

Application Note

由电容器供电的 MSPM0 的工作时间



Zoey Wei

摘要

MSPM0 通常由带有去耦电容器的 3.3V 直流电源供电。一个常见的情况是，当直流电源不稳定时，很容易导致 MCU 停止工作。为了克服这个问题，可以选择一个外部电容器来维持电源。因此，选择合适的电容器来应对电源故障，这非常重要。本应用手册测试了不同工作电流和电容器值情况下的工作时间，并得到了这三者之间的简单模型关系，从而有助于在已知的正常工作电流下，选择合适的电源电容器。

内容

1 I、C 和 t 之间的关系.....	2
2 应用场景.....	2
3 公式的推导.....	2
4 实验验证.....	3
4.1 测试环境设置.....	3
4.2 实验结果.....	5
5 注释.....	6

插图清单

图 3-1. MCU 工作电流与电源电压间的关系图.....	3
图 4-1. 硬件连接图.....	4
图 4-2. LP- MSPM0L1306 硬件板连接.....	4
图 4-3. run0 模式下 MCU 的工作电流.....	5
图 4-4. MCU 在 run0 模式下的运行时间.....	5
图 5-1. GRM188R60J106ME47 的直流偏置特性.....	6
图 5-2. 由 GRM188R60J106ME47 供电的 MCU 的工作时间.....	7

表格清单

表 4-1. 不同工作模式下的测试结果汇总.....	6
----------------------------	---

商标

EnergyTrace™ is a trademark of Texas Instruments.

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 I、C 和 t 之间的关系

在某些情况下，可以使用电容器为 MCU 供电。但电容器能够持续多久，以及持续时间与哪些因素有关？[方程式 1](#) 给出了保持时间和电源电容之间的关系。

$$t = \frac{C \times (V_{\text{work}}^2 - V_{\text{cutoff}}^2)}{I \times (V_{\text{work}} + V_{\text{cutoff}})} \quad (1)$$

其中，

t 是器件运行维护时间，

C 表示用户选择的电容值，

V_{work} 是 MCU 的正常工作电压，即电容器电源的起始电压，

V_{cutoff} 是 MCU 停止工作时的切断电压。当电源低于欠压复位电压电平 0 (BOR0-) 时，因为只有上电复位 (POR)、带隙 (BG) 和 BOR 处于活动状态，器件会缓慢放电，这意味着 MCU 无法正常工作。根据器件特定数据表， $V_{\text{BOR0-}}$ 的最大值为 1.61V， I 是 MCU 的恒定工作电流，具体取决于 MCU 的工作模式和外设的工作情况。除了直接测量，此处我们还提供了两种方法。一种方法是查阅器件特定的数据表，其中包括不同工作条件下不同外设的工作电流。另一种方法是直接使用 TI 提供的 EnergyTrace™ 来计算器件的工作电流。

根据[方程式 1](#)，通过已知的工作电流可以得出 t 和 C 之间的对应关系。这为选择合适的电容器提供了参考。

2 应用场景

- 对于电源不稳定的情况，可以使用电容器作为备用电源来支持 MCU 运行一段时间，直至电源恢复正常，或者提供一段时间来保存 MCU 的数据。
- 在打印机墨盒中，三线系统无法满足 MCU 通信需求，因为 UART 需要两根线，VCC 需要一根线，接地需要一根线。在这里，我们可以将 VCC 端与 UART 的 TXD 进行多路复用。当 TXD 为高电平时，它可以为电容器充电并为 MCU 供电。当 TXD 变为低电平时，二极管可以将 TXD 的 VCC 端子与 MCU 分开，并依靠电容器来为 MCU 供电。

3 公式的推导

首先，该公式的前提是 MCU 的工作电流在不同的工作电压下保持一致。因此测试了不同电压下的工作电流。起始电压为 3.3V，电源电压逐渐降低，在此期间，通过在电源和 MCU 之间串联的电流表测量工作电流的变化。结果如下。[图 3-1](#) 展示了在 MCU 正常工作 (VCC 大于 1.6V) 时电流保持不变。此外，该器件在 run0、sleep0 和 stop0 模式下运行时，电流分别为 1.55mA、0.93mA 和 0.32mA，这些电流符合器件特定的数据表规格。

