

双向超级电容器充电器集成了备份和平衡功能

Bi-Directional supercap charger Integrates backup & balancing

■ Sam Nork 凌力尔特公司电源产品部波士顿设计中心总监 Steve Knoth 高级产品市场工程师
John Bazinet 科学专家

摘要: 本文介绍了超级电容器, 并对超级电容器与电池进行比较, 分析了电容器设计困境与挑战。本文网络版地址: <http://www.eepw.com.cn/article/281892.htm>

关键词: 超级电容器; 电池; 电源管理

DOI: 10.3969/j.issn.1005-5517.2015.10.016

1 背景信息

超级电容器 (又称为 SCAP、双层电容器等) 不仅仅是电容非常大的电容器。与标准陶瓷、钽或电解质电容器相比, 超级电容器以类似的外形尺寸和重量提供更高的能量密度和更大的电容。随着生产超级电容器的成本持续下降, 同时市场逐步了解超级电容器的功能, 超级电容器正在传统电容器和电池之间开拓出一个日益增长且有利可图的市场。此外, 尽管对待超级电容器需要某种程度上的“小心维护”, 但是在那些要求高电流 / 短持续时间后备供电的数据存储应用中, 它们可为电池起到增补作用 (作为一种可降低主电源所承受之应力从

而延长其寿命的互补电源), 甚至取代电池。再者, 超级电容器还可用在需要大电流突发或短暂电池备份的各种高峰值功率和便携式应用中, 例如 UPS (不间断电源) 系统。与电池相比, 超级电容器以更小的外形尺寸提供峰值功率更大的突发, 在更宽的工作温度范围内提供更长的充电周期寿命。通过降低电容器的 Top-Off 电压和避免高温 ($>50^{\circ}\text{C}$), 可以最大限度延长超级电容器的寿命。参见图 1 和表 1 以了解超级电容器的能量密度以及与其他形式电源的比较。

2 超级电容器与电池比较总结

2.1 电池

- 能量密度高;
- 合理的功率密度;
- 在低温时 ESR 高。

2.2 超级电容器

- 合理的能量密度;
- 功率密度高;
- 低 ESR-甚至在低温时 (-20°C 与 25°C 相比, 提高约 2 倍)。

2.3 超级电容器限制

- 最高终止电压限制到 2.5V 或 2.75V;
- 插入浪涌电流太大;
- 在保持应用中无电流反向保护。

2.4 串联超级电容器优势

- 允许更好地利用能量 $E = 1/2 CV^2$;
- 简化“濒临崩溃”/备份电路;
- 对于 3.3V 备份采用升压而不是降压;

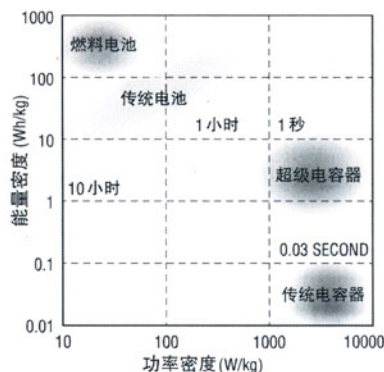


图1 存储组件的能量密度和功率密度

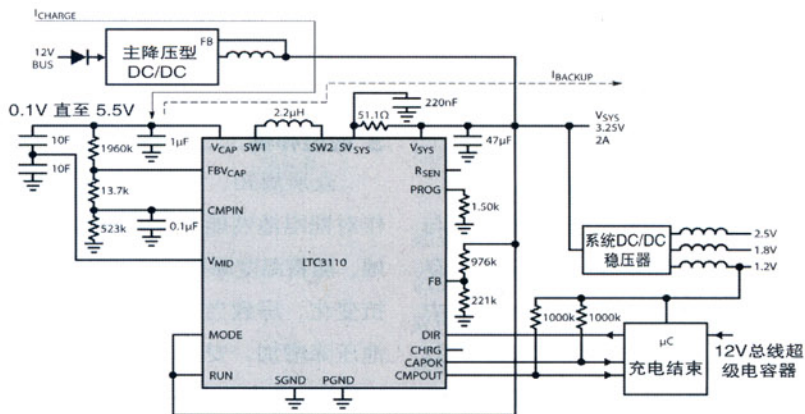


图2 LTC3110 典型应用电路

表1 超级电容器与电容器及电池的比较

参数	超级电容器	电容器	电池
能量存储	能量(单位: 瓦秒)	能量(单位: 瓦秒)	能量(瓦时)
充电方法	端子之间的电压	端子之间的电压	恒定电流和恒定电压
所提供的功率	快速放电、线性或指数电压衰减	快速放电、线性或指数电压衰减	在长时间内保持恒定电压
充电 / 放电时间	毫秒至秒	皮秒至毫秒	1 小时至 10 小时
外形尺寸	小型	小型至大型	小型至大型
重量	1g 至 2g	1g 至 10kg	1g 至 >10kg
能量密度	1 Wh/kg 至 5Wh/kg	0.01Wh/kg 至 0.05Wh/kg	8Wh/kg 至 600Wh/kg
工作电压	每节电池 2.3V 至 2.75V	6V 至 800V	每节电池 1.2V 至 4.2V
寿命	>10 万个周期	>10 万个周期	150 至 1500 个周期
工作温度	-40°C 至 +85°C	-20°C 至 +100°C	-20°C 至 +65°C

