

## 应用指南

# 超级电容器——应用设计指南



RENÉ KALBITZ&FRANK PUHANE

## 1 概要

超级电容器 (SC) 是易于使用的储能设备, 在许多方面都可与电池媲美。它们可以由任何限流电源充电, 驱动任何电子设备。[1,2,3] 与其他任何储能系统一样, 超级电容器需要借助基础设施来存储和输送能量。在本应用指南中, 将讨论如何将电容器用作简单的储能设备, 并说明如何计算充电以及工作时间。我们以电路设计为例进行说明, 该电路设计允许在非理想条件下为电容器充电以及为电子设备供电。

## 2 引言

超级电容器 (SC) 一词被广泛使用。但是, 这它往往容易混淆, 因为它表示整个电容式储能技术。[1] 在我们目前的产品组合中, 超级电容器的正确术语是双电层电容器 (EDLC)。在本应用指南中, 这两个术语同义。

充电和放电时, 超级电容器具有两个需要考虑的属性。首先, 与电池不同, 超级电容器的电压取决于其充电状态。因此, 一旦超级电容器充电或放电, 端子上的电压就会增加或减少。就放电来说, 该特性无疑是不利的, 因为电子设备应用需要恒定的工作电压。

- 其次, 超级电容器可以用相对较高的电流充电, 这可能会导致电源出现半短路状态。稍后, 我们将讨论在两种不同的工作模式下超级电容器的正确用法: 恒定电流和恒定电压充电。
- 尽管超级电容器的设计过程可能因情况而异, 但必要考虑以下问题:
- 根据预期的功率需求计算所需的能量容量。

根据负载的规格测定所需的电容  $C$ , 包括 DC-DC 转换效率以及最低工作电压和充电电压。

确定充电方式并计算相应的充电时间。在恒压充电的情况下, 请根据功率的规格选择保护电阻。

没有适用于任何情况的简单准则; 但是, 我们将解决最重要的方面。在详细地讨论实际应用示例之前,

- 电源可以在其最大输出电流下安全运行, 其中

我们首先提供一些理论背景。

## 3 理论背景

### 3.1. 能量容量

在设计过程开始时需要考虑的一个重要的量是所需能量。换句话说, 我们需要计算能量  $E = P \cdot t$ , 其中  $P$  是总功率需求,  $t$  是运行时间。<sup>1</sup>

下一步, 能量需要与超级电容器的能量容量相关, 即与其电容容量相关。

存储在电容为  $C$  的超级电容器中的可用电能  $E$  的计算公式为:

$$E = \frac{1}{2} \cdot C \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (\text{公式 1})$$

其中  $V_1$  表示充电电压,  $V_2$  表示截止电压。请注意,  $V_1$  不一定是额定电压  $V_r$ , 而是超级电容器的实际电池电压。即使没有具体数字, 上述等式也传达出重要信息。仅充电至其额定电压的 1/2 的超级电容器只能容纳其全部能量容量的四分之一。因此, 为了充分利用存储容量, 重要的是要确保电容器充满电。在理想情况下, 超级电容器的充电电压为  $V_1 = V_r$ , 并且在工作期间完全排空至  $V_2 = 0V$ 。

由于这种电压依赖性, 了解周围电路中 DC-DC 转换器的参数很重要。知道了这些参数, 就可以用以下公式计算超级电容器电容容值:

$$C = \frac{2 \cdot E}{(V_1^2 - V_2^2)} \quad (\text{公式 2})$$

此时, 根据其他要求 (例如实际尺寸、额定温度等) 从产品目录中选择超级电容器。一旦知道了超级电容器的电容和内阻, 就可以计算充电和放电特性。

### 3.2. 充电方式

理论上, 超级电容器既可以用恒定电压源充电, 也可以用恒定电流源充电。无论使用哪种电源, 实际上所有功率单元都将具有最大电流输出。因此, 我们可以区分两种情况:

电源可确保自身安全运行。

<sup>1</sup> 如果功率  $P(t)$  是时间的函数, 则能量的计算公式为  $E = \int P(t) dt$ 。

## 应用指南

## 超级电容器——应用设计指南



- 电源无法在不损坏电源本身或电容器的情况下以其最大额定电流驱动，因此需要某种形式的电流限制。

在第一种情况下，电源在其上限电压  $V_r$  的恒定电流条件下工作。在后一种情况下，电源需要作为恒定电压源工作。

在第一种情况下，超级电容器的设计相对简单，因为只需设置恒定电流和功率单元的输出电压即可满足超级电容器的要求。实际执行该设置的方式取决于所使用的电源设备，因此在本应用指南中不进行讨论。稍后我们会关注恒流条件下超级电容器的充电。

