

S6AE101A、S6AE102A 和 S6AE103A 进行能量收集时的能量计算

作者: Hiroyuki Takada

相关器件系列: S6AE101A, S6AE102A, S6AE103A

相关资料: [S6AE101A](#), [S6AE102A](#), [S6AE103A](#) 数据手册

本应用手册说明了当能量转换器件的输出电能很小时，能量收集系统的能量计算。

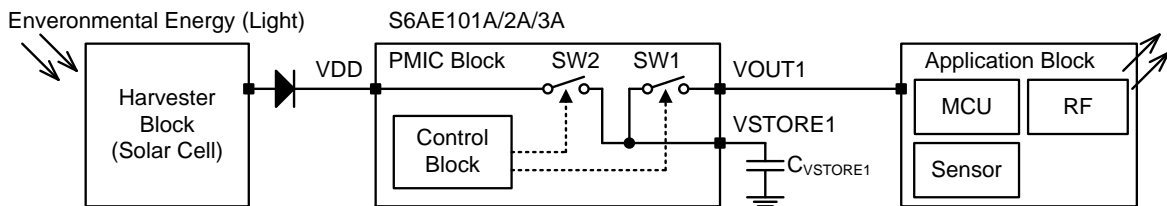
1 简介

通过室内用太阳能电池等能量采集器能够收集到的能量很少，因此对依赖于能量收集解决方案的系统需要进行基于能量收支计算的低电力动作设计。

1.1 能量收集系统

S6AE101A/2A/3A 是可通过超小型太阳能电池运行的能量收集用 PMIC (Power management IC: 电源 IC)。Figure 1 所示为采用 S6AE101A/2A/3A 的能量收集系统实例。

Figure 1. 采用 S6AE101A/2A/3A 的能量收集系统实例



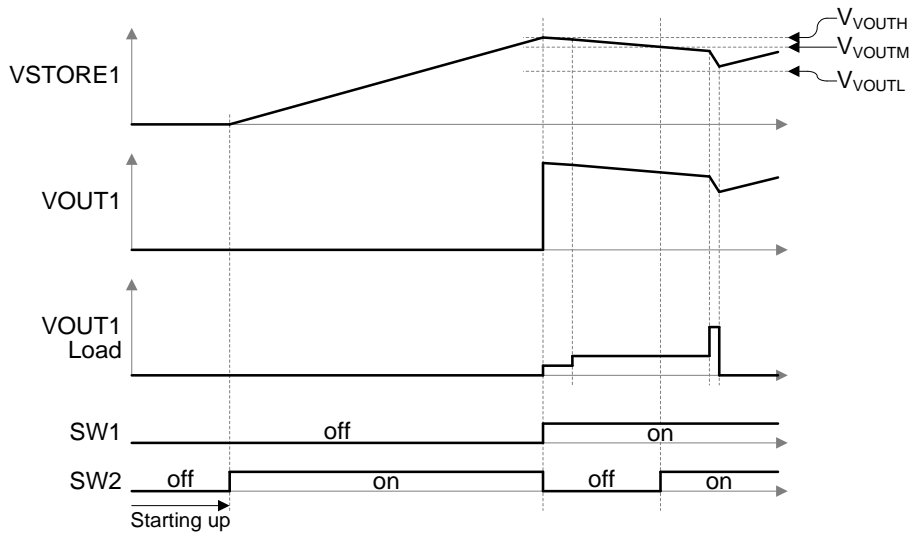
通过能量采集器收集到的能量是有限的，因此需要将其在电容器 ($C_{VSTORE1}$) 中蓄电。大容量电容器需要很长时间进行能量充电。也就是说，系统无法频繁运行。但另一方面，如果容量过小，因为应用模组的原因，能量蓄电不充分。因此，电容值的确定至关重要。