• 适合大功率备份、工业温度范围。

2.5 串联超级电容器的潜在问题

- SCAP 可能有容量失配问题;
- SCAP 泄漏失配可能随时间变化引起过压问题 — 电池需要持续平衡;
- SCAP 电容和 ESR 随时间变化下降, 而且不总是以同样的速率下降;
- SCAP 退化随过压和高温而加速。

3 超级电容器设计困境

超级电容器有很多优势, 然而在给串联的能量存储器件充电时, 最终产品设计师可能要面对诸如电池容量平衡、充电时电池过压损坏、过大的电流消耗、解决方案占板面积很大而空间利用率又至关重要等问题。

串联电容器的容量平衡确保每节电池上的电压大致相当。超级电容器的容量不平衡可能导致过压损坏。每节电池配备一个平衡电阻器的外部电路是解决容量不平衡问题的一种办法。平衡电阻器的值将取决于超级电容器的工作温度及其充电 / 放电曲线。为了限制平衡电阻器引起的电流泄漏对超级电容器能量存储的影响, 设计师还可以使用电流非常小的主动

平衡电路。另一个容量失配的原因是泄漏电流不同。电容器的泄漏电流开始时很大, 然后随着时间推移降至较低的值。不过, 如果串联电池之间

的泄漏电流失配, 那么电池一开始再充电就可能过压, 除非设计师用平衡电阻器消除泄漏电流。不过, 平衡电阻器产生不想要的组件和负载电流, 加重了应用电路负担。

4 超级电容器充电器IC设计挑战

在开始设计超级电容器充电方案时, 设计师必须考虑的一些更棘手的问题是以下需求:

(1) 备份能力。超级存储电容器最终要提供存储的能量, 以在主电源轨万一出现故障时提供备份。因此, 通常需要两个单独的电源转换器: 第一个用来给超级电容器充电, 第二个用来保持主电源轨吸取超级电容器中存储的能量。用单个转换器提供这两种功能是最理想的, 但是, 转换器必须双向工作, 检测主电源何时缺失, 并在备份和充电模式之间无缝转换, 同时还要具备很宽的工作范围, 以确保利用所有可用备份能量。

(2) 高效率和大充电电流。高效率、大电流降压-升压型超级电容器充电器 / 平衡器能够包括充分利用超级电容器优势所需的所有功能。而分立式解决方案, 尽管可能, 但是复杂、较大、效率较低、准确度较低。

(3) 高准确度和负载均分能力。

具 $\pm 2\%$ 准确度的输入电流限制和输入负载均分使多个负载能够以最小降额 / 裕度均分同一电源的全部供电能力。这样的功能用分立式解决方案是无法实现的。

(4) 主动平衡。大多数超级电容器系统采用耗能 (电阻器) 平衡方法。主动平衡在电容器之间来回高效运送电荷, 从而消除了功率损耗以及采用耗能方法所需的后续再充电周期。

本文所述解决这些问题的降压-升压型 IC 超级电容器充电解决方案需要具备以下所有性能特点:

- 提供备份电源, 并给超级电容器充电;
- 灵活性 - 必须以升压或降压模式高效地工作;
- 能够以可编程最高电容器电压执行主动充电平衡;
- 提供大充电电流能力;
- 具备准确的可编程平均输入电流限制;
- 占板面积小的扁平解决方案;
- 拥有先进的封装以提高热性能和空间利用效率。

5 一种新型IC满足所有需求

LTC3110 是一款双向、输入电流可编程降压-升压型超级电容器充电器, 具备面向一或两个串联超级电容器的主动充电平衡功能。其专有低噪声降压-升压型拓扑能够完成两个单独的开关稳压器的的工作, 从而减小了解决方案尺寸、成本和复杂性。LTC3110 以两种模式工作, 备份和充电模式。在备份模式, 该 IC 保持系统电压 V_{SYS} 为 1.71V 至 5.25V, 由超级电容器存储的能量供电。此外, 超级

