超级电容器储能技术及其应用

张步涵，王云玲，曾杰

(华中科技大学电气与电子工程学院，湖北武汉430074)

摘要：超级电容器是近年发展起来的一种新型储能元件，具有功率密度高、寿命长、无需维护及充放电迅速等特性。叙述了超级电容器的分类、储能原理和性能特点，介绍了超级电容器目前的应用领域及应用中需要关注的问题。

超级电容器，也叫电化学电容器，是20世纪60年代发展起来的一种新型储能元件。1957年，美国的Becker首先提出了可以将电容器用作储能元件，具有接近于电池的能量密度。1962年，标准石油公司(SOHIO)生产了一种工作电压为6V、以碳材料作为电极的电容器。稍后，该技术被转让给NEC电气公司，该公司从1979年开始生产超级电容器，1983年率先推向市场。20世纪80年代以来，利用金属氧化物或氮化物作为电极活性物质的超级电容器，因其具有双电层电容所不具有的若干优点，现已引起广大科研工作者极大兴趣。

1超级电容器的储能原理

超级电容器按储能原理可分为双电层电容器和法拉第准电容器。

1.1双电层电容器的基本原理

双电层电容器的基本原理是利用电极和电解质之间形成的界面双电层来存储能量的一种新型电子元件。当电极和电解液接触时，由于库仑力、分子间力或者原子间力的作用，使固液界面出现稳定的、符号相反的两层电荷，称为界面双电层。这种电容器的储能是通过使电解质溶液进行电化学极化来实现的，并没有产生电化学反应，这种储能过程是可逆的。

1.2法拉第准电容器的基本原理

继双电层电容器后，又发展了法拉第准电容，简称准电容。该电容是在电极表面或体相中的二维或准二维空间上，电活性物质进行欠电位沉积，发生高度的化学吸脱附或氧化还原反应，产生与电极充电电位有关的电容。对于法拉第准电容，其储存电荷的过程不仅包括双电层上的存储，而且包括电解液中离子在电极活性物质中由于氧化还原反应而将电荷储存于电极中。

2超级电容器的特性

超级电容器是介于传统物理电容器和电池之间的一种较佳的储能元件，其巨大的优越性表现为：①功率密度高。超级电容器的内阻很小，而且在电极/溶液界面和电极材料本体内均能实现电荷的快速储存和释放。②充放电循环寿命长。超级电容器在充放电过程中没有发生电化学反应，其循环寿命可达万次以上。③充电时间短。完全充电只需数分钟。④实现高比功率和高比能量输出。⑤储存寿命长。⑥可靠性高。超级电容器工作中没有运动部件，维护工作极少。⑦环境温度对正常使用影响不大。超级电容器正常工作温度范围在-35～75℃。⑧可以任意并联使用，增加电容量；若采取均压后，还可串联使用，提高电压等级。

3超级电容器储能技术应用

超级电容器作为大功率物理二次电源，在国民经济各领域用途十分广泛。各发达国家都把超级电容器的研究列为国家重点战略研究项目。1996年欧洲共同体制定了超级电容器的发展计划，日本“新阳光计划”中列出了超级电容器的研制，美国能源部及国防部也制定了发展超级电容器的研究计划。我国国家863计划制定了电动汽车重大专项(2001)超级电容器课题。以下介绍超级电容器储能技术的应用现状。

3.1电车电源

由于超级电容器具有非常高的功率密度，因此可以很好地满足电车在起动、加速、爬坡时对功率的需求，可以作为混合型电动车的加速或起动电源。美国通用汽车公司已将Maxwell Tech-nologies公司生产的Power Cache超级电容器组成并联混合电源系统和串联电源系统用在汽车上。文献[3]研究表明，利用超级电容器与蓄电池并联作电源可以减少

蓄电池的尺寸、重量，并延长蓄电池的使用寿命。

2004年7月，我国首辆超级电容器公交车及其快速充电候车站系统投入试运行。该系统解决了无轨电车带来的视觉污染、机动性差和规划难等问题，以零排放、低噪声的性能，改善了公交汽车尾气排放给城区带来的空气污染，并避免了传统蓄电池的二次污染，延长了使用寿命。

3.2电子类电源

超级电容器不仅可以用作光电功能电子手表和计算机存储器等小型装置的电源，而且还可以用在卫星上。卫星上使用的电源多是由太阳能与电池组成的混合电源，一旦装上了超级电容器，卫星的脉冲通讯能力定会得到改善。由于超级电容器具有快速充电的特性，对于像电动工具和玩具这些需要快速充电的设备来说，超级电容器无疑是一个很理想的电源。文献[4]介绍了在移动通信电源领域，电化学双电层电容器由于具有高功率密度和低能量密度的特性，将主要用来与其他电源混合组成电源，同时还可以用于短时功率后备，用于保护存储器数据。文献[5]研究了利用双电层电容器作为可植入医疗器械的救急电源，由于双电层电容器不需要过渡充放电保护电路以及使用寿命长，将替代传统电池。

