

BX MCU PWM 驱动 RGB LED 应用范例

文件编号: AN0003SC

简介

在现代嵌入式系统设计中, RGB LED 作为一种多功能光源, 常用于创造多彩灯光效果。利用 MCU 的 PWM 技术, 可实现亮度和颜色控制, 为 RGB LED 的应用增添吸引力和多样性。芯群推出的 BX66R002/BX68R002、BX66R003/BX68R003、BX66R004/BX68R004、BX66R0025, 每款均提供 1~3 组脉冲宽度调变(PWM)输出, 通过对 PWM 寄存器的特定值设定, 提供占空比可调而频率固定的 PWM 输出信号。这一特性在许多领域被广泛运用, 包括 LED 亮度调节以及一般消费性和控制性产品, 如小家电、电子玩具以及电机速度控制等。本文将通过讲解使用 MCU PWM 驱动 RGB LED 的实例, 帮助用户更好地理解该系列 MCU 所提供的 PWM 功能。

功能说明

RGB LED 灯效实现方法

呼吸灯效果的实现方法核心在于对 LED 亮度的精细调控。呼吸灯效果是指 LED 的亮度逐渐变化, 模拟出类似呼吸的节奏。这种效果通常应用于灯光设计, 主要目的是营造出一种柔和、温暖且富有节奏感的氛围。在实现呼吸灯效果时, 通常使用 8-bit PWM 模式。这种模式可实现亮度的平滑过渡, 避免出现明显的亮度跳跃。8-bit PWM 模式凭借足够的细节, 为用户实现预期的呼吸灯效果提供充足的空间。

对于 RGB LED 的控制, 可通过调整相应 PWM 信号的强度来控制三个通道颜色。例如, 每个通道都具 8-bit 的 PWM 分辨率, 这意味着每个通道最多有 256 种不同亮度级别。因此, 颜色的最大组合数量为每个通道 256 种亮度级别相乘, 即 $256 \times 256 \times 256$, 总计达到 16777216 种颜色。

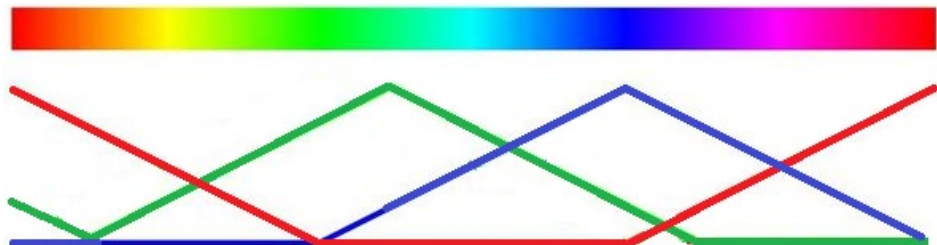


图 1. 七彩渐层与 RGB 比例示意图

在 PWM 功能控制中，包括 PWM 调变、亮度细致模式控制以及 PWM 输出极性功能寄存器设置。为了提高 PWM 调变频率，可采用 (7+1) 位或 (6+2) 位模式划分每个调变周期，以有效地调整亮度。在 LED 控制中，使用 8-bit 的 PWM 模式可实现精细的亮度调节，而相关的寄存器设定则存储在数据存储器中，方便对 PWM 模块的灵活配置和控制。

PWM 模式说明

这一系列 MCU 内置 8-bit 及 16-bit 定时/事件计数器，且皆可配置数种工作模式。其中 8-bit 计数器还可配置用于 PWM 输出。本小节主要对 PWM 模式功能作详细介绍。

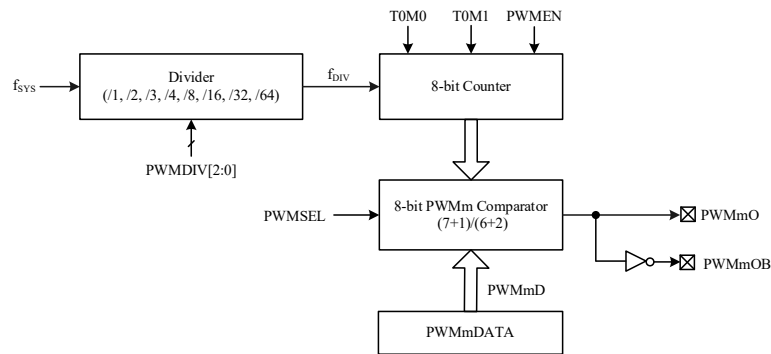


图 2. PWM 模式方框图

注意， $m=A、B$ 或 C ，且仅有 PWMAO 有反相输出引脚 PWMAOB。

使用 PWM 模式所需设定的寄存器及相关功能，如下表所示。

| 寄存器 | 功能 |
|-------------------|--|
| PxSn ^注 | Pin-shared 设定 PWM 输出引脚 |
| PWMC | PWM 模式设定、 f_{Div} 频率选择、调变周期设定 (6+2 或 7+1)、PWM 使能 |
| PWMmDATA | PWM 输出占空比设定 0~255 |