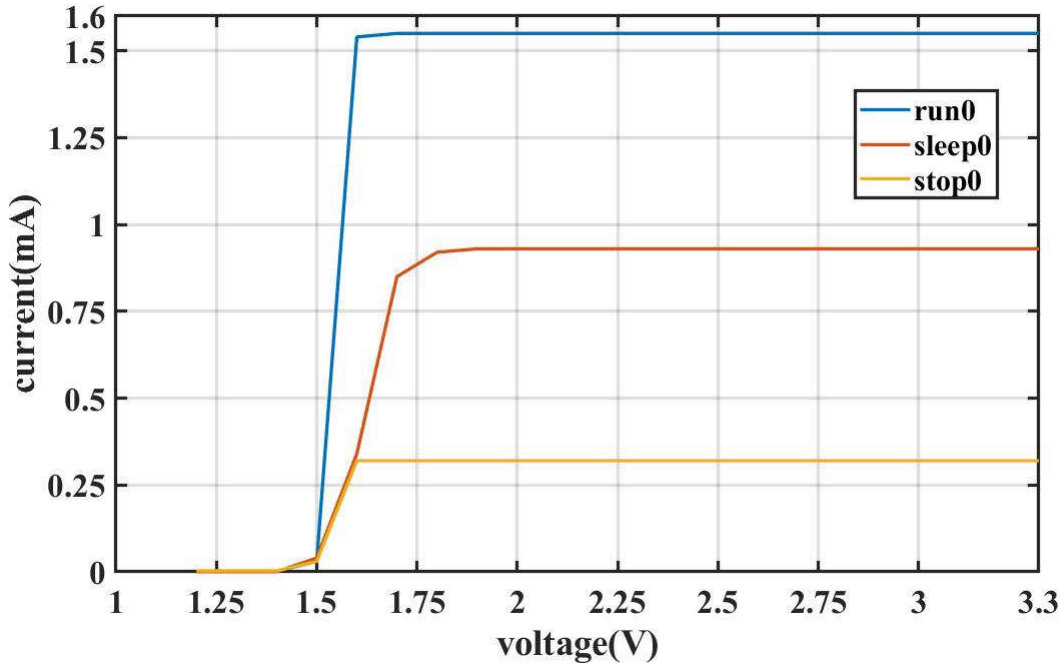


图 3-1. MCU 工作电流与电源电压间的关系图

通过保持恒定的电流，MCU 维持所需能量：

$$E = 0.5 \times It \times (V_{\text{work}} + V_{\text{cutoff}}) \quad (2)$$

而从电容的角度来看，减少的能量可表示为：

$$E = 0.5 \times C \times (V_{\text{work}}^2 - V_{\text{cutoff}}^2) \quad (3)$$

电容器的能量用于保证 MCU 正常运行，因此方程式 2 和方程式 3 可以联系在一起，从而进一步获得设备的运行维护时间 t ，该时间表示为方程式 1。

4 实验验证

4.1 测试环境设置

为了验证方程式 1 的可行性，必须先使用一个 3.3V 电容器电源来测试 MCU 的正常运行时间。因此，采用以下方法。如图 4-1 所示，通过改变 MCU1 PA25 引脚的状态，可以模拟 MCU2 的断电状态。具体而言，当 PA25 输出为高电平时，MCU2 正常供电，同时将电容器充电至 3.3V。当 PA25 处于高阻抗状态时，可以认为此时电源已断开。因此，MCU2 依靠电容器供电。

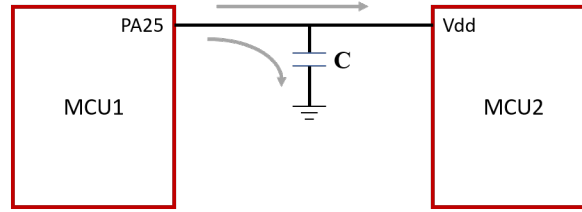
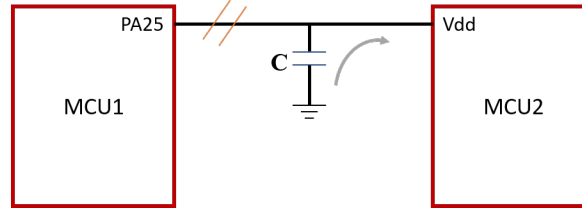
High output**Hi-Z output**