下一节将讨论使用恒定电压的设计。

### 3.3. 恒定电压充电 (CVC)

如果电源无法处理容性负载，则必须通过保护电阻器限制电流。

IEC 62391 标准建议使用与超级电容器串联的  $R_p = 1k\Omega$  的保护电阻，如图 1 所示。如果受到电源的限制，则有必要偏离此标准以缩短有效充电时间。在本应用指南中，我们还可以将  $R_p$  称为寄生电阻，以模拟所有与超级电容器串联连接的触点和电缆引起的“不

必要的”电阻。

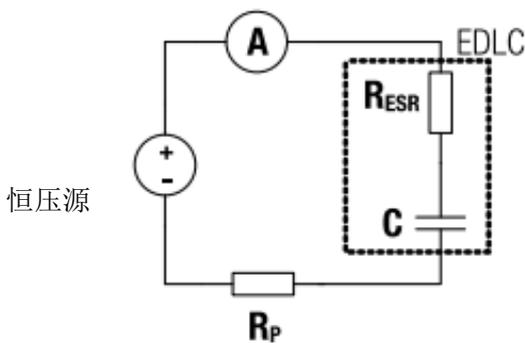


图 1：使用恒压源为电容器充电的典型电路

使用恒定电流源无需保护电阻。IEC 62391 建议  $R_p = 1k\Omega$ 。  $R_p$  也可用于建模串联寄生电阻。在讨论保护电阻的计算之前，我们将简要回顾一下在恒定电阻条件下超级电容器的电压时间关系（充电特性）。

如果通过理想电压源以额定电压  $V_r$  对已放电的超级电容器进行充电，则电池超级电容两端电压  $V$  和充电时间 ( $t$ ) 的关系表示为

$$V(t) = V_r \cdot \left( 1 - e^{-\frac{t}{(R_{ESR} + R_p) \cdot C}} \right) \quad (\text{公式 3})$$

图 2 中给出的相应充电特性曲线图说明 RC 电路电容两端的电压随充电时间呈指数增加。上限是充电电压，它等于额定电压  $V_r$ 。相应的充电电流（图 2）通过以下公式计算：

$$I(t) = \frac{V_r}{(R_{ESR} + R_p)} \cdot e^{-\frac{t}{(R_{ESR} + R_p) \cdot C}} \quad (\text{公式 4})$$

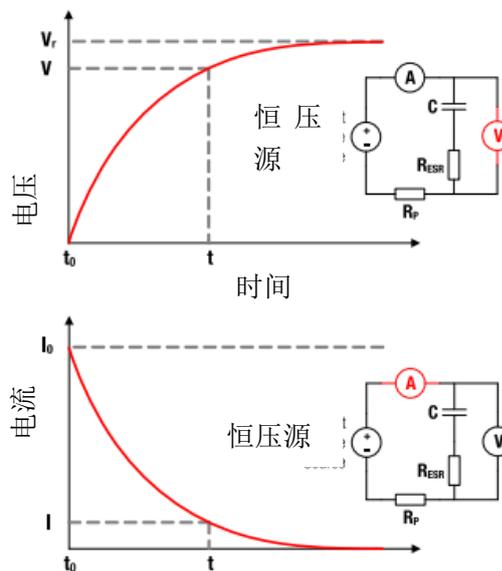


图 2：恒定电压源对电容器的充电特性

该电阻-电容时间常数由下式给出

$$\tau = (R_{ESR} + R_p) \cdot C \quad (\text{公式 5})$$

如果电容器剩余电压  $V_0$ ，则可通过以下公式计算有效充电时间  $t_c$ ：

$$t_c = \tau \cdot \ln\left(\frac{V_r}{V_r - V_0}\right) = (R_{ESR} + R_p) \cdot C \cdot \ln\left(\frac{V_r}{V_r - V_0}\right) \quad (\text{公式 6})$$

## 应用指南

### 超级电容器——应用设计指南



对于初始的电容器，可以通过  $t_c = 2 \cdot \pi \cdot \tau = 2 \cdot \pi \cdot (R_{ESR} + R_p)$  很好地估算达到 99% 充电电压的充电时间。可以根据自己的想法更改此近似值，但是使用  $2 \cdot \pi \approx -\ln(1 - 0.998...)$  具有的优点是，充电时间  $t_c$  对应电阻-电容单元的截止，通常定义为

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{t_c} \quad (\text{公式 7})$$

由于 ESR 通常约为  $m\Omega$ ，因此电阻-电容时间很容易受  $R_p$  支配，视情况而定， $R_p$  可以视为寄生电阻或保护电阻。因此，充电电流以及随后的充电时间可以通过保护电阻器来调节。