注：不同 MCU，所使用 I/O 引脚不同，具体寄存器名称请参考相应 MCU 的 Datasheet。

PWM 频率来源设定

PWM 频率来源为系统时钟，PWM 时钟可以是系统时钟的进一步分频，下图为 MCU 系统时钟选择图示。

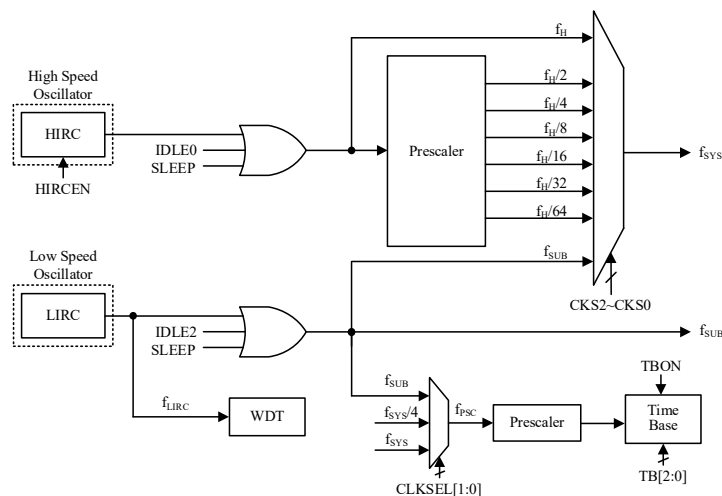


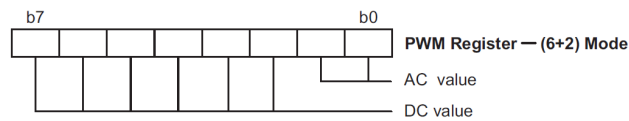
图 3. 单片机频率选择

在系统时钟配置或 PWM 时钟分频选择时，有以下几点提示：

- 在实际应用中，应根据具体的需求选择合适的时钟源。如在需要高 PWM 频率的应用中，应选择高速时钟。或在 LED 照明应用中，通常需要较高的 PWM 频率来控制 LED 的亮度。
- 若对功耗有要求的应用，如在电池供电的应用中，可选择中速或低速时钟来降低功耗。
- 以上选择不同的时钟源会影响 PWM 频率、功耗和系统稳定性。因此，MCU 的 PWM 频率来源设定，应根据用户具体的应用需求进行选择。

(6+2) 位 PWM 模式调制说明

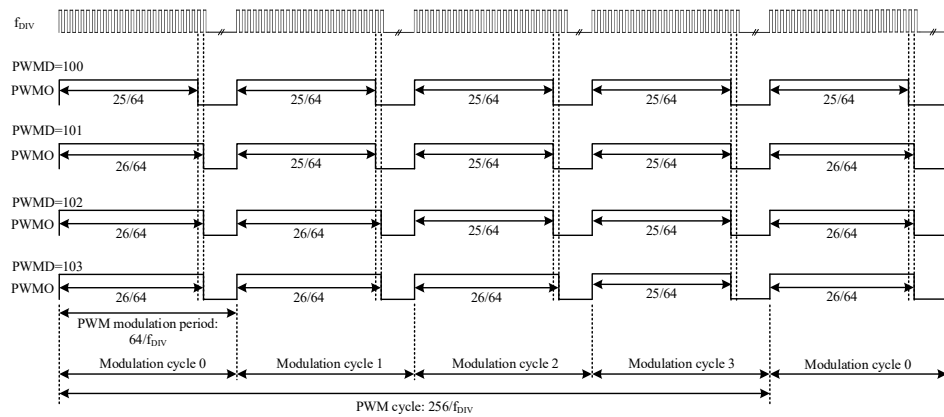
在 (6+2) 位模式中，一个 PWM 周期又被分成 4 个调制周期，称为调制周期 0 ~ 调制周期 3。每个子周期包含 64 个 PWM 输入时钟周期。在这个模式下，PWMmDATA (以下为方便说明，将简称为 PWMmD 或 PWMD) 被分成两个部分。



