

## 采用 MC9RS08KA2 的高亮发光二极管应用

作者：高德钧(Vincent Ko)  
飞思卡尔半导体公司系统工程师

发光二极管（LED）技术面世已有大约半个世纪。发光二极管是一种能在电压出现偏差时发光的半导体设备。由于具有低功率和低电压运行的特点，该技术很快应用于各种电子设备的状态指示。LED 技术的使用寿命通常非常长，一般可达 10 年，远远长于其它传统照明技术（例如白炽灯管和荧光灯管）。这就使人们非常希望将 LED 技术应用到更广泛的照明应用中。

最近面世的新技术使 LED 能够达到更高的功率水平。LED 能够达到一瓦特的水平，有些甚至高达 5 瓦特，每瓦特能发出 18-44 流明（lumen）的光亮。这种 LED 设备称为高亮 LED（HB-LED）。由于效率方面的明显改进，HB-LED 正被迅速用于多种照明应用。

下面是这些应用的一些例子：

- 交通信号灯
- 平面显示设备的背景照明装置
- 闪光灯
- 家庭照明

HB-LED 具有非线性 I-V 特征，非常类似于二极管，HB-LED 只能在直流电单向输送到设备时才能点亮，一般称之为正向电流  $I_F$ 。通过 HB-LED 的压降则称为正向电压  $V_F$ 。要让 HB-LED 实现最高亮度，通过 HB-LED 的正向电流必须保持恒定水平。在一般的 1W HB-LED 而言，正向电流需保持在大约 350mA 的水平，而相应的正向电压则大约为 3.4V，HB-LED 便能达到其最大亮度。

正向电流  $I_F$  和正向电压  $V_F$  有着非常紧密的关系， $V_F$  出现小的变化亦会引起  $I_F$  发生较大的改变。HB-LED 驱动的理想电源是恒定电源。实际上，恒定电流通常通过闭合回路电流控制直流-直流转换器（DC-DC converter）来实现。

市场上有很多基于独立模拟组件、成本相对较低的 DC-DC 转换器解决方案。然而，基于微控制器（MCU）的解决方案可为系统设计带来更大的灵活性。除了普通照明以外，这种控制器还能为最终应用提供足够的处理功能以支持额外的特性。因此它仍然具有较大的吸引力。

基于 MCU 的设计的部分优点如下：

- （1）灯光亮度调节和闪烁可以通过 MCU 软件轻松实现，而无需向系统中增装其它组件。
- （2）不同功率或不同品牌的 HB-LED 具有不同的特征，MCU 可以通过软件编程以满足不同的驱动要求。在这种情况下，照明设备制造商可以减少库存的类型，进而简化物流处理工作。
- （3）许多 MCU 具有芯片闪存，可以用于应用中的数据存储。例如，在实施灯光亮度控制功能时，芯片闪存可用于保存亮度级别。每次打开灯光时可以自动恢复上一次的亮度级别。
- （4）除照明外，MCU 还可以处理几种功能，如不同类型的连接标准（如 Zigbee、RS232 和 LIN 等）亦可以通过 MCU 芯片模块轻松实施。

## 拓扑

HB-LED 驱动需要恒定电源。它通常需要闭环控制。有时系统采用电池供电，电池电压会随时间而不断下降。在电池电量全部用完之前，需要反馈控制回路来保持恒定的驱动电流。此外 HB-LED 的正向电压  $V_F$  会随周围环境温度的变化而变

化，因此需要闭环控制来补偿  $V_F$  的变化，以便保持正向电流  $I_F$  以及 HB-LED 亮度的稳定。

人们一般采用转换模式调节方法而不是直线调节方法来驱动 HB-LED。开关调节器有着更高的功能转换效率及较适合用于数字设计上。

假设电源电压是高于所需的 HB-LED 正向电压，开关调节器会通过电源电压斩波来进行整流，控制斩波时的占空比可以控制输出的平均电流。斩波机制的执行很简单，只需使用一个功率场效应晶体管（MOSFET）充当开关来断开电源和用电设备之间的电流。MOSFET 由脉宽调制（PWM）输出控制，其中的斩波频率亦相等于 PWM 输出的频率。