3.3电力系统中的应用

高压变电站及开关站使用的绝大多数是电磁操动开关机构，专门配有电容储能式硅整流分合闸装置作为分合闸操作、控制、保护用的直流电源。但是，电容储能式装的电解电容容量有限、可靠性差。文献[6]研究表明，超级电容器保证了分闸能量供应的绝对可靠，同时保留了传统电容储能式硅整流分合闸装置的优点。

UPS往往是在电网断电或电网电压瞬时跌落最初的几秒、几分钟起决定作用，蓄电池在这段时间提供电能。由于蓄电池自身的缺点(需定期维护、寿命短)，使UPS在运行中需时刻注意蓄电池的状态。文献[7]研究了在数据保护的备份系统中，需UPS提供的时间相对较短，这时超级电容的优势尤为明显，其输出电流可以几乎没有延时地上升到数百安培，而且充电速度快，可以在数分钟内实现能量存储，所以在下次电源故障时又可以起用。尽管超级电容器的储能所能维持的时间很短，但当储能时间约在1min时，有无可比拟的优势，具有50万次循环和10a不需护理，使UPS真正实现免维护。

文献[8]提出了基于双电层电容储能的静止同步补偿器(STATCOM)，可用来改善分布式系统的电压质量，特别是在300～500kW功率等级，将逐渐替代传统的超导储能。经济方面，同等容量的双电层电容储能同超导储能装置费用相差无几，但双电层几乎不需运行费用，而超导储能则需相当的制冷费用。

文献[9]介绍了超级电容器在光伏发电中的应用。超级电容器可以在仅高于其漏电流状态下充电，这一特性在与光伏发电中即使在阴天光伏电池也能对超级电容器充电，提高了光伏发电和微弱电流充电的有效性。

2005年，由中国科学院电工所承担的“863”项目“可再生能源发电用超级电容器储能系统关键技术研究”通过专家验收。该项目完成了用于光伏发电系统的300Wh/1kW超级电容器储能系统的研究开发。

变频调速器对电压十分敏感，而由于电网各种故障和操作会出现瞬时低电压现象，利用超级电容器快速充放电的特性，可以实现变频器低电压的跨越，保证变频调速器的正常运行。

2005年美国加利福尼亚建造了一台450kW超级电容器储能装置，用以减小950kW风力发电机组向电网输送功率的波动。在新加坡，ABB公司利用超级电容器储能的DVR装置安装在4MW的半导体工厂，该装置可以实现160ms的低电压跨越。

超级电容器单体的电压低，模块化的也不超过100V，不能直接用于电力系统。可以采用两种方式提高电压等级：将超级电容器直接串联提高电压等级；文献[10]将超级电容器模块连接BoostDC/DC变换器，然后经过逆变器与电网连接，为了实现更高的电压等级，还可以在逆变器与电网间加入升压变压器。第一种方式存在均压的问题，升压范围有限，通常采用第二种方式实现储能和供电。

目前，超级电容器大多用于高峰值功率、低容量的场合，随着超级电容器材料的研发，功率密度和能量密度的不断提高，在电力系统中的应用范围将更加广阔。

4应用中注意的问题

超级电容器具有固定的极性，在使用前应确认极性。超级电容器应在标称电压下使用：当电容器电压超过标称电压时会导致电解液分解，同时电容器会发热，容量下降，而且内阻增加，寿命缩短。超级电容器不可应用于高频率充放电的电路中，高频率的快速充放电会导致电容器内部发热，容量衰减，内阻增加，在某些情况下会导致电容器性能崩溃。

当超级电容器进行串联使用时，存在单体间的电压均衡问题。单纯的串联会导致某个或几个单体电容器过压，从而损坏这些电容器，整体性能受到影响。

5结语

超级电容器的出现，解决了能源系统的功率密度和能量密度之间的矛盾。随着超级电容器的进一步发展，将取代当前电动汽车需频繁充电和更换的蓄电池，而且家用储能超级电容器也有可能实现。太阳能、风能和燃料电池等无污染能源将储存在超级电容器中，不断提供电能，不需要投资大的发电站，也不需要复杂的输送电网，是一种应用再生能源和投资少的节能措施。

原文地址：http://www.china-nengyuan.com/tech/93906.html