第一部分包括 PWMmD 的 bit 7 ~ bit 2 位，表示 DC 值，决定调制周期的占空比；第二部分为 PWMmD 的 bit 1 ~ bit 0 位，表示 AC 值，决定调制周期的变化范围。下表总结了在 (6+2) 位模式下 PWM 输出信号的调制频率、调制周期占空比、PWM 周期频率和 PWM 周期占空比的概况。

| 调制频率 | 调制周期 i | 调制周期占空比 | PWM 周期频率 | PWM 周期占空比 |
|--------------|------------|-------------------------|---------------|------------|
| $f_{Div}/64$ | $i=0\sim3$ | $i < AC$ $i \geq AC$ | $f_{Div}/256$ | $PWMD/256$ |

(6+2) 位 PWM 模式概况



(6+2) 位 PWM 模式调制波形

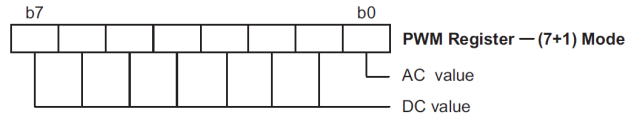
(6+2) 位 PWM 模式调制波形如上图所示，以下通过举例对此图进行说明。

例如，若 PWMD 为 0b0110 0100 (即十进制 100)，则 DC 值为 0b011001 (即十进制 25)，故占空比的计算为 25/64。AC 值为 00，根据上述表格内容可知，无“ $i < AC$ ”的情形，故 4 个调制周期的占空比皆为 25/64。

若 PWMD 为 0b0110 0101 (即十进制 101)，则 DC 值同样为 0b011001 (即十进制 25)。但此时 AC 值为 01，故根据上述表格内容可知，调制周期 0 的占空比为 26/64，调制周期 1~3 的占空比为 25/64。后续的 PWMD 值以此类推。

(7+1)位 PWM 模式调制说明

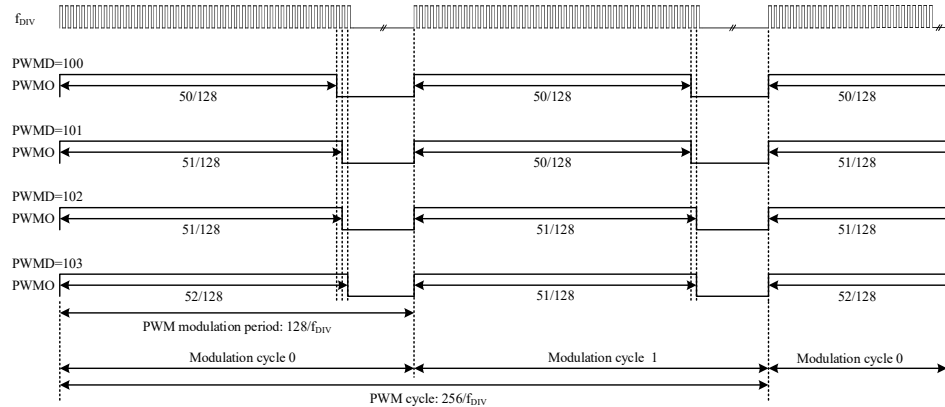
在(7+1)位模式中，一个 PWM 周期又被分成 2 个调制周期，称为调制周期 0 ~ 调制周期 1。每个子周期包含 128 个 PWM 输入时钟周期。在这个模式下，PWMDATA(以下为方便说明，将简称为 PWMmD 或 PWMD)被分成两个部分。



第一部分包括 PWMmD 的 bit 7 ~ bit 1 位，表示 DC 值，决定调制周期的占空比；第二部分为 PWMmD 的 bit 0 位，表示 AC 值，决定调制周期的变化范围。下表总结了在(7+1)位模式下 PWM 输出信号的调制频率、调制周期占空比、PWM 周期频率和 PWM 周期占空比的概况。

| 调制频率 | 调制周期 i | 调制周期占空比 | | PWM 周期频率 | PWM 周期占空比 |
|---------------|--------|---------|------------|---------------|-----------|
| $f_{DIV}/128$ | i=0~1 | i < AC | (DC+1)/128 | $f_{DIV}/256$ | PWMmD/256 |
| | | i ≥ AC | DC/128 | | |

(7+1)位 PWM 模式概况



(7+1)位 PWM 模式调制波形

(7+1)位 PWM 模式调制波形如上图所示，以下通过举例对此图进行说明。

例如，若 PWMD 为 0b0110 0100(即十进制 100)，则 DC 值为 0b0110010(即十进制 50)，故占空比的计算为 50/128。AC 值为 0，根据上述表格内容可知，无“i < AC”的情形，2 个调制周期的占空比皆为 50/128。

