

MSP430 在单电池供电的 LED 照明中的应用

丁京柱

TI MSP430 技术支持

摘要

便携式设备常采用单节的碱性电池供电，亦称作单电池供电。而 LED 是发光二极管的简称，由于其省电、寿命长和开关速度快等特点，正被广泛应用到照明领域；而部分照明设备如自行车运动爱好者的车灯、头灯以及特殊要求手电筒等又要求能够便携以便于移动，所以对系统的功耗即电池的寿命有着严格的要求。本文针对低功耗、便携以及较低系统成本 LED 照明的要求，基于超低功耗单片机 MSP430 以及升压转换器 TPS61200，设计并完成单电池供电的 LED 照明应用。

内容

1	单电池供电的 LED 照明系统简介	1
2	系统结构和总体设计方案	2
3	硬件电路设计	2
	3.1 LED 驱动电路设计	2
	3.2 基于比较器实现按键以及电池电压检测	4
4	系统控制流程及软件设计	4
	4.1 记忆功能实现	4
	4.2 控制流程以及软件流程图	5
5	总结	5
	参考文档	6

图

图 1.	单电池供电的 LED 照明系统框图	2
图 2.	TPS61200 典型应用电路	3
图 3.	白光 LED 恒流驱动控制	3
图 4.	基于比较器实现按键以及电池电压检测原理图	4
图 5.	系统控制流程图	5

1 单电池供电的 LED 照明系统简介

考虑到业界单电池供电的 LED 照明系统的实际应用要求，需满足以下设计要求，

- 工作电压范围：设备供电采用常用的单节碱性电池，为 0.6~1.5V。
- 低电压启动：低至 0.6V 系统也能启动。
- 待机电流：超低待机功耗，待机电流 < 1 μ A
- 恒流驱动：LED 采用恒流驱动，驱动电流在 48mA \pm 2mA
- 按键控制：通过按键实现开关机、LED 照明状态和灯光闪烁示警信号状态切换等
- 记忆功能：可记忆上次关机时的状态

2 系统结构和总体设计方案

本文描述的单电池供电的 LED 照明系统以 TI MSP430F2011 和 TI TPS61200 为主芯片。MSP430 系列单片机 CPU 采用 16 位精简指令集，集成了 16 个通用寄存器以及常数发生器，极大的提高了代码的执行效率。提供了五种低功耗模式，可最大限度的延长手持设备的电池寿命。其数字控制振荡器(DCO)可在 1us 内由低功耗模式切换到活动模式。MSP430F2011 是 MSP430 系列单片机中的低引脚数单片机，其中集成了带捕获/比较功能的 16 位定时器，10 个 GPIO 口和一个多用途的比较器 [1]。TPS61200 是业界最低输入电压的 DC/DC 升压转换器，其可在低至 0.3V 的输入电压下高效工作；芯片内部集成的 1.5A 开关大大简化了外部电路设计；在升压转换模式下工作效率可达 90%，非常适合在便携式产品中应用。此方案也可以考虑采用 FRAM 系列的产品比如 MSP430FR2100 具有很高的性价比。

单电池供电的 LED 照明系统框图如图 1 所示。为达到点亮 LED 所需的导通电压，采用 TPS61200 实现单节电池电压 0.6~1.5V 到 3.6V 的升压变换，并用以进行 LED 的恒流驱动。由于 MSP430 的工作电压为 1.8-3.6V，所以单节干电池电压不能用于 MSP430 的直接供电，若再增加一升压电路专为 MSP430 供电，这将大大增加系统成本。根据系统特点以及成本考虑，可以采用 MSP430 的供电电压取自 TPS61200 的输出。另外，由于 TPS61200 的静态电流典型值为 50uA，为满足整个系统待机功耗小于 1uA 的技术要求，TPS61200 在系统待机时也不能工作（即不能为 MSP430 供电），否则很难达到系统的静态功耗要求。这样，系统待机时 MSP430 处于断电状态。因此，如何实现 MSP430F2011 供电，并使其实现整个系统控制，包括用比较器实现按键、按键开机自锁、关机状态记忆以及 LED 的开关控制以及节电控制等等，也是系统的设计要点。