通常情况下，如果电源电压和所需的负载电流都是恒定的，则不需要任何反馈控制环路（如图 1 所示）。开关调节器可以通过调节斩波频率或其占空比来控制设备的平均电流。然而有些情况这种拓扑并不适用。如所需设备电流比较大时，切断电流会产生较大的电流尖峰，而这可能会影响系统的电磁干扰（EMI）性能。

如果不要让设备上的电流被切断，则必须使用能源存储设备来确保当电源被切断时，电流亦不会被立刻切断。一个明智的选择是在设备的电路路径上添加电感。在 PWM 循环过程中，能量保存在电感中。电源被切断时，保存的能量释放出来，继续为设备供电。这种拓扑称为 buck 变换器（buck converter）。图 2 是常见 buck 变换器的示意图。

## **Buck 变换器**

Buck 变换器只能用于执行降压操作，就是当电源电压是高于所需要的设备电压时。如图 2 所示，当电源开关 SW1 闭合时，输入电压  $V_{IN}$  连接到电感 L 的输入端。逆向偏压二极管能确保设备电流在一个方向上传输。与此同时，电感中保存

的能源不断增加。当电源开关断开时，电感中保存的电能量释放出来，电流流经二极管持续提供给设备。电感中存储的电能量逐渐减少，设备电流亦开始下降。

Buck 变换器的主要电能存储设备是电感。电感的设计必须确保有足够的电能存储空间，满足电源关闭期间（SW1 打开）的设备电源要求。对于 HB-LED 应用，HB-LED 需在恒定电流下工作，buck 变换器亦被认为只在连续导通状态（continuous conduction mode）下运行。

感应器电流有两种状态：通流状态（SW1 闭合）和断流状态（SW1 打开）。处于通流状态时，电感的电流开始直线上升，电流的最大变化可以使用下列公式计算：

$$I_{L(ON)} = \frac{(V_{IN} - V_{OUT})t_{ON}}{L} \quad (1)$$

其中  $t_{ON}$  是 SW1 闭合的时间。 $V_{OUT}$  是设备  $R_L$  上的电压。同样，处于断流状态时，电感电流在 SW1 打开期间下降，电流的最大变化可以使用以下公式计算：

$$I_{L(OFF)} = -\frac{(V_D - V_{OUT})t_{OFF}}{L} \quad (2)$$

其中  $t_{OFF}$  是 SW1 打开的时间。 $V_D$  表示二极管上的电压。假设  $t_{ON}$  与  $t_{OFF}$  之和是开关时间的总长短  $T$ ，那么  $t_{ON}$  亦可以计算为：

$$\begin{aligned} t_{ON} &= DT \\ t_{OFF} &= (1-D)T \end{aligned} \quad (3)$$

其中  $D$  是闭合时间的占空比。在理想情况下，逆向二极管的压降  $V_D$  为零，打开和关闭状态之间的电感电流之和是恒定的。如公式（4）所示，我们可以很容易地推断出来，buck 变换器的输出电压增益等于占空比  $D$  而且永远小于 1。

$$\frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = D \quad (4)$$

公式 (1) 和 (2) 定义了输出负载上的最大纹波电流。如果定义了可接受的纹波电流  $I_L$ 、开关频率  $SW1$  ( $1/T$ )、电源电压  $V_{IN}$  和目标输出电压  $V_{OUT}$ ，则可以通过公式 (1) 和 (3) 计算出所需的电感值。

## 闭环控制

使用 buck 变换器驱动 HB-LED 时，系统必须能够保持恒定的输出电流。输出电压或输出电流通过改变电源开关  $SW1$  的占空比直接进行控制。非常普遍的做法是采用低欧姆电阻（通常  $1\Omega - 5\Omega$ ）作为电流感应器来监控 HB-LED 的正向电流。该电阻将正向电流转换成电压，并与恒定参考电压  $V_{REF}$  进行比较。 $V_{REF}$  是预先定义的，而对应于所需的目标负载电流。如果电流感应器电压高于参考电压，则表示负载电流高于目标电流。反馈环路会减少占空比  $D$  来驱动电源开关。相反，如果电流感应器电压低于参考电压，占空比  $D$  则会增加。图 3 为闭环控制 buck 变换器的示意图。