对于包含  $R_p$  的电路（图 2），充电电流定义为

$$I = \frac{V_r - V}{R_{ESR} + R_p} \quad (\text{公式 8})$$

$V_r - V$  是电源的充电电压（在这里为  $V_r$ ）与超级电容器端子上的电压之间的电压差  $V = V(t)$ 。通过重新排列  $R_p$  的方程式（公式 8），我们得出

$$R_p = \frac{V_r - V}{I} - R_{ESR} \quad (\text{公式 9})$$

利用该方程式，我们可以确定所需的最小保护电阻。

上述公式中的电流  $I$  可以解释为最大允许电流。它由功率单元的上限电流或超级电容器的最大额定电流决定（见规格书）。其他值例如  $C$ 、 $V_r$  和  $R_{ESR}$  也都在规格书中给出。

应该注意的是，根据以上超级电容在理论上是在短路条件下工作。在指定的电流极限以上运行超级电容器可能不会立即导致致命故障，但会导致组件的预期寿命大大缩短。

公式（公式 8）还示出了可以给超级电容器充电的最大电流取决于  $V_r - V$ 。换句话说，电池电压的升高总是伴随着最大充电电流的降低，而这种降低的幅度或“强度”由  $1 / (R_{ESR} + R_p)$  决定。

#### 3.4. 恒流充电 (CCC)

如上所述，另一种充电方式利用恒定电流源  $I_c$ 。我们引入下标  $c$ ，以阐明电源可以有效地使电流保持恒定。使用具有有源电流调节功能的电源的实际优势是不需要额外的保护电阻。

如果通过恒流源  $I_c$  对超级电容器充电，则两端上的电压为

$$V(t) = \frac{I_c}{C} (t - t_0) + V_0 \quad (\text{公式 10})$$

$V_0$  表示电容器的残余电压。图 3 中的示意图说明了线性电压对充电时间的依赖性。

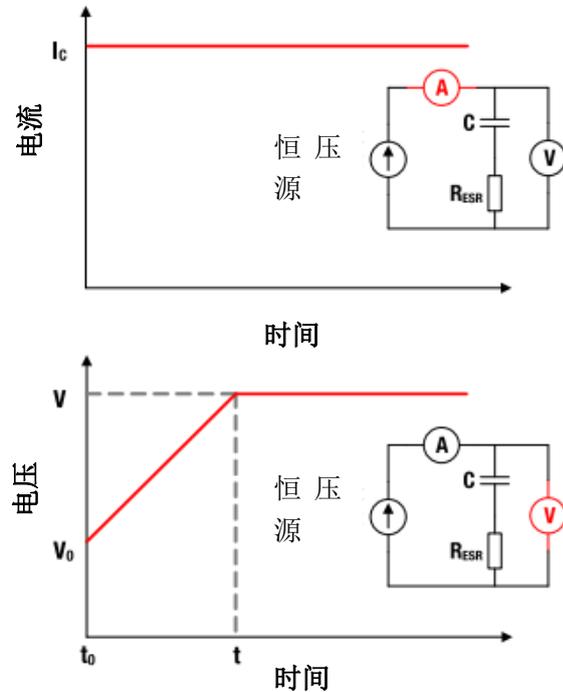


图 3：使用恒流源的充电特性

$V = V(t)$  是超级电容器两端上的电压，它以恒定电流充电。简单起见省略下标。假设电容器已充满电 ( $V(t) = V_r$ )，则恒定电流状态下的充电时间可通过以下公式计算：

$$t_c = \frac{C}{I_c} \cdot (V_r - V_0) \quad (\text{公式 11})$$

恒流充电时的充电时间与  $C$  成正比，与  $I_c$  成反比。因此，充电电流加倍会使充电时间减半，而  $C$  则加倍会使充电时间加倍。

正如在公式（公式 8）的讨论中提到的，只要施加的电压不大于  $V_r$ ，恒流充电模式

## 应用指南

### 超级电容器——应用设计指南

就不可能将电容器充电至 100%。在某个点  $I_c \cdot (R_{ESR} + R_p)$  将大于  $V_r - V(t)$ 。因此，基于充电电流和总串联电阻，有效充电时间可能明显长于用公式（公式 11）计算的时间。在这种情况下，必须用公式（公式 6）计算充电时间。重要的是保持电阻损耗尽可能低。

#### 3.5. 放电过程

对于放电过程，我们通常可以区分以下三种情况：

恒功率放电，

恒定电阻放电和

恒定电流放电。

在示例应用中，我们使用升压转换器，该转换器以恒定功率  $P_c$  使超级电容器放电。讨论重点放在这种情况下。为了简单起见，我们将假定应用功率  $P_c$  是恒定的，并且升压转换器的工作效率为 100%。