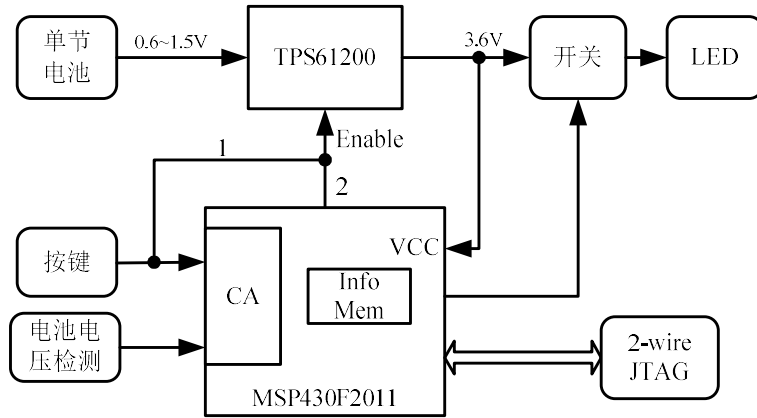


图 1. 单电池供电的 LED 照明系统框图

3 硬件电路设计

3.1 LED 驱动电路设计

对于单节电池供电的 LED 照明设备，首先要选用升压芯片为 LED 提供电源以保证 LED 的正常导通。这里我们选用了 TPS61200，其工作电压为 0.3~5.5V，工作电流最大可承受 1800mA，并且在升压转换中可达到 90%的转化效率，完全能够满足该方案的设计要求。该照明设备选用白光 LED，其导通压降典型值为 3.2~3.5V，所以升压电路的升压输出值设计为 3.6V。另外由于 LED 的温度特性，为保证 LED 的发光稳定性，必须实现 LED 的恒流驱动且流过 LED 的电流变化范围小于 5mA，即需要设计 $I_{led} = 48mA \pm 2mA$ 。

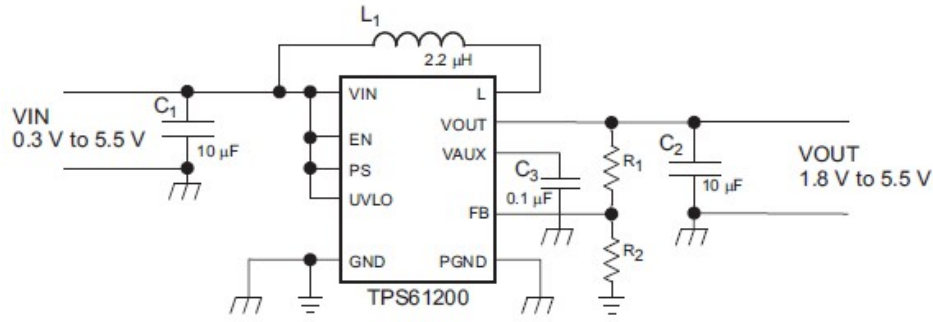


图 2. TPS61200 典型应用电路

如图 2 所示的 TPS61200 典型应用电路[2]，其是一种输出电压可设定的电路。输出电压 VOUT 与外接电阻分压器 R1 和 R2 有关，如下式所示：

$$V_{OUT} = V_{FB} \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

式中， $V_{FB}=500\text{mV}$ ， R_2 可设定为 51Kohm ，则可根据该公式计算出 R_1 值。根据我们的设计要求，LED 驱动电压 $V_{OUT}=3.6\text{V}$ ，通过上式计算可求出 $R_1=316\text{Kohm}$ 。但这种算法是基于实现恒压输出的。

为实现 LED 恒流驱动，即实现亮度恒定的设计要求，我们需设计电流反馈实现恒流控制。如图 3 所示的电路图。参考文献 3 的 LED 恒流控制计算公式，[3]

$$I_{LED} = \frac{V_{FB}}{R_F} - \frac{R_2}{R_F \times R_1} \times (V_{OUT} - V_{FB})$$