本 PMIC 针对应用模组配备了功率门控开关 SW1。一旦 VSTORE1 端子电压达到 VOUT 上限电压 (V_{VOUTH})，则通过 SW1 连接 VSTORE1 端子与 VOUT1 端子间的路径，至达到 VOUT 下限电压 (V_{VOUTL}) 为止 (见 Figure 2)。

本 PMIC 为高效蓄电配备了 SW2。内部电源启动 (Starting up) 后，VDD 端子与 VSTORE1 端子间的路径以 SW2 连接。VSTORE1 端子的电压超过 V_{VOUTH} 时，将路径切断。VSTORE1 端子的电压低于输入电源再连接电压 (V_{VOUTM}) 时，SW2 连接其路径 (见 Figure 2)。

详情请参考 [S6AE101A](#), [S6AE102A](#) 和 [S6AE103A](#) 数据手册。

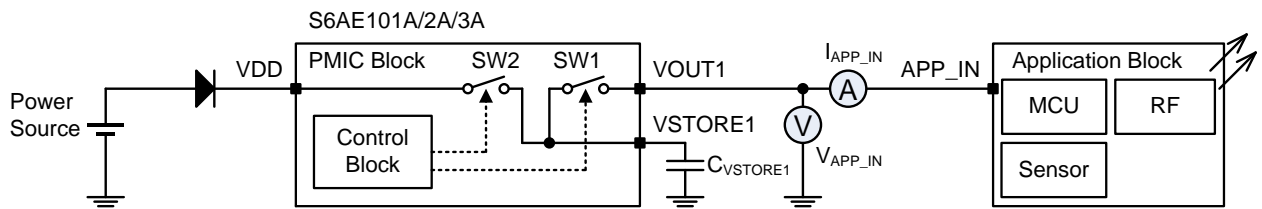
Figure 2. SW1、SW2 和 VSTORE1 引脚的关系



2 能量收集的能量计算

2.1 能量消耗的计算

Figure 3. 压电、电流和工作时间的测定



首先，测定应用模组的 APP_IN 端子电压 (V_{APP_IN})、电流 (I_{APP_IN}) 及工作时间 (t_{APP_IN}) (见 Figure 3 及 Figure 4)。应用的能量消耗通过 Equation 1 计算。

$$\text{Equation 1} \quad E_{APP_IN} [J] = V_{APP_IN} \times I_{APP_IN} \times t_{APP_IN}$$

然而，确认 Figure 4 中 V_{APP_IN} 与 I_{APP_IN} 的波形会发现，该波形分为了 (1)、(2)、(3) 三个部分。因此，要分别计算各部分的能量消耗，然后算出三项的合计能量消耗。

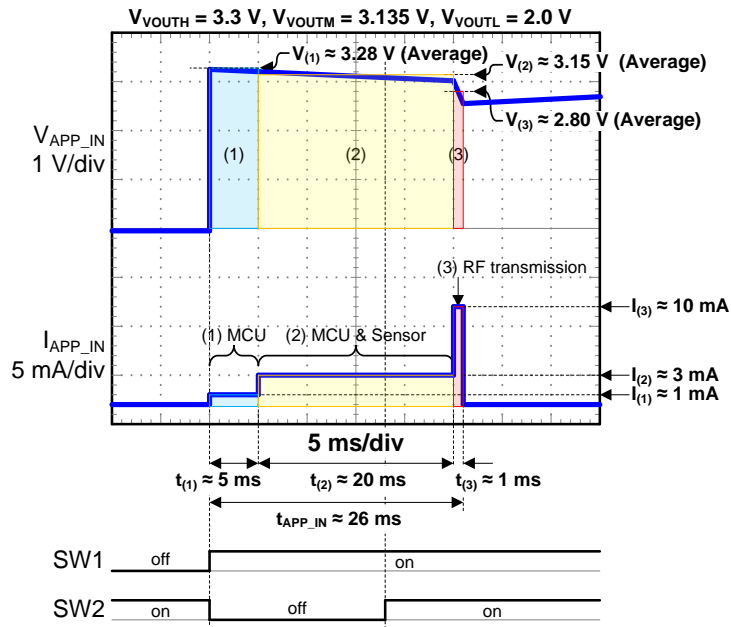
$$E_{(1)} = V_{(1)} \times I_{(1)} \times t_{(1)} = 3.28 [V] \times 1 [mA] \times 5 [ms] = 16.4 [\mu J]$$

