

LED 照明设计之脉冲调制 PWM 电路详解

LED 照明作为新一代照明受到了广泛的关注。仅仅依靠 LED 封装并不能制作出好的照明灯具。本文主要从电子电路、热分析、光学方面阐述了如何运用 LED 特性进行设计。

在上一期的“LED 驱动电路设计—基础篇”中，介绍了 LED 的电子特性和基本的驱动电路。遗憾的是，阻抗型驱动电路和恒电流源型驱动电路，大范围输入电压和大电流中性能并不强，有时并不能发挥出 LED 的性能。相反，用脉冲调制方法驱动 LED 电路，能够发挥 LED 的多个优点。这次主要针对运用脉冲调制的驱动电路进行说明。

PWM 是什么？

脉冲调制英文表示是 Pulse Width Modulation，简称 PWM。PWM 是调节脉冲波占空比的一种方式。如图 1 所示，脉冲的占空比可以用脉冲周期、On-time、Off-time 表示，如下公式：

占空比 = On-time (脉冲的 High 时间) / 脉冲的一个周期
(On-time + Off-time) Tsw (一周期) 可以是开关周期，也可以是 $F_{sw}=1/T_{sw}$ 的开关频率。

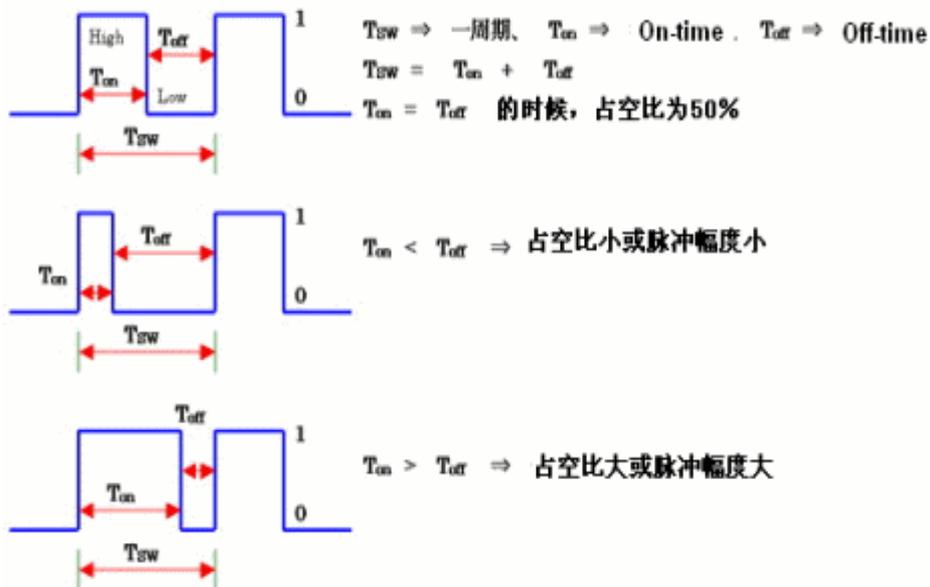


图 1 Pulse Width Modulation (PWM)

在运用 PWM 的驱动电路中，可以通过增减占空比，控制脉冲一个周期的平均值。运用该原理，如果能控制电路上的开关设计（半导体管、MOSFET、IGBT 等）的打开时间（关闭时间），就能够调节 LED 电流的效率。这就是接下来要介绍的 PWM 控制。

PWM 信号的应用

PWM 控制电路的一个特征是只要改变脉冲幅度就能控制各种输出。图 2 的降压电路帮助理解 PWM 的控制原理。在这个电路中，将 24V 的输入电压转换成 12V，需要增加负载。负载就是单纯的阻抗。电压转换电路的方法有很多，运用 PWM 信号的效果如何呢？

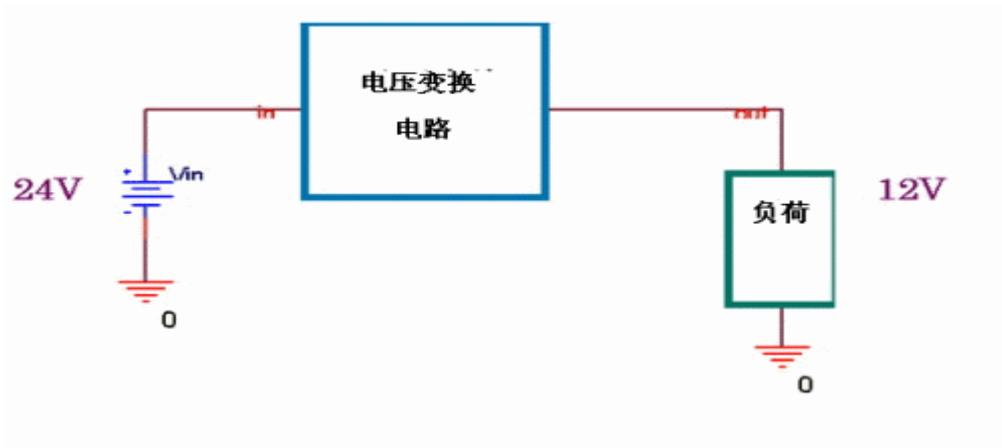


图 2 降压电路

在图 2 的降压电路中取 PWM 控制电路，如图 3 所示。MOSFEL 作为开关设计使用。当 PWM 信号的转换频率数为 20kHz 时，转换周期为 $50\mu s$ 。PWM 信号为 High 的时候，开关为 On，电流从输入端流经负载。当 PWM 信号处于 Low 状态时，开关 Off，没有输入和输出，电流也断掉。