电流反馈电阻 R_F 的取值为 1.5ohm 。在设定 $R_F=1.5\text{ohm}$ 和 $R_2=51\text{Kohm}$ 的条件下，计算出反馈电阻 $R_1=373\text{Kohm}$ ；通过实测验证及调节并按标称电阻取值， $R_1=374\text{Kohm}$ 。

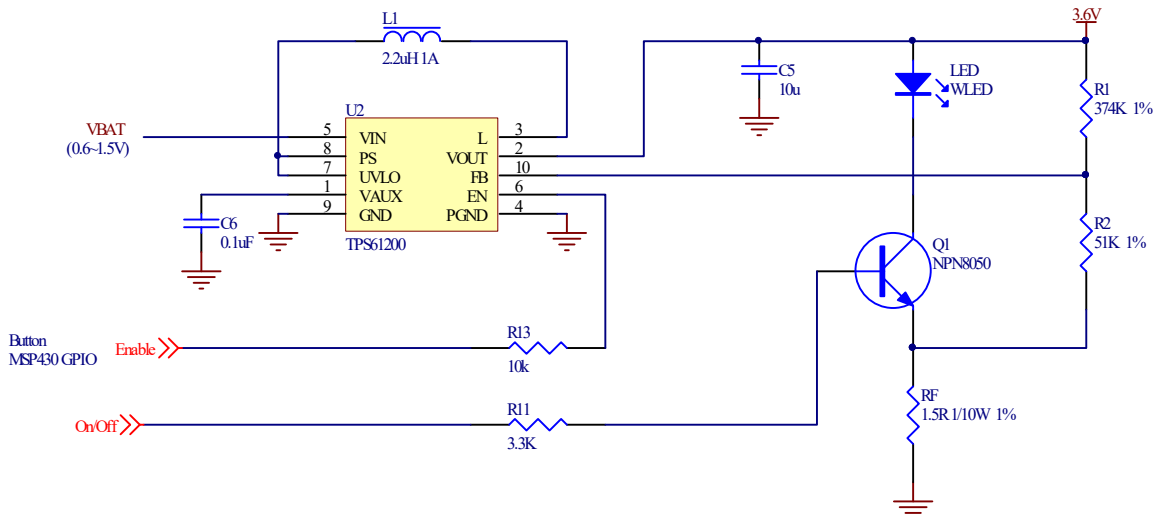


图 3. 白光 LED 恒流驱动控制

在图 3 中，EN 端是芯片 TPS61200 的使能端，用以控制 TPS61200。在本设计中，EN 端接按键和 MSP430 的 GPIO 使能端，用以控制升压电路的开通或关闭。系统的进一步功耗控制，也是基于单片机 MSP430F2011 通过对 TPS61200 的使能控制来实现的。

另外，PS 端、UVLO 端接 VIN，PS 端高电平表示在重负载条件下工作（此时振荡器按固定频率工作）；UVLO 接 V_{IN} ，表示在 $V_{IN} < 250\text{mV}$ 时，使电源关闭， $V_{OUT}=0\text{V}$ ，并锁存；VAUX 接 $0.1\mu\text{F}$ 接地，此电容器在启

动时向其充电到一定值后开关管才导通，这样它对开关管起缓冲；即软启动的作用，能够减小内置开关的开关应力以提高可靠性。

3.2 基于比较器实现按键以及电池电压检测

前面提到 MSP430 由 TPS61200 的输出供电，但由于系统功耗要求，TPS61200 在待机模式下不能工作。如何通过长按按键开启系统，并能够在释放按键后系统也能正常工作？同时，该按键在系统正常工作时也能够实现 LED 照明状态和灯光闪烁示警信号状态切换等满足照明设备的多种应用要求。如图 4 所示基于比较器实现按键以及电池电压检测原理图。系统在待机状态（关机）时，当按键被长按。Button Enable 信号端产生等同于电池输入电压的高电平信号，该信号端连接 TPS61200 的使能端引脚 6（可参考图 3）。这样 TPS61200 进入工作状态，VOUT 引脚输出 3.6V，并给 MSP430F2011 供电。从而使 MSP430F2011 进入工作状态，程序开始运行并使 P1.7 置高通过 GPIO Enable 信号驱动 TPS61200 的使能端并保持其一直处于工作状态。这样，按键即使被释放后，也能保证系统一直处于工作状态。