容值为  $C$  的超级电容器将保持一定的电压  $V_0$ 。在以恒定功率  $P_c$  放电后，电压下降至

$$V(t) = \sqrt{V_0^2 - \frac{2 \cdot P_c}{C} (t - t_0)} \quad (\text{公式 12})$$

$V = V(t)$  是超级电容器两端上的电压，它以恒定功率放电。为了简单起见，可以再次省略。使用关系式  $P_c = V \cdot I$  得到相应电流的表达式

$$I(t) = \frac{P_c}{\sqrt{V_0^2 - \frac{2 \cdot P_c}{C} (t - t_0)}} \quad (\text{公式 13})$$

相应的电压和电流特性见图 4。

将超级电容器从  $V_0$  放电到  $V$  所需的时间用下式计算

$$t_{dis} = (t - t_0) = \frac{C}{2 \cdot P_c} \cdot (V_0^2 - V^2) \quad (\text{公式 14})$$

放电时间以及上面的提到的充电时间均取决于容值且呈线性关系，例如：电容加倍，充放电时间加倍。但是放电时间与放电功率的关系成反比，即放电功率加倍，放电时间减半。在示例中，采用的升压转换器以  $P_c \approx 0.75 \text{ W}$  的恒定功率将超级电容器从  $V_r = 2.7 \text{ V}$  放电到其截止电压  $V = 1 \text{ V}$ 。根据上式，该过程所需的时间为

$$\frac{100 \text{ F}}{2 \cdot 0.75 \text{ W}} ((2.7 \text{ V})^2 - (1 \text{ V})^2) \approx 420 \text{ s} \quad (\text{公式 15})$$

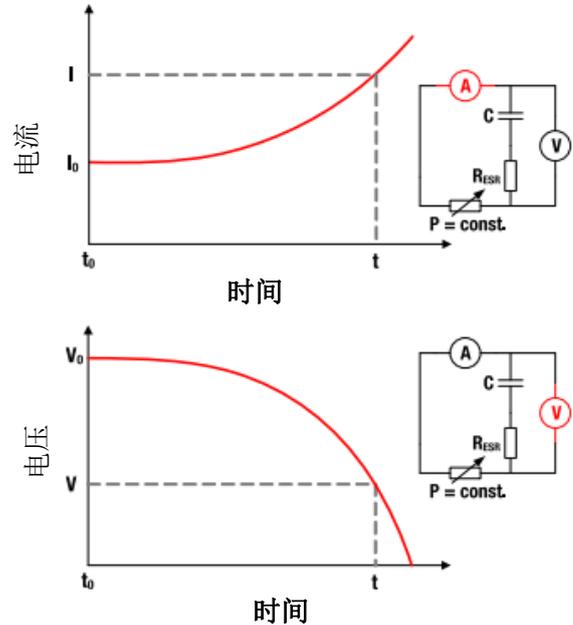


图 4：恒定功率放电的超级电容器单元的电流（顶部）和电压（底部）特性。

## 4 应用示例

### 4.1. 电路

在应用示例中有一种情况，其中实际电源和应用在高于超级电容器额定电压的电压下工作。因此，我们使用降压转换器进行充电，并使用升压转换器为实际测试应用供电，这是一种以简单 LED 面板作为负载的无线功率发射器。我们想要证明在这些实际条件下，超级电容器可以用作备用电源，能够使应用程序运行约 5 分钟。

电源使用了罗德与施瓦茨（Rohde & Schwarz）的 HMP4040 可编程电源，它为降压转换器（即恒流源）提供了 12 V（直流）的电压。降压转换器（评估板：178004）即使在实际电源工作电压大于  $V_r$  的条件下，也可以为超级电容器进行恒定电流充电。升压转换器（模拟设备的同步升压转换器 LTC3402）提供测试应用所需的功率，在这种情况下使用 LED 面板。升压转换器和 LED 面板之间的电源通过无线电力单元传输。更多详细信息见图 5。