在某些情况下，电源电压  $V_{IN}$  并不稳定，比如在利用电池为系统供电时。无论采用什么电源，要让输出电流保持一个恒定水平，就必须使用独立于电源电压的一个参考电压  $V_{REF}$ 。在所有备有模拟数字转换器 (ADC) 或模拟比较器 (ACMP) 的飞思卡尔 S08 和 RS08 MCU 芯片系列，内部都带有隙电压参考。该参考电压独立于 MCU 的电源电压  $V_{DD}$ ，通过 MCU 中的专用控制寄存器启动。

## MC9RS08KA2 系统

对于普通的 HB-LED 应用，MCU 控制系统的反馈回路。它测量 HB-LED 正向电流并调节电源开关的占空比，将 HB-LED 亮度保持在目标水平。因此，MCU 必须至少具有 PWM 驱动功能。通常情况下，30KHz -100KHz 的 PWM 输出频率就足够了。此外，MCU 应当能够执行电压测量，这是闭环控制系统必需的。

许多飞思卡尔 MCU 都能用于 HB-LED 照明应用。对于一般的 HB-LED 应用，可以使用 MC68HC908Qxx 系列。它支持 8 针脚封装，并带有专用的 PWM 模块和模拟数字转换 (ADC) 模块。对于成本敏感型应用，可以使用 MC9RS08KA2。它也支持 8 针脚封装，不带芯片 ADC，但包括模拟比较器 (ACMP)，这对 HB-LED 应用来说也已经足够了。

图 4 是基于 MC9RS08KA2 的简单 buck 变换器系统示意图。在很多情况下，应用电源电压  $V_{IN}$  与 MCU 的电源电压 ( $V_{DD}$ ) 不同。有时需要使用特定的电压调节器（可以是一个简单的接地齐纳二极管）将  $V_{IN}$  降低到 MCU 操作范围  $V_{DD}$ 。此外还需要电平转换器，使 MCU 能够拨动电压高于 MCU  $V_{DD}$  的高端开关 SW1。

HB-LED 的正向电流是通过电阻器  $R_{SENSE}$  测量的。KA2 收集电压测量  $V_{SENSE}$  值，并与简易电位计创建的固定参考电压  $V_{REF}$  进行比较。如果  $V_{SENSE}$  高于  $V_{REF}$ ，表示 HB-LED 正向电流高于目标值。这时 KA2 会逐渐降低驱动 SW1 的占空比，直到  $V_{SENSE}$  降低到参考值以下。相反，当  $V_{SENSE}$  低于  $V_{REF}$  时，占空比会逐渐增加，直到  $V_{SENSE}$  增加到  $V_{REF}$  以上。

### 亮度控制

HB-LED 驱动电流由参考电压  $V_{REF}$  定义。如图 4 所示， $V_{REF}$  由一个简易电位计定义。 $V_{REF}$  的变化是通过改变电位计电压进行的。图 4 显示了实现这一目标的简易方法。KA2 的一个通用输入输出端（如 PTA5）将一个附加电阻器  $R3$  连接到电位计上。当选择 PTA5 作为输入端时，它便成为高阻抗， $R3$  漂浮不定，电位计输出只由  $R1$  和  $R2$  定义。如果需要更低的参考电压，PTA5 就变为低位输出，通过  $R3$  的附加电流会降低参考电压。随着  $V_{REF}$  的降低，HB-LED 正向电流会相应地调节而改变亮度水平。利用相同的方法可定义出更多的参考点来输入更多亮度水平。

## 电源电压的补偿

如果应用只需一个亮度水平，就无需将电位计连接到 KA2 模拟比较器的端子上。KA2 比较器的正极端子已备有内部带隙电源， $V_{SENSE}$  可以利用此电源电压参考进行比较。KA2 上有一个专用控制位可用于启动此电压参考。当该参考启动时，相应的 MCU 引脚变成通用输入输出端。带隙电源电压水平固定在 1.24V 而不受 MCU 电源电压  $V_{DD}$  的影响。

无论  $V_{IN}$  的变化是否反应到 MCU  $V_{DD}$  上，通过对比  $V_{SENSE}$  和固定参考点 1.24V，MCU 可以调节 PWM 的占空比，从相应地补偿  $V_{IN}$  的变化，而令输出电流保持一个恒定水平。