$$E_{(2)} = V_{(2)} \times I_{(2)} \times t_{(2)} = 3.15 [V] \times 3 [mA] \times 20 [ms] = 189.0 [\mu J]$$

$$E_{(3)} = V_{(3)} \times I_{(3)} \times t_{(3)} = 2.80 [V] \times 10 [mA] \times 1 [ms] = 28.0 [\mu J]$$

在这个例子中，应用模组的能量消耗约为 233.4 μJ 。

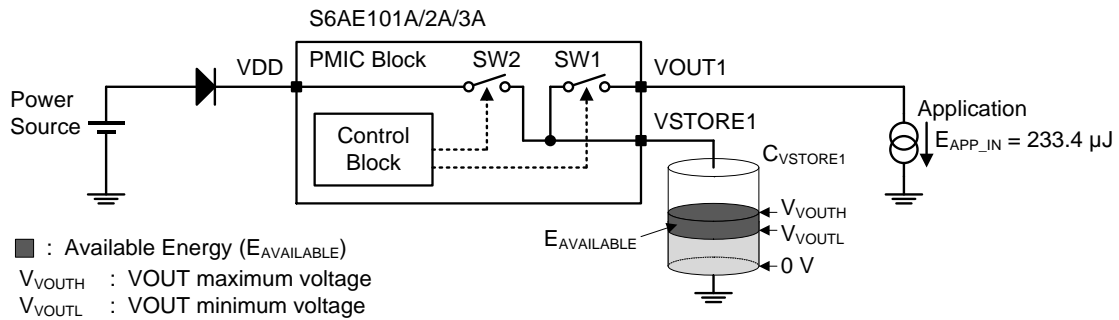
$$E_{APP_IN} = E_{(1)} + E_{(2)} + E_{(3)} = 16.4 [\mu J] + 189.0 [\mu J] + 28.0 [\mu J] = 233.4 [\mu J]$$

Figure 4. V_{APP_IN} , I_{APP_IN} 和 t_{APP_IN} 的波形


2.2 电容值的计算

下面根据应用的能量消耗计算电容值。Figure 5 表示系统内的电容。

Figure 5. 系统内的电容



能够在电容器中蓄电的能量可以通过 Equation 2 计算 (E: 能量 [J], C: 电容值 [F], V: 电压 [V])。

$$\text{Equation 2} \quad E = \frac{1}{2} CV^2$$

$C_{VSTORE1}$ 的计算

S6AE101A/2A/3A 的 VOUT 上限电压 (V_{VOUTH}) 与 VOUT 下限电压 (V_{VOUTL}) 可通过改变外接电阻值进行设置。作为前提条件, 将应用模组的推荐工作电压范围假设为 3.6V 至 1.8V。为确保在该范围内, 将 V_{VOUTH} 和 V_{VOUTL} 分别设为 3.3V 和 2.0V。 V_{VOUTL} 至 V_{VOUTH} 范围内蓄电的能量为应用可以利用的能量 ($E_{AVAILABLE}$: Available energy: 可利用的能量, 见 Figure 5)。 $E_{AVAILABLE}$ 需在 E_{APP_IN} (233.4 μ J) 以上 (Equation 3 是由 Equation 2 推导而来的公式)。

$$\text{Equation 3} \quad E_{AVAILABLE} = \frac{1}{2} \times C_{VSTORE1} \times (V_{VOUTH}^2 - V_{VOUTL}^2)$$

$$233.4 [\mu] = \frac{1}{2} \times C_{VSTORE1} \times (3.3 [V]^2 - 2.0 [V]^2)$$

$$C_{VSTORE1} = 67.8 [\mu F] \rightarrow 100 [\mu F]$$

在这个例子中， $C_{VSTORE1}$ 的电容值需在 67.8 μF 以上。而且，本 PMIC 需要 100 μF 以上的电容（请参考 S6AE101A、S6AE102A 和 S6AE103A 数据手册的推荐工作条件）。本例的电容值设为 100 μF 。