## 应用指南

## 超级电容器——应用设计指南

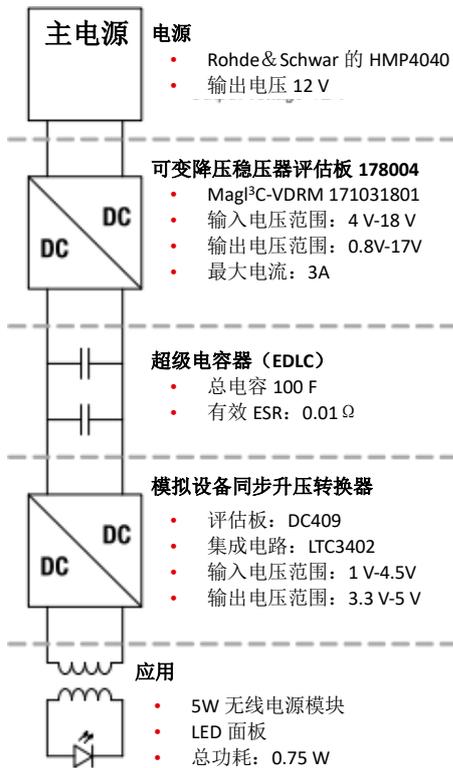


图 5: 应用示例

电流和电压特性使用 Rohde & Schwarz 的 HMC 8012 数字万用表测量, 并通过定制的 LabView 程序进行操作。

对于下面介绍的在充电和放电过程中电压和电流特性的测量, 分别将降压转换器或升压转换器与超级电容器单元断开连接。

#### 4.2. 充电过程

由于我们打算以大约  $t = 5$  分钟的时间驱动功耗约为  $P = 0.8 \text{ W}$  (包括转换损耗) 的应用, 因此我们需要的总电量为  $E = P \cdot t = 0.8 \text{ W} \cdot 300 \text{ s} = 240 \text{ 焦耳} = 0.067 \text{ 瓦时}$ 。由于所用转换器的充电电压为  $2.7 \text{ V}$ , 因此至少需要电容

$$C = 2 \cdot \frac{E}{V_1^2 - V_2^2} = 2 \cdot \frac{240 \text{ J}}{(2.7 \text{ V})^2 - (1 \text{ V})^2} \approx 76 \text{ F} \quad (\text{公式 16})$$

(为  $C$  重新整理 (公式 1))

在我们的示例中, 我们为两个并联的电容器充电, 每个电容器的电容为  $50 \text{ F}$ 。因此, 整个超级电容器单元的总电容为  $100 \text{ F}$ , 额定电压为  $2.7 \text{ V}$ 。由于最小所需电容为  $76 \text{ F}$ , 因此单位将提供足够的能量容量。由于两个超级电容器是并联的, 因此该单元的有效 ESR 可通过以下方式计算:

$$\frac{1}{R_{\text{ESR}}} + \frac{1}{R_{\text{ESR}}} = \frac{2}{R_{\text{ESR}}} \quad (\text{公式 17})$$

利用规格书中的值, 我们可以获得有效的串联电阻  $R_{\text{ESR}} / 2 = 0.01 \Omega$ 。为了减少变量, 我们将此值称为等效串联电阻  $R_{\text{ESR}}$ 。

使用降压转换器 (电流源) 充电, 将  $12 \text{ V}$  的直流输入电压转换为  $2.7 \text{ V}$  的直流输出电压。使用此电源的优势在于它可以连续输出  $3 \text{ A}$  的最大电流。因此, 在该布局中不必使用保护电阻。测量之前, 超级电容器单元已充满电, 然后按照 IEC 62391 标准的建议放电。由于我们的升压转换器的输入截止电压为  $1 \text{ V}$ , 因此我们选择的残余电压约为  $1 \text{ V}$ 。对此我们打算提供一个更实际的工作示例。在充电过程中, 负载已断开连接。

