4.6.1	铝电解电容器的 ESR、纹波电流	128

4.6.2	纹波电流对铝电解电容器的影响	128
4.6.3	铝电解电容器的燃烧性	131
4.7	铝电解电容器寄生参数的电路模型	132
4.8	钽电解电容器的基本知识	134
4.8.1	结 构	134
4.8.2	一般标准	135
4.8.3	制作过程	135
4.9	钽电解电容器的电参数	136
4.9.1	电 压	136
4.9.2	电 容 量	137
4.9.3	阻抗/等效串联电阻	138
4.9.4	交流功率损耗	140
4.9.5	损耗因数	141
4.9.6	漏电流	142
4.9.7	环境的对钽电解电容器的影响	143
4.10	多阳极钽电解电容器	144
4.11	铝聚合物电解电容器	144
4.11.1	电压参数	151
4.11.2	电容量参数	151
4.12	铝聚合物电解电容器使用上的注意事项	152
4.12.1	极 性	152
4.12.2	确认额定性能	152
4.12.3	外加电压的限制	152
4.12.4	充放电电流的限制	152
4.12.5	故障与使用寿命	152
4.13	铝聚合物电解电容器的应用	154
4.14	铝电解电容器在整流滤波中的应用	156
4.14.1	额定电压的选择	157
4.14.2	选择铝电解电容器的最高工作温度和寿命小时数	158
4.14.3	一般铝电解电容器可以承受的纹波电流和 可能出现的实际纹波电流	158
4.14.4	开关电源输出整流滤波	161
4.14.5	变频器的整流滤波电容器的应用注意事项	164
4.14.6	HI-FI 功率放大器的整流滤波电容器的选用	165
4.15	铝电解电容器其他的应用	165
4.15.1	旁路与耦合	165

4.15.2	抑制瞬变电压	166
4.15.3	急剧放电的应用	168
4.16	附 录	168
4.16.1	电解电容器正负极的辨认	168
4.16.2	电解电容器的参数识别	169
4.16.3	电解电容器的自愈	170
4.16.4	各种类型电解电容器的参数	171
4.16.5	铝电解电容器的现状与发展	189
第 5 章	超级电容器	193
5.1	原 理	193
5.1.1	双电层原理	193
5.1.2	超级电容器的超级电容量的获得	194
5.1.3	与电解电容器的异与同	194
5.2	电特性	195
5.3	国内外的超级电容器的水平	201
5.3.1	超级电容器的电容量与 ESR 乘积	201
5.3.2	ESR 的影响	201
5.3.3	漏电流	202
5.3.4	体 积	203
5.3.5	数 据	203
5.3.6	覆盖范围	203
5.4	串联应用中的均压问题及解决方案	203
5.4.1	问题的提出	203
5.4.2	影响超级电容器均压的因素	203
5.4.3	解决方案	204
5.5	超级电容器在汽车启动性能中的作用	208
5.5.1	蓄电池存在的问题	208
5.5.2	超级电容器与蓄电池组合改善汽车启动性能	209
5.6	在混合动力汽车和电动汽车中的应用	210
5.7	短时高峰值电流的应用	212
5.8	在 UPS 中的应用	215
5.9	浪涌电压抑制	216
5.10	作为整流滤波电容器	217
5.11	其他应用	218
第 6 章	抑制电源电磁干扰的电容器	220
6.1	特殊要求——电气安全规则	220