在单片机控制系统中，大部分设计是采用 GPIO 实现按键。但在本文设计中由于单片机在待机状态下没有供电即单片机不能正常工作，所以按键的判断很难通过 GPIO 的方式实现。这里，采用 MSP430F2011 的片上的比较器来实现的。MSP430 单片机的片上比较器内部可以产生用于比较的模拟电压参考 VCC、1/2VCC、1/4VCC、固定电压 0.55V 等。因此本设计采用内部提供 0.55V 的基准电压来实现按键的检测，根据系统工作电压的特点，当按键被按时，其最低 0.6V 的输入大于内部 0.55V 的基准电压，从而在比较器输出端产生高电平，实现按键的检测。特别要注意的是，这个内部基准电压会随着供电电压变化和温度变化有小范围的变化，所以软件的滤波对于按键的判断还是非常有必要的，尤其是在最低电池电压条件下。

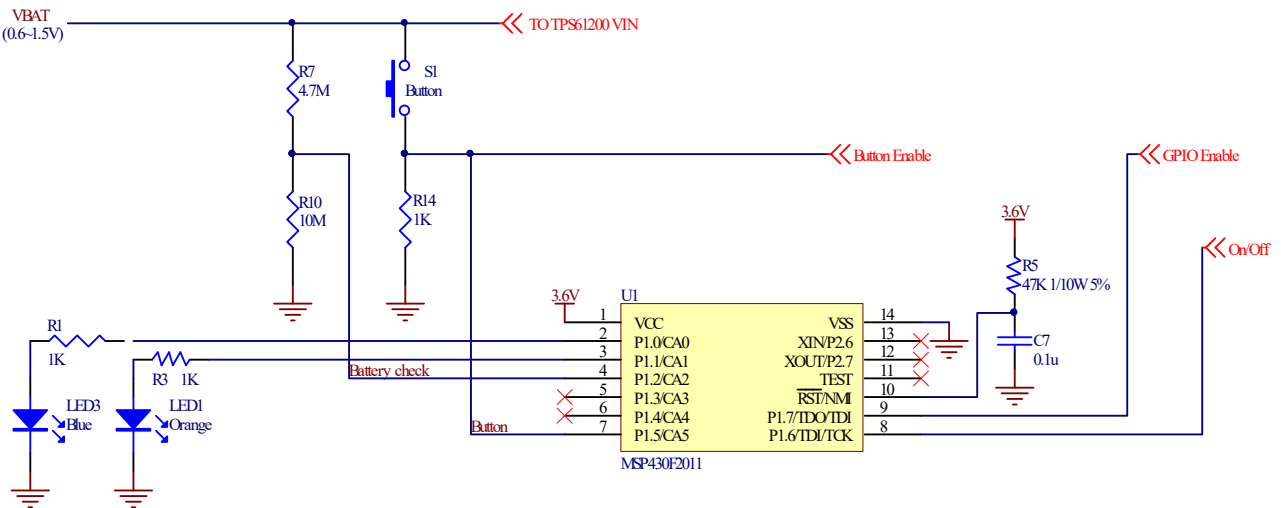


图 4. 基于比较器实现按键以及电池电压检测原理图

对于电池供电类应用，一般需具有电池电压检测功能。如图 4 所示，当检测到电池输入电压低于设定的低电压报警阈值时，单片机 MSP430F2011 通过 GPIO Enable 信号输出低电平至 TPS61200 的 EN 引脚，以关闭 TPS61200。考虑到 MSP430F2011 的片上资源，电池电压检测电路也采用单片机片上比较器，其和按键分时复用同一个比较器。