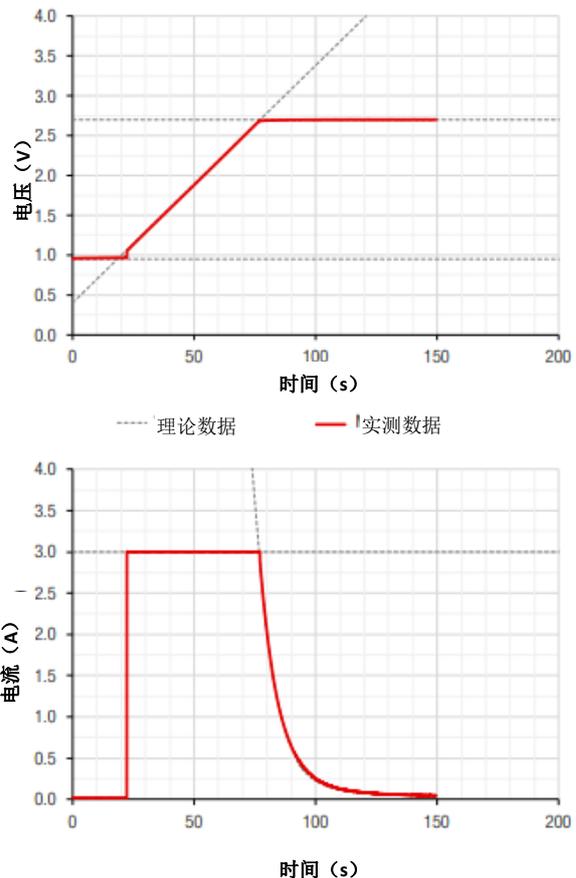


图 6: 恒流充电的超级电容器单元的电压 (顶部) 和电流 (底部) 特性。恒定电流充电周期随后是恒定电压充电。

图 6 显示了超级电容器单元在  $0.95 \text{ V}$  至  $2.7 \text{ V}$  的恒定电流下充电时的充电特性。图表理论计算使用参数  $R_{\text{ESR}} + R_p = 0.08 \Omega$ ,  $C = 100 \text{ F}$ ,  $V = 2.7 \text{ V}$ 。

## 应用指南

## 超级电容器——应用设计指南

电压从残留电压 0.95 V 线性增加到约 2.7 V，在这段时间（持续约 32 秒至 86 秒）中，电流恒定为 3 A。此过程的充电时间计算为

$$\frac{100 \text{ F}}{3 \text{ A}} (2.7 \text{ V} - 0.95 \text{ V}) \approx 53 \text{ s} \quad (\text{公式 18})$$

从充电电流的指数下降中看出，该恒定电流充电过程之后是恒定电压充电过程。该现象已在引言中提到，充电电压和施加电压之间的压差变得小于  $\Delta V = I_c \cdot (R_{\text{ESR}} + R_p)$  时发生。因此，第二步的充电时间约为 30s，可以用  $(R_{\text{ESR}} + R_p) \cdot C \cdot \ln(V_r / 0.002) / \Delta V$  计算。 $R_p$  是一个估算值，不容易直接测量。我们通过上述方程式确定，发现寄生电阻约为  $R_p \approx 0.07\Omega$ 。然而，在许多情况下，最实际的方法是在设计阶段进行测试。

我们想说，由于导线和触点的寄生电阻，所测得的电压并不完全是超级电容器单元的电压。出于这个原因，在第二个恒定电流充电过程中，电压图显示了一个几乎恒定的 2.7 V 值，但没有显示出明显的指数增加。

除了  $R_p \approx 0.07\Omega$  的这种寄生电阻外，所有其他用于计算的值都与 SC 的技术参数进行了比较。由于该设置仅出于演示目的而开发，因此重点放在了模块化且方便设计上。

如上所述，图 6 所示的电流和电压曲线是在负载与超级电容器单元断开连接的情况下测量的。因此，当电容器接近其完全充电状态时，电流读数降至零。但是，在实际的工作条件下，由于 0.75 W 的恒定功耗，负载将导致恒定的电流消耗，如图 7 所示。在这里在给超级电容器充电时，电流趋向于

$$0.28 \text{ A} = \frac{P_c}{V} = \frac{0.75 \text{ W}}{2.7 \text{ V}} \quad (\text{公式 19})$$

（替代如图 7 所示的 0A）。充电时间和电压特性与上面讨论的相同。在本节中，我们显

示了如何将给定示例的充电过程描述为两步过程，以及在这种情况下如何计算充电时间。

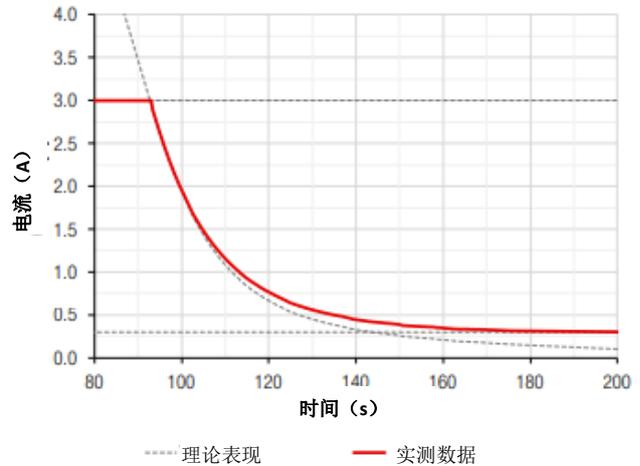


图 7：截止电流为 0.3 A 时的充电电流

在下一节中，本应用指南重点讨论放电过程。我们还将测量的数据与理论模型进行比较，并说明如何计算放电时间。

#### 4.3. 放电过程

在我们的示例中，利用的升压转换器将超级电容器从  $V_0 = 2.7 \text{ V}$  放电到其截止电压  $V = 1 \text{ V}$ 。它以 5 V 的电压驱动少量 LED 阵列的无线电源发射器，电源消耗大约 0.75W。重要的是要考虑转换损耗，这会导致功耗的整体增加。这些转换效率通常不是恒定的，而是随输入电压、环境温度以及其他设计因素而变化的。