若 PWMD 为 0b0110 0101(即十进制 101)，则 DC 值同样为 0b0110010(即十进制 50)。但此时 AC 值为 1，故根据上述表格内容可知，调制周期 0 的占空比为 51/128，调制周期 1 的占空比为 50/128。后续的 PWMD 值以此类推。

(6+2)位或(7+1)位 PWM 模式选择

以下是(6+2)位或(7+1)位 PWM 模式调制的实际应用选择建议：

- **照明系统与颜色控制：**在高质量照明的场景中，如室内照明或展示照明，可能更倾向于使用(6+2)位模式。因(6+2)位模式可提供更高的 PWM 调变频率，从而减少闪烁和视觉疲劳。而在一些低要求的应用中，如背景、一般照明、颜色控制，(7+1)位模式已经能满足需求。
- **能源效率：**如果能源效率是关键考虑因素，则需考虑使用(7+1)位模式。因其 PWM 调变频率较低，这或许有助于节省能源。

- 应用需求：有些应用可能对 PWM 调变频率的要求非常严格，例如：摄影和录像设备中的 LED 照明。在这种情况下，(6+2) 位模式可能更为合适，因可提供更高的调变频率，有助于避免在摄影和录像中出现闪烁问题。

应用说明

本章节提供一个具体的应用范例，以 MCU BX66R003 为例，介绍其应用电路与软件流程，以供开发参考。

硬件说明

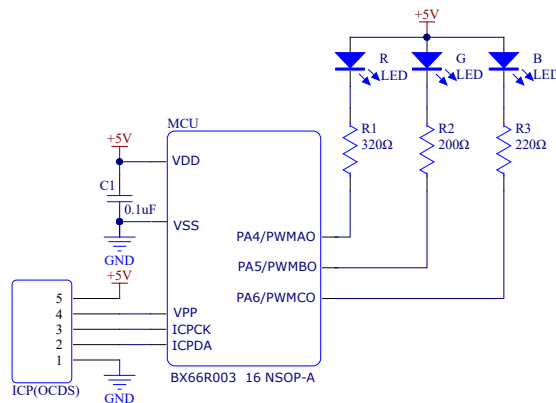


图 4. BX66R003 RGB LED 应用电路图

该电路是个简单的 RGB LED 控制电路。MCU 通过 PWMAO、PWMB0 及 PWMC0 三个 PWM 信号输出脚分别控制三颗 LED 的亮度。用户可依实际情况修改该电路，以提高其性能和可靠性。

以下是应用电路建议及注意事项：

1. 应用电路建议添加 0.1μF 稳压电容(图中 C1)。
2. 应用电路建议依不同 RGB LED 产品调整限流电阻(图中 R1、R2、R3)。
3. LED 限流电阻需分别将电流限至 10mA，避免在有 Load 的情况下且三个通道同时输出 PWM 时， V_{DD} 大于 5.5V 造成 PWM 频率抖动现象。

软件说明

MCU 操作环境及资源使用情况

| 项目 | BX66R003 |
|----------|---|
| V_{DD} | 5V |
| 工作频率 | 8MHz |
| ROM | 使用 167×16 ，占用16% |
| RAM | 使用 8×8 ，占用12% |
| Stack | 使用1层 |
| WDT | 除能 |
| 其他外围 | 1 PWMAO：红色LED控制 1 PWMB0：绿色LED控制 1 PWMC0：蓝色LED控制 |