注意：

本次推导出的电容值为理想电容值。事实上，电容器的电容标称值和电容实际值之间存在很大出入。而且，电容值也有可能因为直流偏压特性与温度特性等而大幅降低。选择电容器时请确认各制造商的数据资料及使用条件下的实际电容值。

能量收集所使用的电容器种类与特性如 Table 1 所示。低漏电流的陶瓷电容适用于能量收集。

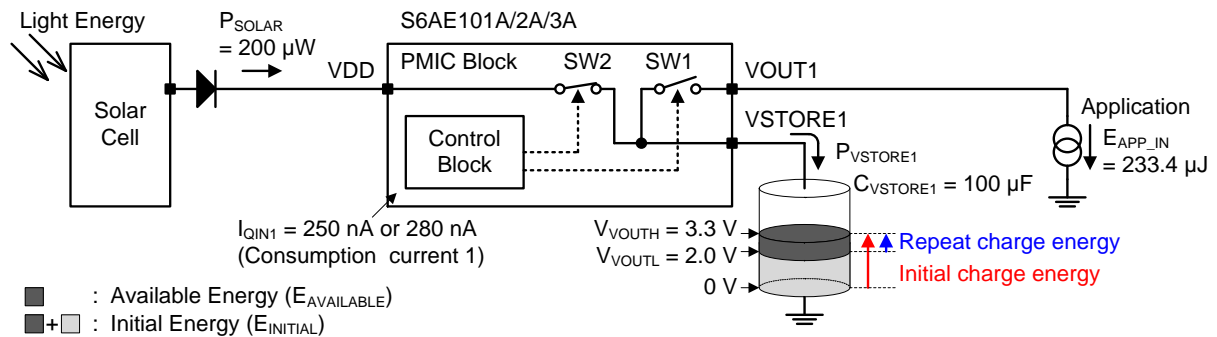
Table 1. 电容特性

电容的种类	电容值范围	优点	缺点
陶瓷电容	0.1 $\mu F \sim 470 \mu F$	低漏电流 (nA), 小型, 低价格	小电容值
铝电解电容	0.1 $\mu F \sim 1.5 F$	大电容值, 低价格	低性能漏电流 (μA)
钽电解电容	33 nF $\sim 6 mF$	低漏电流 (nA), 大电容值	高价格
电偶层电容 (例, 超级电容)	最大 50 F	超大电容值	高漏电流 (μA) 高价格

2.3 充电时间的计算

充电时间计算的参数如 Figure 6 所示。

Figure 6. 电时间的参数计算



在本次计算中，太阳能电池的电力 (P_{SOLAR}) 假设为 200 μW 。为 $VSTORE1$ 端子电容器 ($C_{VSTORE1}$) 供电的充电电力 ($P_{VSTORE1}$) 为 P_{SOLAR} 的值减去 PMIC 消耗电力 ($V_{VOUTH} \times I_{QIN1}$) 后得到的值 (Equation 4)。S6AE101A/2A/3A 的消耗电流 1 (I_{QIN1}) 的值如 Table 2 所示。在这个例子中，使用 S6AE101A 的值。

$$\text{Equation 4} \quad P_{VSTORE1} = P_{SOLAR} - (V_{VOUTH} \times I_{QIN1}) = 200 [\mu W] - (3.3 [V] \times 0.25 [\mu A]) = 199.2 [\mu W]$$