在我们的示例中，当转换器接近其 1 V 截止电压时，效率从 2.7 V 时的 90% 下降到大约 70%。为了获得准确的物理模型，必须用一个适当的函数  $P_c(V)$ 。不详细讨论这种效率依赖性，因为这是技术性问题，无益于对放电过程的更深入了解。

为了简单起见，我们将使用  $P_c = 0.75 \text{ W}$  的平均功率输出，计算公式为

$$P_c = \frac{1}{\Delta t} \int P(t) dt. \quad (\text{公式 20})$$

函数  $P(t)$  是根据转换器和 LED 阵列的总体电流和电压曲线通过实验确定的。

由于已经基于平均功率输出进行了计算，因此，随着超级电容器的放电，图 8 中的电流曲线越来越偏离理论曲线。根据上式，该放电过程所需的时间为

$$\frac{100 \text{ F}}{2 \cdot 0.75 \text{ W}} ((2.7 \text{ V})^2 - (1 \text{ V})^2) \approx 420 \text{ s}. \quad (\text{公式 21})$$

与测得的电压非常吻合。

## 应用指南

## 超级电容器——应用设计指南

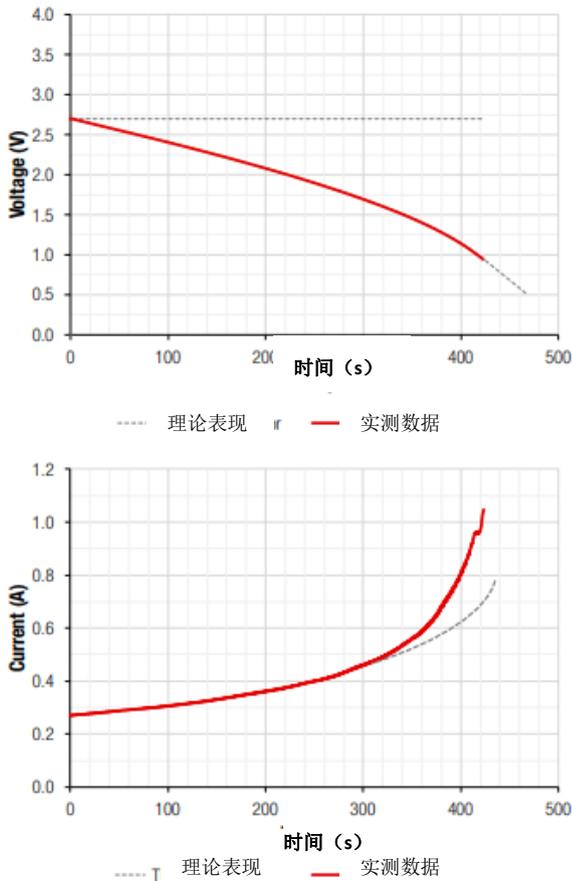


图 8: 恒定功率放电的超级电容器单元电压（顶部）和电流（底部）特性。虚线表示理论上的放电曲线。红线显示实际测量数据。

## 5 结论

本应用指南中所述的操作过程是定义超级电容器充电/放电电路的蓝图。我们已经论证超级电容器如何根据应用充当中间电源单元。当电源波动时，超级电容器可以保持电压稳定。而且我们可以根据应用需要的能量来计算容值，据此来选择合适的超级电容。我们定义两个充电过程。最初，电容器以恒定电流充电，直到达到一定的充电阈值后，随后以恒定电压充电。