## 软件控制回路

KA2 没有专用的 PWM 模块。在软件设计的主循环中，可以监控来自  $R_{SENSE}$  的反馈电压，并产生 PWM 控制的波形作为 SW1 的开关操作。PWM 打开状态和关闭状态的长短由芯片定时器溢出的时间确定。

图 5 显示了一般的软件控制流程。重启后，MCU 开始初始化程序。PWM 打开时间初始化为它的最小值。主控制回路保存两个变量：打开时间和关闭时间变量。这两个变量按相反方向调节，以便将整体时间长短保持在恒定水平。打开时间和关闭时间一同确定可调节的占空比，该值和软件开销共同定义 PWM 周期的长短。

任何用以执行其它功能（如亮度调节）的人机界面都可以添加到软件的主控制循环上。添加的软件编码被视为软件开销，会影响整体 PWM 输出周期的长短。

PWM 输出周期长短应保持恒定，由要控制循环中执行的 CPU 周期总数确定。所需的 PWM 频率越高，主控制循环的编码预算越低。例如，如果 PWM 频率要求为

50KHz，KA2 允许的最大总线频率为 10MHz，在这种情况下主控制循环必须保持在 200 个 CPU 周期。该数字包括软件开销及 SW1 打开时间和关闭时间的总和（也就是可调节的占空比）。比如说，如果打开时间和关闭时间总和为 128 个 CPU 周期，则 200 个周期中的 72 个就成了软件开销，该主循环的可控制占空比范围则为  $72/200=36\%$  到 100%。

### 结语

基于 MCU 的解决方案可为应用提供全面灵活性。目前，即使最低端的 8 位 MCU 都具有足够的 CPU 带宽，不仅能执行 DC-DC 操作，还可以在应用中增加更多功能而几乎不需要增加成本。MCU 的设计目标是实现全面的解决方案。飞思卡尔提供的 MCU 亦支援各种通信标准，如射频（RF）连接领域的 Zigbee、有线连接领域的 LIN、CAN 和 DMX512 等，这为 LED 照明提供了巨大的应用空间。