Table 2. 消耗电流 1 (I_{QIN1})

产品名称	消耗电流 1 (I _{QIN1})
S6AE101A	250 nA
S6AE102A	280 nA
S6AE103A	

初期充电时间 (t_{CHARGE}) 的计算

初始 (Initial) 充电时，电容进行从 0 V 到 V_{VOUTH} 的充电。初始能量 (E_{INITIAL}: Initial energy) 用 Equation 2 计算。

$$E_{\text{INITIAL}} = \frac{1}{2} \times C_{\text{VSTORE1}} \times V_{\text{VOUTH}}^2$$

$$E_{\text{INITIAL}} = \frac{1}{2} \times 100 [\mu\text{F}] \times 3.3 [\text{V}]^2$$

$$E_{\text{INITIAL}} = 544.5 [\mu\text{J}]$$

Equation 5 为 Equation 1 推导而来的公式 (E: 能量 [J], P: 电力 [W], t: 时间 [s])。充电时间的计算公式 Equation 6 由 Equation 5 推导而来。

$$\text{Equation 5} \quad E = (V \times I) \times t = P \times t$$

$$\text{Equation 6} \quad t_{\text{CHARGE}} = \frac{E}{P_{\text{VSTORE1}}}$$

$$t_{\text{CHARGE}} = \frac{E_{\text{INITIAL}}}{P_{\text{VSTORE1}}} = \frac{544.5 [\mu\text{J}]}{199.2 [\mu\text{W}]} = 2.73 [\text{s}]$$

反复充电时间 (t_{CHARGE_R}) 的计算

$$t_{\text{CHARGE_R}} = \frac{E_{\text{AVAILABLE}}}{P_{\text{VSTORE1}}} = \frac{233.4 [\mu\text{J}]}{199.2 [\mu\text{W}]} = 1.17 [\text{s}]$$

在这个例子中，初始充电时间为 2.73 s，反复 (Repeat) 充电时间为 1.17 s。由此可知，反复充电时间比初始充电时间有所减少。

3 总结

本应用手册说明了能量收集的能量计算，电容值计算以及充电时间的基本计算方法。从本应用手册得到的最重要概念是保持电能的收集与消耗的均衡。

S6AE101A/2A/3A 有一系列丰富的应用手册等文档、开发工具和在线资源，能够在开发过程中为您提供帮助。更多有关信息，请访问 www.cypress.com/energy-harvesting 网站。

文档修订记录

文档标题: AN210772 - 使用 S6AE101A、S6AE102A 和 S6AE103A 进行能量收集时的能量计算

文档编号: 002-11912

版本	ECN	变更者	提交日期	变更说明
**	5188690	HIXT	03/29/2016	新应用手册。 本文档译自英文版 002-10772 Rev. **。
*A	5273893	HIXT	05/17/2016	本文档译自英文版 002-10772 Rev. *A。
*B	6485021	EIFU	03/04/2019	本文档译自英文版 002-10772 Rev. *C。

全球销售和设计支持

赛普拉斯公司拥有一个由办事处、解决方案中心、厂商代表和经销商组成的全球性网络。要想查找离您最近的办事处，请访问[赛普拉斯所在地](#)。

产品

Arm® Cortex® 微控制器	cypress.com/arm
汽车级产品	cypress.com/automotive
时钟与缓冲器	cypress.com/clocks
接口	cypress.com/interface
物联网	cypress.com/iot
存储器	cypress.com/memory
微控制器	cypress.com/mcu
PSoC	cypress.com/psoc
电源管理 IC	cypress.com/pmic
触摸感应	cypress.com/touch
USB 控制器	cypress.com/usb
无线连接	cypress.com/wireless

PSoC® 解决方案

[PSoC 1](#) | [PSoC 3](#) | [PSoC 4](#) | [PSoC 5LP](#) | [PSoC 6 MCU](#)