图 4-1. 硬件连接图

对于 MSPM0L1306 LaunchPad 连接：

- 将 USB 电缆从 MCU1 上的 micro-USB 连接器连接到 PC。
- 连接 MCU1 PA25 和 MCU2 3.3V 电源引脚。
- 共地连接。
- 拔下 MCU2 中的跳线帽。

根据 LaunchPad 的 PCB，C4 和 C5 (显示在图 4-2 的绿框中) 作为去耦电容器，用于接地和连接 VCC。通过这种方式，C4 和 C5 符合电源电容器的连接要求，如图 4-1 所示。在以下测试中，只需更改 C4 和 C5 的电容器大小即可仿真不同的电容器电源情况。

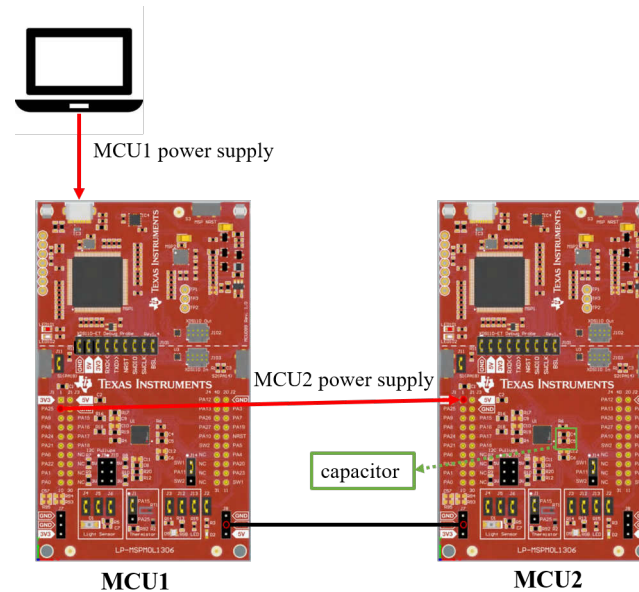


图 4-2. LP- MSPM0L1306 硬件板连接

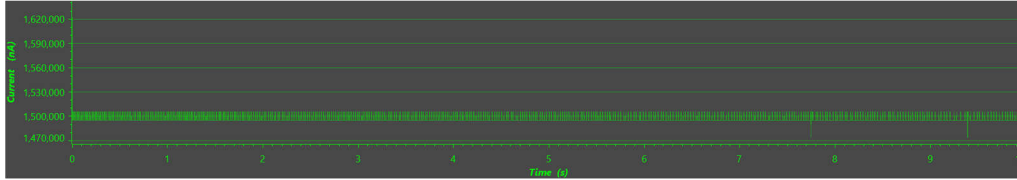
对于软件设置，MCU2 在不同工作模式下运行 `while(1)` 代码。

每 2 秒设置一次 MCU1，以便通过计时器更改其状态。此外，同时切换另一个 GPIO 来提供电容器充电和放电启动信号。

4.2 实验结果

图 4-3 是 MCU 在 run0 模式下运行时的工作电流实验结果。EnergyTrace 和直接测量都显示 run0 电流约为 1.5mA。

EnergyTrace result:



Actual current value:

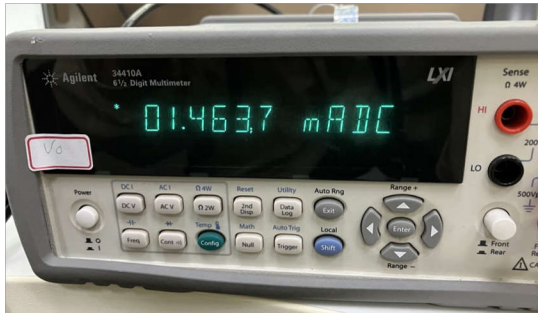


图 4-3. run0 模式下 MCU 的工作电流

使用逻辑分析仪监控 MCU2 的电源，结果如图所示。通道 1 标识 GPIO 端口，当设置为低电平时，MCU1 的 GPIO 处于高阻抗状态，MCU2 仅由电容器供电。通道 2 是电容器两侧的电压，即 MCU 的电源电压。从图中可以看出，当电压从 3.3V 降至 1.61V 时，持续时间约为 2.66ms，接近 2.56ms 的理论计算值。