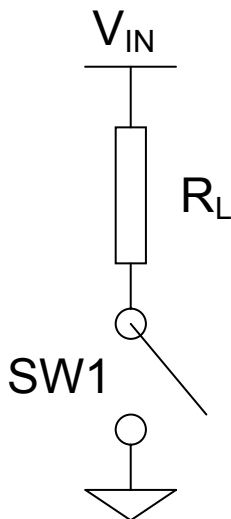


图 1. 直接斩波拓扑

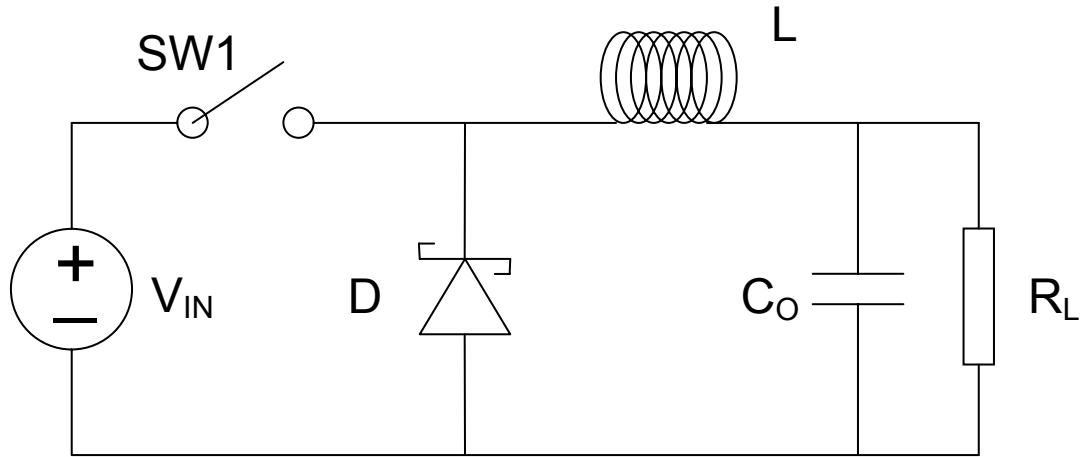


图 2. Buck 变换器拓扑

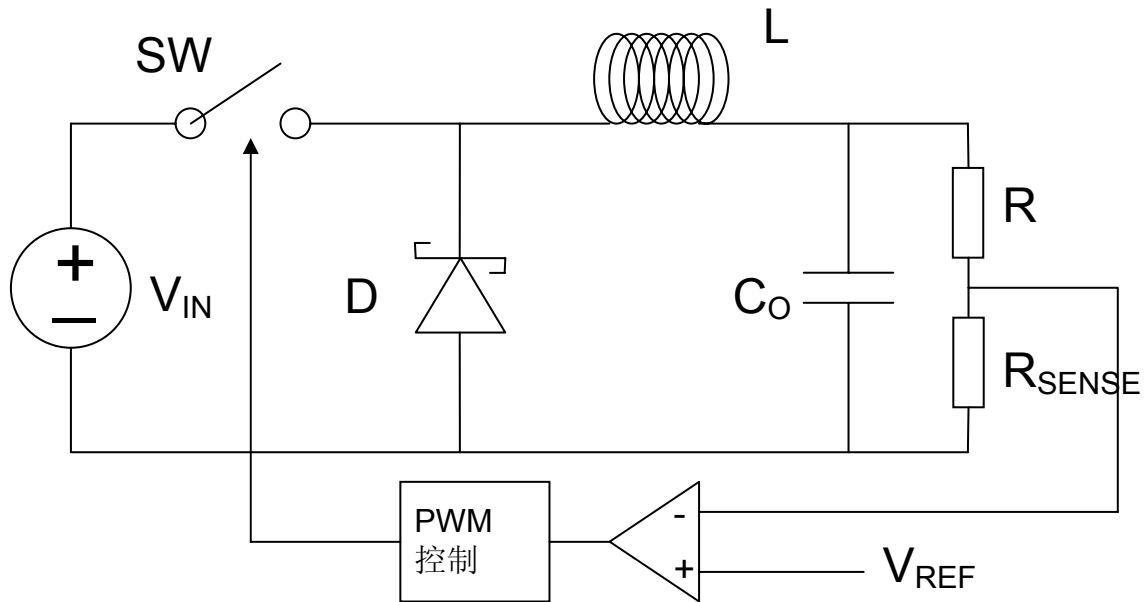