4 系统控制流程及软件设计

4.1 记忆功能实现

本文设计的照明设备有两种工作状态，LED 照明状态和灯光闪烁示警状态，通过按键短按可在两种状态之间切换。对于每个状态，MSP430 能够记录当前状态以便下次开机时进入上一次的工作状态。MSP430 单片机内置信息段闪存 (information flash) 可用作 EEPROM，通过 flash 操作来实现记忆功能。

4.2 控制流程以及软件流程图

系统控制流程如图 5 所示，其中虚线下方为 MSP430 软件流程图，上方为通过硬件实现按键判读使能 TPS61200 的流程。MSP430F2011 单片机内部具有多个时钟源，可以灵活地配置给相应的模块使用以及工作于多种低功耗模式，大大降低系统功耗。本设计的软件采用 C 语言编写，整个程序包括的子模块有：按键检测模块、电池电压检测模块、flash 读写模块（实现记忆功能状态）等几个部分。

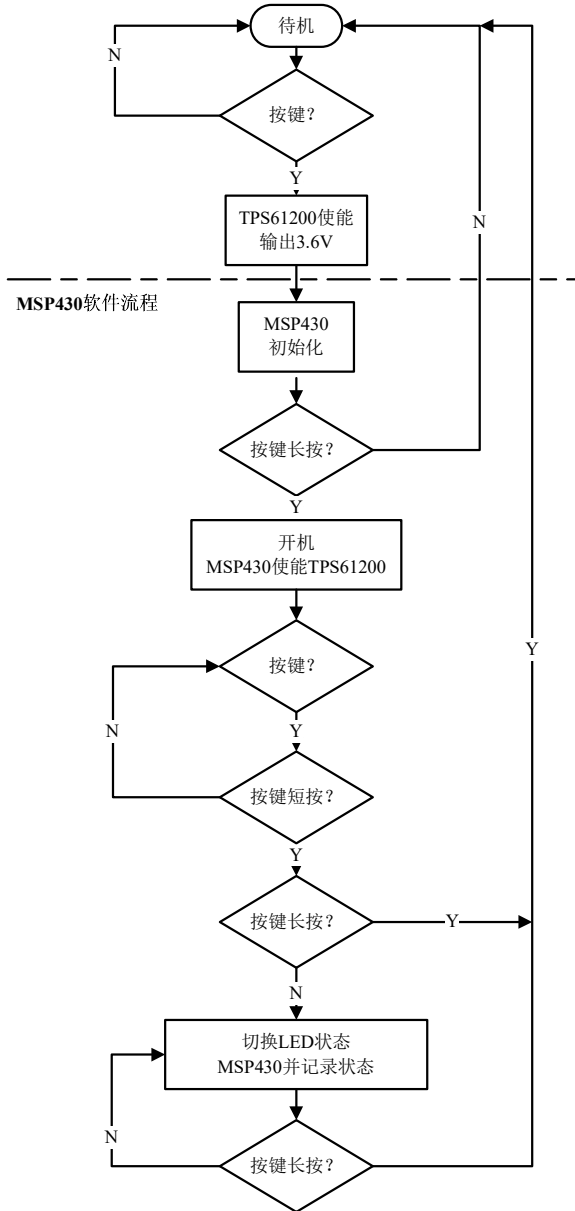


图 5. 系统控制流程图

5 总结

本文描述的单电池便携式 LED 照明设备采用超低功耗单片机 MSP430F2011 为控制核心，以 TPS61200 实现 LED 功率变换电路。通过按键自锁，主回路供电等设计满足系统低成本以及恒定亮度等要求，并能够实现较低电池

电压启动、以及低电池电压报警等设计要求。通过对 TPS61200 输出控制，既满足单片机 MSP430F2011 的供电要求同时实现对 LED 的恒流驱动。实测结果表明系统在待机状态其功耗仅为 0.1 μ A，实现了非常低的待机功耗。

参考文档

1. *MSP430F2011 data sheet (SLAS491)*
2. *TPS61200 data sheet (SLVS577)*
3. *Using TPS61200 as WLED Driver (SLVA364)*

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（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，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(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安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司