赛普拉斯开发者社区

[社区](#) | [项目](#) | [视频](#) | [博客](#) | [培训](#) | [组件](#)

技术支持

cypress.com/support

此处引用的所有其他商标或注册商标归其各自所有者所有。



© 赛普拉斯半导体公司，2016-2019 年。本文件是赛普拉斯半导体公司及其子公司，包括 Spansion LLC（“赛普拉斯”）的财产。本文件，包括其包含或引用的任何软件或固件（“软件”），根据全球范围内的知识产权法律以及美国与其他国家签署条约由赛普拉斯所有。除非在本款中另有明确规定，赛普拉斯保留在该等法律和条约下的所有权利，且未就其专利、版权、商标或其他知识产权授予任何许可。如果软件并不附随有一份许可协议且贵方未以其他方式与赛普拉斯签署关于使用软件的书面协议，赛普拉斯特此授予贵方属人性质的、非独家且不可转让的如下许可（无再许可权）（1）在赛普拉斯特软件著作权项下的下列许可权（一）对以源代码形式提供的软件，仅出于在赛普拉斯硬件产品上使用之目的且仅在贵方集团内部修改和复制软件，和（二）仅限于在有关赛普拉斯硬件产品上使用之目的将软件以二进制代码形式的向外部最终用户提供（无论直接提供或通过经销商和分销商间接提供），和（2）在被软件（由赛普拉斯公司提供，且未经修改）侵犯的赛普拉斯专利的权利主张项下，仅出于在赛普拉斯硬件产品上使用之目的制造、使用、提供和进口软件的许可。禁止对软件的任何其他使用、复制、修改、翻译或汇编。

在适用法律允许的限度内，赛普拉斯未对本文件或任何软件作出任何明示或暗示的担保，包括但不限于关于适销性和特定用途的默示保证。没有任何电子设备是绝对安全的。因此，尽管赛普拉斯在其硬件和软件产品中采取了必要的安全措施，但是赛普拉斯并不承担任何由于使用赛普拉斯产品而引起的安全问题及安全漏洞的责任，例如未经授权的访问或使用赛普拉斯产品。此外，本材料中所介绍的赛普拉斯产品可能存在设计缺陷或设计错误，从而导致产品的性能与公布的规格不一致。（如果发现此类问题，赛普拉斯会提供勘误表）赛普拉斯保留更改本文件的权利，届时将不另行通知。在适用法律允许的限度内，赛普拉斯不对因应用或使用本文件所述任何产品或电路引起的任何后果负责。本文件，包括任何样本设计信息或程序代码信息，仅为供参考之目的提供。文件使用人应负责正确设计、计划和测试信息应用和由此生产的任何产品的功能和安全性。赛普拉斯产品不应被设计为、设定为或授权用作武器操作、武器系统、核设施、生命支持设备或系统、其他医疗设备或系统（包括急救设备和手术植入物）、污染控制或有害物质管理系统中的关键部件，或产品植入之设备或系统故障可能导致人身伤害、死亡或财产损失其他用途（“非预期用途”）。关键部件指，若该部件发生故障，经合理预期会导致设备或系统故障或会影响设备或系统安全性和有效性的部件。针对由赛普拉斯产品非预期用途产生或相关的任何主张、费用、损失和其他责任，赛普拉斯不承担全部或部分责任且贵方不应追究赛普拉斯之责任。贵方应赔偿赛普拉斯因赛普拉斯产品任何非预期用途产生或相关的所有索赔、费用、损失和其他责任，包括因人身伤害或死亡引起的主张，并使之免受损失。

赛普拉斯、赛普拉斯徽标、Spansion、Spansion 徽标，及上述项目的组合，WICED，及 PSoC、CapSense、EZ-USB、F-RAM 和 Traveo 应视为赛普拉斯在美国和其他国家的商标或注册商标。请访问 cypress.com 获取赛普拉斯商标的完整列表。其他名称和品牌可能由其各自所有者主张为该方财产。