图 3. 闭环控制 buck 变换器

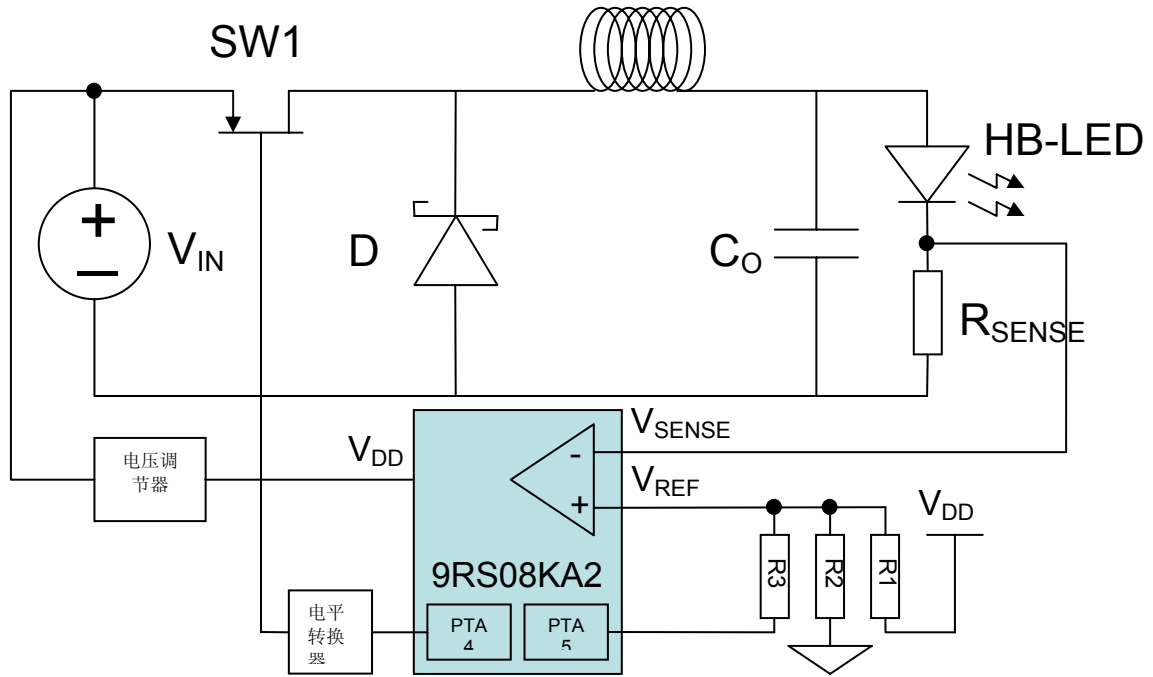


图 4. 基于 MC9RS08KA2 的 buck 变换器系统

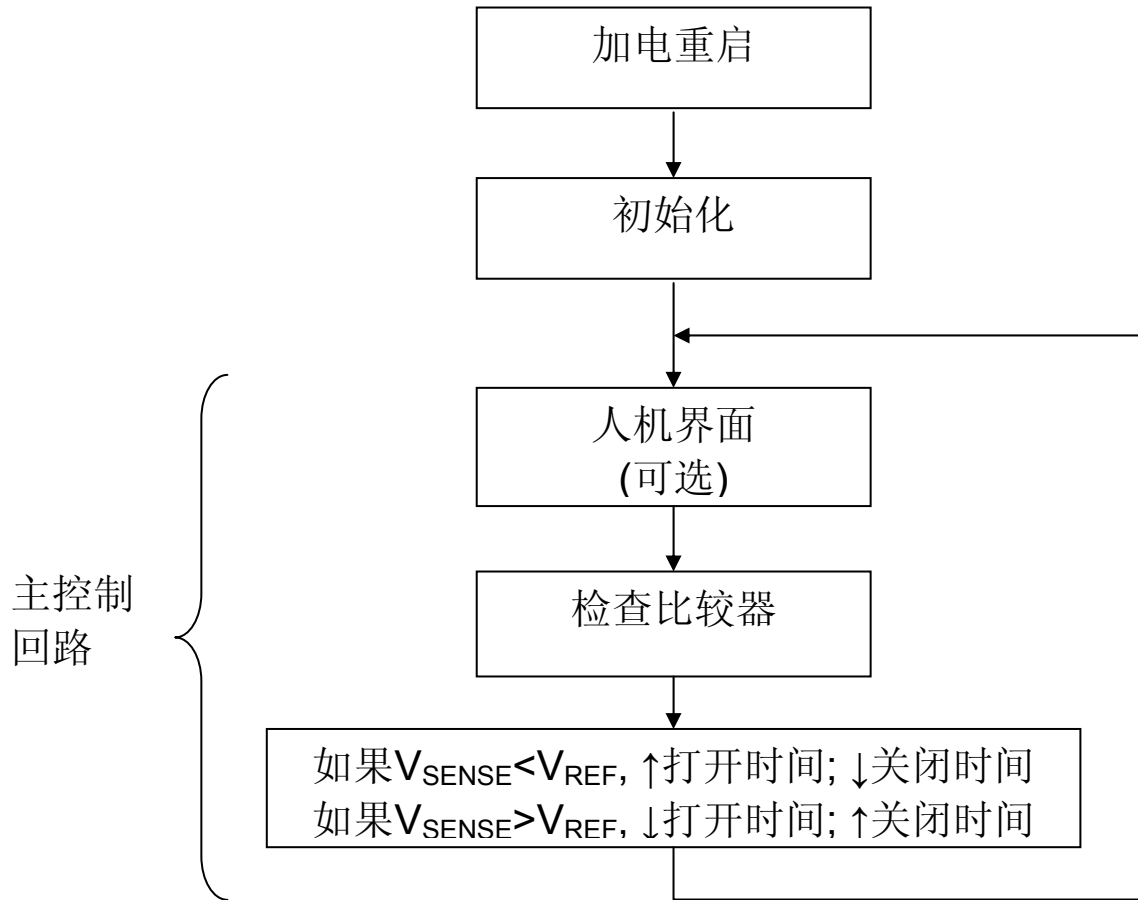


图 5. MC9RS08KA2 的软件控制流程