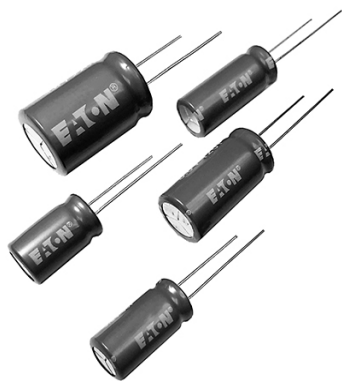




超级电容器的结构和应用

伊顿超级电容器



概述

随着物联网和移动设备的普及，人们对快速充电和可靠能源存储的需求急剧增长。到 2025 年左右，物联网终端装置的数量预计将从目前的 138 亿台暴增到大约 310 亿台，增加一倍多。大规模机器类通信 (mMTC) 具有较低的吞吐量和较小的有效载荷无线连接，以实现高功率、尺寸和成本受限的传感器节点。所有这些设备都不可避免地需要外形小巧的储能系统，以满足物联网节点的运行寿命要求（即 2-10 年），实现几乎无需维护或更换电池的特性。这些平台的传统储能技术通常是使用锂离子或碱性电池技术的扣式超级电容器，或具有高能量密度、高压、小电流放电和快速充电特性的小型储能系统。

数据中心、工业厂房、医疗保健设施以及其他公共场所等大型应用，对停机风险小且环保的优质电源的需求日益增加。针对这些应用，在电源中断的情况下，只需较短备用时间的可靠备用电源即可消除停电和停机可能带来的灾难性后果。尽管电池技术可以满足其中的许多要求，但在快速循环应用中，它们的电量很快就会耗尽，需要使用复杂的电池管理系统 (BMS)，而且还有可能出现热失控，以致安全问题。而双电层电容 (EDLC)（亦称为超级电容器）可提供清洁能源存储解决方案，不会引起安全问题，无需使用重金属，且电源管理更简单。

本白皮书讨论了超级电容器的结构、工作原理以及各种理想应用。

超级电容器的结构

超级电容器概念源于传统电容器。一个基本的电容器将能量存储在两个由非导电区域或绝缘体（例如：玻璃、空气、陶瓷、聚合物膜等）隔离的导电片或电极之间。理想的电容器将相同电荷和相反电荷保存在导体的相对面，而介电质则会形成一个电场。换句话说，电解电容器的能量存储是基于电荷存储在静电场内形成的。

另一方面，超级电容器将电荷存储在电极和电解液之间的界面上；该界面就代表一个电容。由于电极表面上生成了双层电解液离子，所以就可以存储电能。这种双层结构由内亥姆霍兹层 (IHP) 和外亥姆霍兹层 (OHP) 组成。IHP 定义为积聚在电极表面附近的离子（尤其是吸附离子），而 OHP 则将电极中的电量与分布在极化电极附近电解液中的溶解离子和溶剂化离子（非特异性吸附离子）进行匹配。然后，该双层结构被薄薄的单层溶剂分子隔离开，这层溶剂分子在标准电解电容器中相当于绝缘体。双层结构的厚度取决于电解液的浓度、离子大小和溶剂分子的大小。

工作原理

将电压施加到电容端子上时，OHP 和 EDLC 主体之间会形成一个扩散层。这进而又会形成另一个双层结构，在这个双层结构中，对向电极上的 OHP 与扩散层另一侧的 OHP 具有相等和相反的极性。这样一来，两个端接超级电容器就相当于两个串联电容。由于电极表面积比较大，且 IHP 和 OHP 比较薄，超级电容利用电容器背后的基本理论，实质上填补了电池与传统电容之间的能量和功率差距。另一方面，它还采用了一种电化学存储，因为它以“双层电荷”的形式将能量存储在电解液离子与电极之间。

如下面的方程所示，双层电容由于有较大的电极表面积 (S) 和较短的距离 (D)，可实现更高的电容：

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{D}$$

在该方程中， ϵ_0 为真空电容率， ϵ_r 为电介质的相对电容率，S 为电极的比表面积，而 D 则为电极之间的距离。电极通常为活性炭，具有较高比表面积，用于增加表面积。溶剂可取代典型电容器中的电介质，这样它就可以在负电荷和正电荷之间实现非常小的距离（近似于埃数量级）。如果双层结构中的电荷隔离距离较小，那么电压额定值相对就会比较低。但是，设计人员可以将多个 EDLC 串联起来，以满足更高功率应用所需的电压电平要求。此外，超级电容器的充放电速度比电池更快，且存储的电荷也比电解电容器更多。超级电容器往往具有更高的能量密度和更低的功率密度，而电容器则具有更高的功率密度和更低的能量密度。出于上述原因，电容器用作为普通电子电路中的基本构建模块。例如，在电源管理电路中，用于功率因数校正 (PFC)、减少脉动和电容器解耦；在滤波器中，用于 RF 电路。但是，超级电容器则可针对某个特定用途（如能量存储）进行定制。