表 1. 软件使用资源

软件流程图

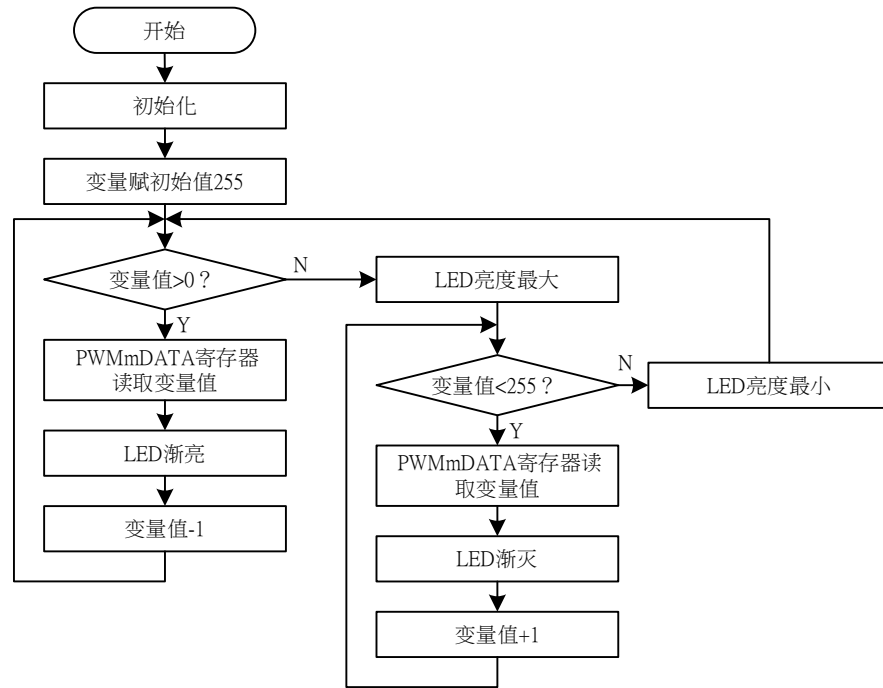


图 5

上图为单颗 LED 渐亮与渐灭效果交替呈现的流程图。用户可依实际应用调整 LED 亮灭顺序以及 LED 个数。

1. 初始化：WDT 除能、系统时钟初始化、引脚共用功能初始化、PWM 初始化。
2. 变量赋初始值：本范例设定为 255，用户可依实际应用设定此初始值，范围 0~255。
3. PWMmDATA 寄存器读取变量值：通过 PWMmDATA 寄存器读取变量的值，此 PWMmDATA 寄存器包含 PWM 信号的占空比，即高电平的时间比例。
4. LED 渐亮：本范例 LED 采用共阳极接法，故输出 PWM 信号的占空比逐渐减小时，LED 亮度逐渐增大。

三路同时输出 PWM 波形

条件：选择 (7+1) 位 PWM 模式，固定输出 250Hz (分别独立 PWM 输出 Duty cycle: 393 μ s、1.64ms、1.318ms)。

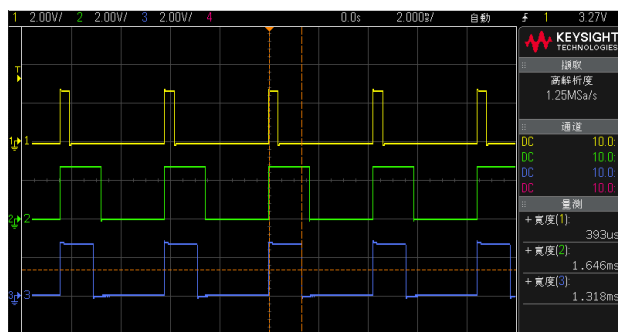


图 6

结论

本文详细讲解了此系列 MCU 的 (6+2) 位与 (7+1) 位 PWM 模式，结合实例介绍了驱动 RGB LED 的应用。该实例不仅实现 RGB 灯光的混色效果，还能够通过对 RGB LED 亮度的精细调控，呈现出呼吸灯的效果。希望能够帮助客户快速上手。

参考资料

参考文件 BX66R003 Datasheet。

如需进一步了解，敬请浏览芯群官方网站 www.xinqunsemi.com.cn。

版本及修改信息

| 日期 | 作者 | 发行 | 修订说明 |
|------------|-----|-------|-------|
| 2024.04.12 | 蔡俊男 | V1.00 | 第一版发行 |

免责声明

本网页所载的所有数据、商标、图片、链接及其他数据等（以下简称「数据」），只供参考之用，芯群集成电路(厦门)有限公司及其关联企业（以下简称「本公司」）将会随时更改数据，并由本公司决定而不作另行通知。虽然本公司已尽力确保本网页的数据准确性，但本公司并不保证该等数据均为准确无误。本公司不会对任何错误或遗漏承担责任。

本公司不会对任何人士使用本网页而引致任何损害（包括但不限于计算机病毒、系统故障、数据损失）承担任何赔偿。本网页可能会连结至其他机构所提供的网页，但这些网页并不是由本公司所控制。本公司不对这些网页所显示的内容作出任何保证或承担任何责任。

责任限制

在任何情况下，本公司并不须就任何人由于直接或间接进入或使用本网站，并就此内容上或任何产品、信息或服务，而招致的任何损失或损害负任何责任。

管辖法律

以本公司所在地法律为据法，并以本公司所在地法院为第一审管辖法院。

免责声明更新

本公司保留随时更新本免责声明的权利，任何更改于本网站发布时，立即生效。