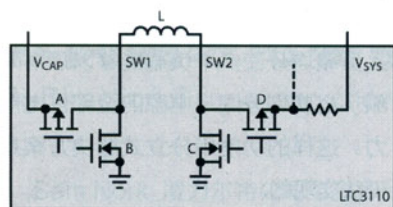


图3 LTC3110 的降压-升压型充电器开关拓扑

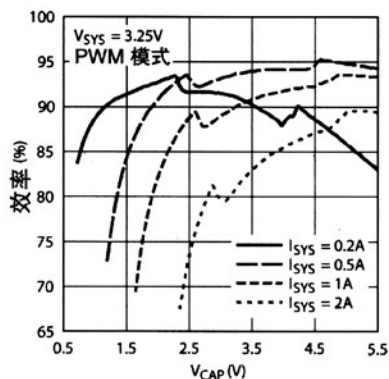


图4 LTC3110 效率随 V_OUT 特性的变化

电容器存储输入 V_{CAP} 具备很宽的 5.5V 直至 0.5V 之实际工作范围。这确保几乎所有超级电容器储存的能量都能得到利用,从而延长了备份时间或者减小了存储电容器尺寸。在充电模式,当主电源系统有效时, LTC3110 可自主(或通过用户命令)和无缝地调转电源流动方向,利用稳定的系统电压实现超级电容器的充电和平衡。通过降压-升压型转换器, V_{CAP} 被高效充电至高于或低于 V_{SYS} , 该器件还具备充电模式平均输入电流限制, 该限制能够以 $\pm 2\%$ 的准确度设定为高达 2A, 从而防止系统电源过载, 同时最大限度缩短电容器再充电时间。参见图 2 所示典型应用电路。

LTC3110 的主动充电平衡消除了外部耗能镇流电阻器的持续泄漏, 从而甚至在电容器失配和再充电周期

较不频繁时, 也可确保平衡地运行和充电。可编程最大电容器电压调节功能主动地对串联电容器组中每个电容器上的电压进行平衡, 并将其限制到 1/2 设定值, 从而确保随电容器老化以及容量逐渐失配而可靠工作。 $R_{DS(ON)}$ 很低、栅极电荷很少的同步开关提供高效率转换, 以最大限度缩短存储组件的充电时间。因此, LTC3110 非常适合给备份电源应用中的大型电容器安全地充电并提供保护, 例如具电池 / 电容器备份的服务器和 RAID 系统以及 RF 系统。

LTC3110 的输入电流限制和最高电容器电压是电阻器可编程的。平均输入电流在 0.125A 至 2A 设定范围内是准确控制的。引脚可选突发模式 (Burst Mode) 工作提高了轻负载效率, 将备用电流降至仅为 $45\mu A$, 停机电流低于 $1\mu A$ 。 LTC3110 的其他特点包括可最大限度减小外部组件尺寸的 1.2MHz 高开关频率、热过载保护、用于方向控制和充电终止的两个电压监察器以及一个具集电极开路输出、用于连接 μC 或 μP 的通用比较器。 LTC3110 采用紧凑的耐热性能增强型 24 引线 4mm x 4mm QFN 和 TSSOP 封装, 两种封装版本都在 $-40^\circ C$ 至 $+150^\circ C$ 的 H 级工作温度范围内工作。

总之, LTC3110 的主要特色是:

- V_{CAP} 工作范围: 0.1V 至 5.5V;
- V_{SYS} 工作范围: 1.71V 至 5.25V;
- 从充电模式到备份模式自动切换;
- 范围为 125mA 至 2A、准确度为 $\pm 2\%$ 的可编程充电输入电流限制;
- $\pm 1\%$ 备份电压准确度;
- 自动电容器容量平衡;

- 以固定 1.2MHz 频率切换;
- 突发模式工作: $45\mu A I_Q$;
- 具集电极开路输出的额外可编程多用途比较器;
- 集电极开路输出指示工作方向和充电终止;
- 扁平 TSSOP-24 和 4mm x 4mm QFN-24 封装。

6 高效率充电

专有开关算法在工作模式之间提供无缝转换, 在所有工作区内消除了平均电感器电流、电感器电流纹波以及环路传输函数的不连续性。与传统的 4 开关降压-升压型转换器相比, 这些优势导致效率提高、环路稳定性增强以及 V_{SYS} 电压纹波减小。实现降压-升压型充电器的开关拓扑如图 3 所示。

两个开关 (C 和 D) 连接 SW2 至 V_{SYS} , 以在整个输出电压范围内提供高效率。 LTC3110 有非常高的效率, 几乎达到 95%, 如图 4 中的曲线所示。

7 结论

LTC3110 是一款双向、平均输入电流受到控制的降压-升压型 DC/DC 超级电容器充电器 / 稳压器, 采用了专有开关算法, 从而使其输出能够调节至高于、低于或等于输入电压。该器件由一个芯片组成, 提供了紧凑、强大和灵活的解决方案。 LTC3110 在通用封装中集成了高效率超级电容器充电、备份调节以及容量平衡 / 保护功能, 从而很容易适合多种系统配置。这显著地简化了以前非常困难的设计任务。 **5W**