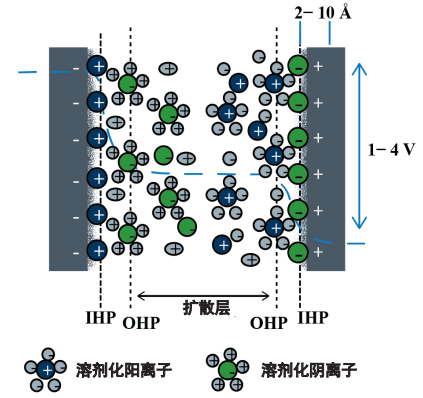


图 1：EDLC 示意图，阐明了由内亥姆霍兹层 (IHP) 和外亥姆霍兹层 (OHP) 组成的双层结构。

超级电容器应用

备用电源

由于其高功率密度和长寿命，超级电容器是任务关键型备用电源应用的理想选择。这些应用由两个主要需求定义，即在断电后能够迅速切换至备用电源，以及在长期备用电源投入使用之前能够维持电源供应。长期备用电源包括传统发电机、天然气涡轮机或氢燃料电池。由超级电容器支持的不间断电源 (UPS) 通常只需几秒钟的备用电源放电，即可为长期电源提供启动时间。

当整合到电子系统中时，超级电容器也可用作备用电源。当主电源不稳定或完全失效时，超级电容器可用于克服电源不稳定，或提供足够的时间来保存关键数据，或使机器处于安全状态。

除了满足快速备用电源的主要参数要求外，超级电容器的另一个优势就是，它比电池（例如：阀控铅酸 (VRLA)、玻璃纤维硫酸水溶液 (AGM) 胶体电池、LIB）更具成本效益、更安全、更清洁且更轻巧。比如，电池为确保在其安全范围内运行，可能需要额外的散热措施。

用于通信的电子元件

从移动手机、无线调制解调器和无线电收发器，到电机、阀门和螺线管，许多应用都需要瞬时功率突增。功率突增既可能发生在能够提供高脉冲电流的大型电池中，也可能发生在由较小能量密集型电池和小型功率密集型超级电容组成的混合储能系统 (HESS) 中。

在 GSM/GPRS 应用中，高达 2A 的电流必须在 0.6 毫秒的传输窗口内，从电源流至收发器，而 LTE 则需要更高功率和更长传输时间。超级电容器可以在使用电池或其他电源进行充电的同时，有效地处理脉冲。该设计其他部件可以保持较低功率，并由其他电源供电，无需使用超大尺寸即可满足无线电通信需求。数码相机需要更大电容，以尽可能地减少放电脉冲期间的电压降。与超级电容器并联使用的碱性电池可通过减少放电期间的电压降来延长电池使用寿命。

电动车辆

在快速增长的运输市场领域，超级电容器开始成为备受青睐的储能介质。在为地铁、火车和公共汽车提供加速动力和回收制动能量方面，它们有着悠久的历史。在电动汽车 (EV) 中，它们既可作为单独的能量存储设备，也可以与电池组合使用，以优化能效、成本和运行时间。由于其出色的热稳定性和较广的工作温度范围，超级电容器可克服困扰锂离子电池的电池漏液、热失控和发动机冷启动故障等问题。再生制动是另一个关键的 EV 应用。超级电容器可以存储并快速释放大容量能量，因此非常适用于捕获以热量形式耗散的动能，并将其转化为电功率，以便为 EV 电池充电。

物联网节点

设备的全球连接是一种将蔓延至“万物”的趋势，从而支持远程监控（有时候还可以控制）设备。这种趋势已经从具有资产/流程监控和工业自动化的工业物联网 (IIoT)，扩展到智慧城市、智能家居和智能电网应用。由于 IoT 设备的激增，出现了许多物联网协议，其中许多协议是由功率限制定义的。例如：低功耗广域网 (LPWAN) 使用有效载荷和数据速率较低的专有窄带调制方案，以扩大传感器节点的范围，并延长其使用寿命。当一家公司准备部署成千上万个传感器节点时，必须谨慎考虑前期资本支出 (CAPEX) 和日常更换电池的运营支出 (OPEX)。由于这个原因，这些平台通常会使用能量收集技术，以尽可能地减少节点维护。

与传统超级电容器相比，混合型超级电容具有较高的能量密度、较高的工作电压以及较低的漏电流和自放电特性，是传统扣式超级电容的良好替代品，同时与传统电池相比还具有较长的使用寿命和循环寿命。采用蓝牙、Zigbee 或 LPWAN（如 LoRaWAN）收发器的传统物联网模块在 2.1 至 3.6 Vdc 电源范围内运行，且通常由最多两节 AAA 电池或一个纽扣电池供电。两节电池的标称电压为 1.5 V，容量范围为 200 至 1250 毫安小时。伊顿的 HS/HSL 超级电容尺寸小巧，可提供 3.8 V 工作电压，500,000 次充/放电循环，且在额定电压和室温条件下的典型使用寿命为 10 年。

伊顿
电子事业部
中国上海市长宁区
临虹路 280 弄 3 号
电话: (86) 21 52000099
Eaton.com.cn/electronics

© 2022 伊顿
保留所有权利
美国印刷
出版物编号: ELX1151 BU-ELX22010
2022 年 2 月

伊顿为注册商标。

所有其他商标均为其各自所有者的财产。

www.eaton.com.cn/electronics

关注我们的社交媒体，
了解最新的产品和支持信息。