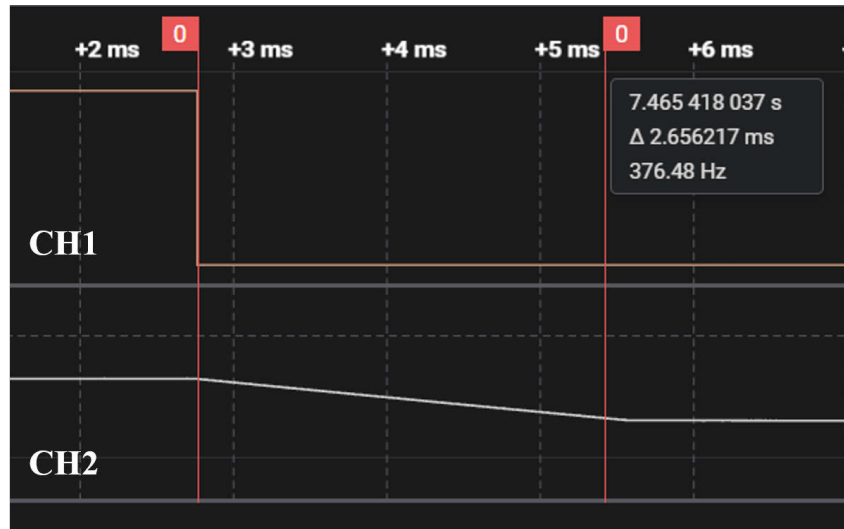


图 4-4. MCU 在 run0 模式下的运行时间

表 4-1 以表格形式汇总了不同电容器在各种工作模式下的工作时间。

表 4-1. 不同工作模式下的测试结果汇总

电容器		STOP0 I=0.32mA		RUN0 I=1.5mA	
类型	电容	测量时间	计算时间	测量时间	计算时间
钽电容器 TAJA225K010RNJ	2.2 μ F	12.01ms	11.55ms	2.66ms	2.56ms
钽电容器 TAJA475K010RNJ	4.7 μ F	23.29ms	24.68ms	5.10ms	5.48ms
钽电容器 TAJA106K010RNJ	10 μ F	56.72ms	56.00ms	12.33ms	11.67ms
电解电容器 ASLI-D37	10 μ F	53.79ms	56.00ms	11.35ms	11.67ms
电解电容器 ASLI-E13	40 μ F	278.95ms	263.2ms	57.59ms	54.33ms
陶瓷电容器 GRM21BR61A	2 μ F	12.15ms	11.2ms	12.15ms	11.20ms
陶瓷电容器 GRM21BR61A	4.3 μ F	22.76ms	22.58ms	4.88ms	5.02ms
陶瓷电容器 GRM21BR61A	6.3 μ F	34.08ms	33.08ms	7.30ms	7.35ms

从表中可以看出，理论计算值与实际测量值基本一致。出现一些误差的原因可能是：电容误差值；电表笔存在漏电情况；电缆阻抗、能量损耗等。但该误差在合理的范围内。

5 注释

选择电容器时需要注意以下几点。

1. 注意电容器自身电容的误差。

电容器材料。 以下是 GRM188R60J106ME47(muRata, MLCC, X5R) 的直流偏置特性示例。当直流增大时，陶瓷电容器的电容会有较大的误差。在本例中，当直流偏置电压为 3.3V 时，电容误差可达到 50%。