我们论证作为恒功率放电的升压转换器的放电过程。

## 应用指南

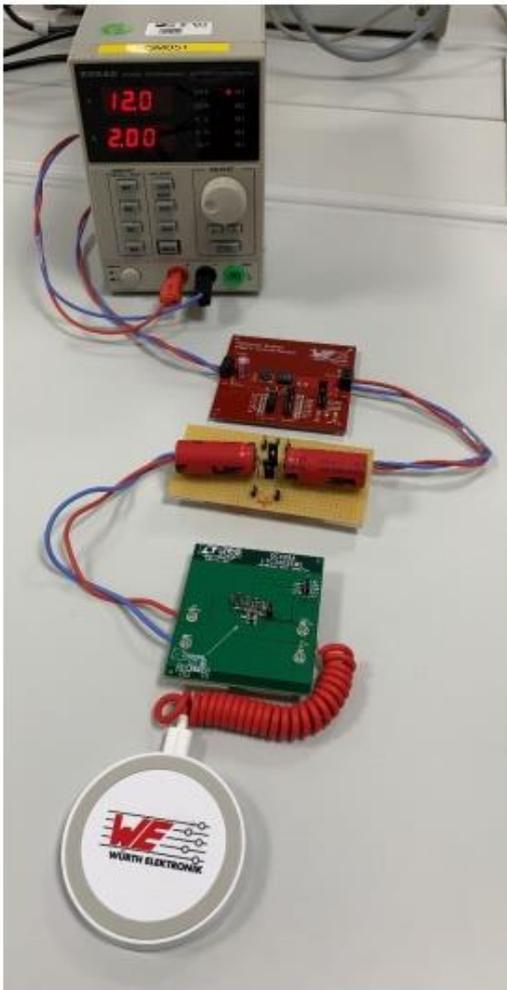
### 超级电容器——应用设计指南



#### A. 附录

##### A.1. 完整应用

图 9：带有电源转换器、超级电容器组和带有负载的电源完整应用的图片。



##### A.2. 参考资料

- [1] F. Beguin, E. Frackowiak (主编), 《超级电容器材料、系统和应用》, WILEY-VCH 出版社 (2013)
- [2] B. E. Conway, 《电化学超级电容器、科学基础和技术应用》, 纽约克鲁维尔学术/全会出版社 (1999 年)
- [3] N. Kularatna, 《电子系统的能量存储设备 (可充电电池和超级电容器)》, Elsevier (2015)

## 应用指南

### 超级电容器——应用设计指南



#### 重要声明

本应用指南基于我们对这些领域典型要求积累的知识和经验。它是一般性指南，不应被视为伍尔特电子集团对客户应用适用性的承诺。本文中的信息如有更改，恕不另行通知。未经书面许可，不得翻印或复制本文档及其部分内容，不得将其内容透露给第三方，也不得将其用于未经授权的用途。

伍尔特电子集团及其子公司和分支机构（伍尔特电子）不对任何形式的应用支持承担责任。客户可以在其应用和设计中使用伍尔特电子的帮助和产品建议。伍尔特电子产品在特定客户设计中的适用性和使用责任始终完全在客户自己。基于这一事实，客户应在适当时自行评估和研究，判断具有产品规格中所述特定产品特征的设备是否有效，以及是否适合相应的客户应用。

技术规格见产品最新规格书。顾客应使用规格书，并注意确认最新规格书。可以从 [www.we-online.com](http://www.we-online.com) 下载。客户应严格遵守所有产品特定的说明、注意和警告。我们保留对产品和服务进行更正、修改、增强、改进和其他更改的权利。

伍尔特电子不保证或代表任何基于与伍尔特电子产品或服务使用的任何组合、机器或过程有关的任何专利权、版权、屏蔽作品权或其他知识产权，以

及以明示或暗示的方式授予的许可。伍尔特电子发布的有关第三方产品或服务的信息并不代表伍尔特电子授予的使用此类产品或服务的许可证、保修书或认证。

伍尔特电子产品不可用于对安全有严格要求的应用，或合理预期产品故障会导致严重的人身伤害或死亡的用途。此外，伍尔特电子产品不应用于军事、航空航天、航空、核控制、潜艇、运输（汽车控制，火车控制，船舶控制）、交通信号、防灾、医疗、公共信息网络等领域。客户应在进入设计阶段之前告知伍尔特电子有关此类用途的意图。在某些要求高安全性的客户应用中，电子组件的故障或故障可能危及人类生命或健康，客户必须确保他们在应用安全和法规后果方面具有所有必要的专业知识。客户承认并同意，无论伍尔特电子提供与应用程序相关的任何信息或支持，他们将对与其产品以及对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品有关的所有法律、法规 and 安全性要求承担全部责任。

客户应就在对安全有严格要求的应用中使用伍尔特电子产品造成的损害，对伍尔特电子进行赔偿。

#### 相关链接



应用指南

[www.we-online.com/app-notes](http://www.we-online.com/app-notes)



**REDEXPERT** 设计工具

[www.we-online.com/redexpert](http://www.we-online.com/redexpert)



工具箱

[www.we-online.com/toolbox](http://www.we-online.com/toolbox)



产品目录

[www.we-online.com/products](http://www.we-online.com/products)

#### 联系信息

[appnotes@we-online.com](mailto:appnotes@we-online.com)

电话: +49 7942 945 - 0



伍尔特电子集团

德国 Max-Eyth-Str. 1, 74638 Waldenburg

[www.we-online.com](http://www.we-online.com)