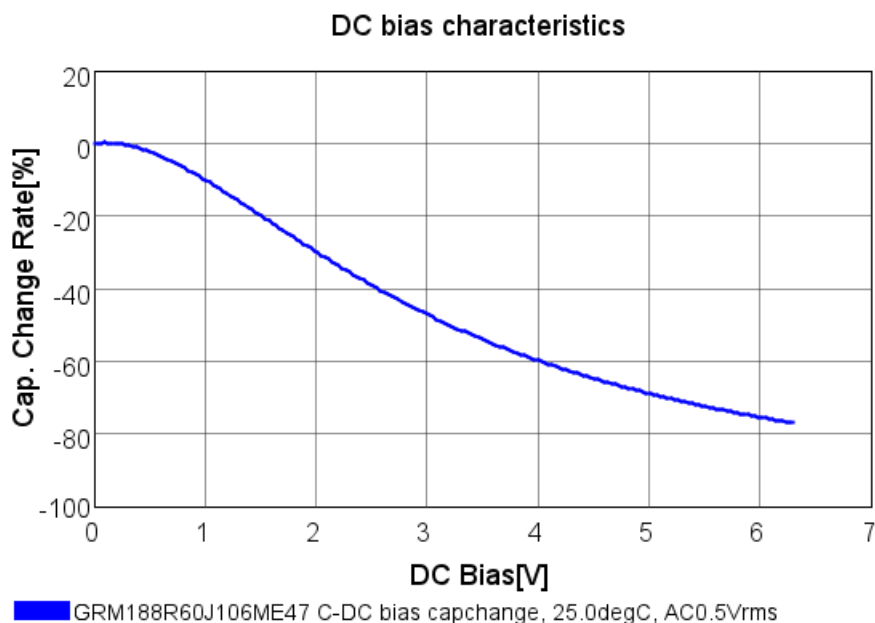


图 5-1. GRM188R60J106ME47 的直流偏置特性。

为了进行进一步验证，我们使用该电容器来测试 MCU 的电源。该结果如图 5-2 所示。工作电流为 1.5mA，电源电容为 41.1 μ F。但工作时间为 29.95ms，远低于 45.76ms 的理论计算值。

因此，在使用电容器时，必须注意电容器本身的特性。

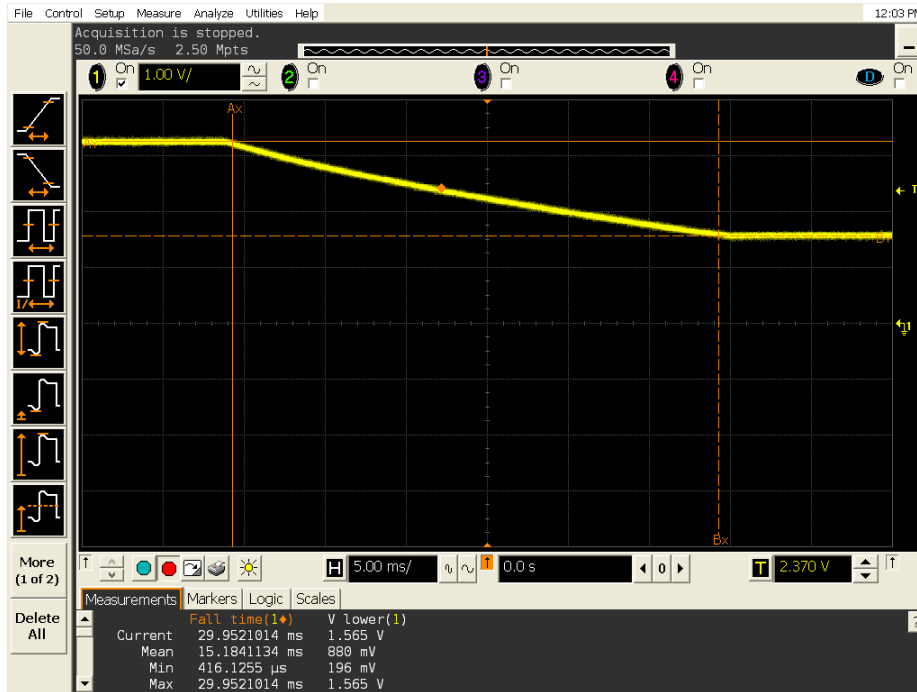


图 5-2. 由 GRM188R60J106ME47 供电的 MCU 的工作时间

电容器尺寸。封装尺寸会影响电介质的厚度，在施加相同电压的情况下（尤其是对于采用铁电材料作为电介质材料的陶瓷电容器），电介质的厚度越小，内部电场应力越大，从而会导致电容出现较大误差。因此，在此模型中优选具有稳定电容值的电容器。因此，在两次使用之间，请使用万用表等工具测试电容值

2. 注意漏电的影响。

电容器材料。与使用其他材料的电容器相比，电解电容器具有更大的漏电流。当 MCU 处于 standby0 模式时，即工作电流接近 1.5 μ A 时，漏电流的影响变得很明显。因此，当工作电流很小时，需要考虑漏电流。

PCB 布局。应注意的是，电源电容器和 MCU 电源引脚之间的布线中会存在等效电阻，这将损失电容器的部分能量，因此在电容很小的情况下选择电容器时，需要考虑此因素。

重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2024，德州仪器 (TI) 公司