这里尝试将 PWM 信号的占空比固定在 50%，施加在开关中。

开关开着的时候电流和电压施加到负载上。开关关着的时候因为没有电流，所以负载的供给电压为零。如图 4 绿色的波形、V (OUT) 可在负载中看到输出电压。

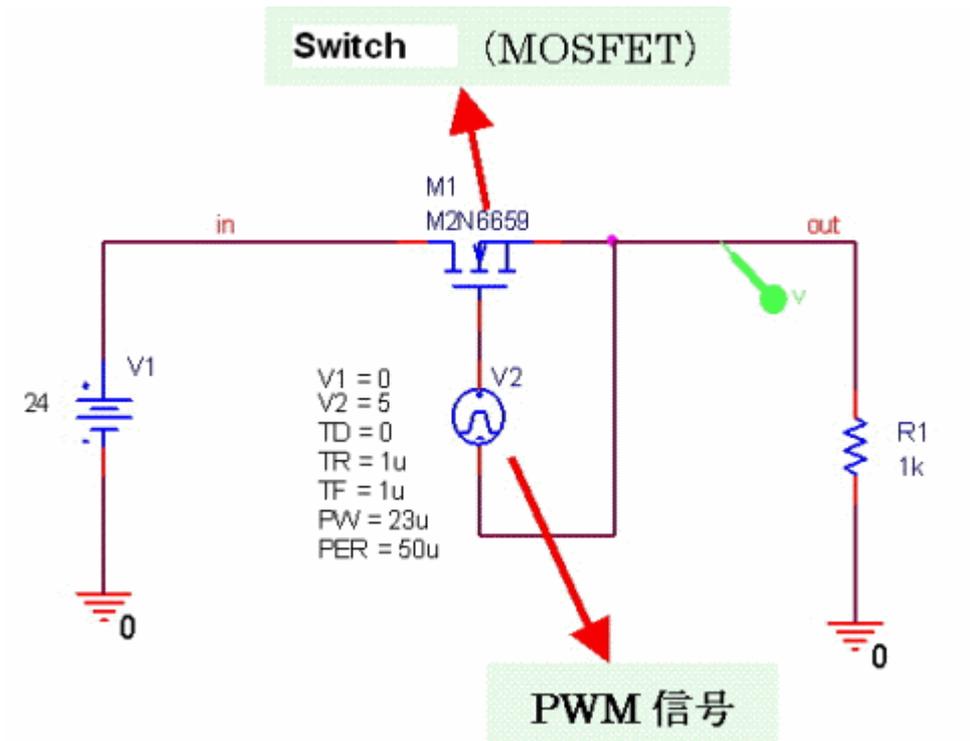


图 3 运用 PWM 信号的降压电路



图 4 解析结果 占空比: 50%

输入电压是直流，通过脉冲信号得到输出电压在负载的前端（开关的后端）插入平滑电路，就可以得到如图 4 所示的茶色的波形。输出脉冲的平均值约 12V 时，直流电压可以供给负载。

但如果不是 12V，而是想得到 6V 的输出电压时，应该怎么做？PWM 控制的优点实际就在此。只需改变脉冲幅度就可以了。实际上，只需设定占空比为 25% 就可以得到平均输出 6V 的电压。图 5 和图 6 表示的是这种情况下的电路和解析结果。

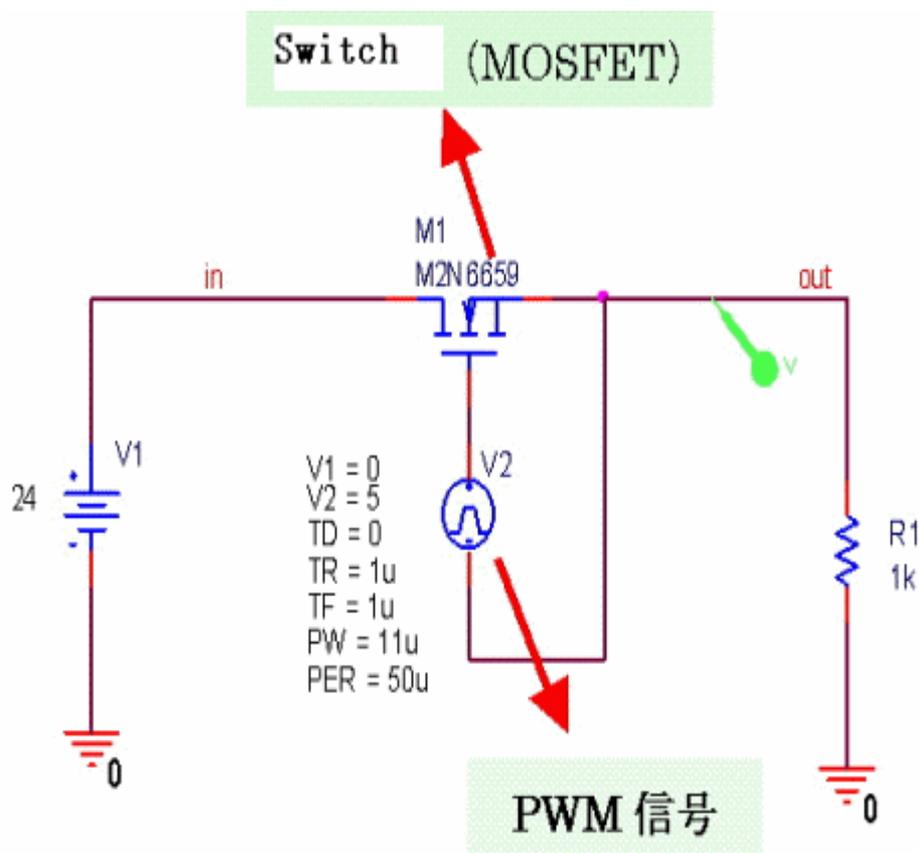


图 5 运用 PWM 信号的降压电路

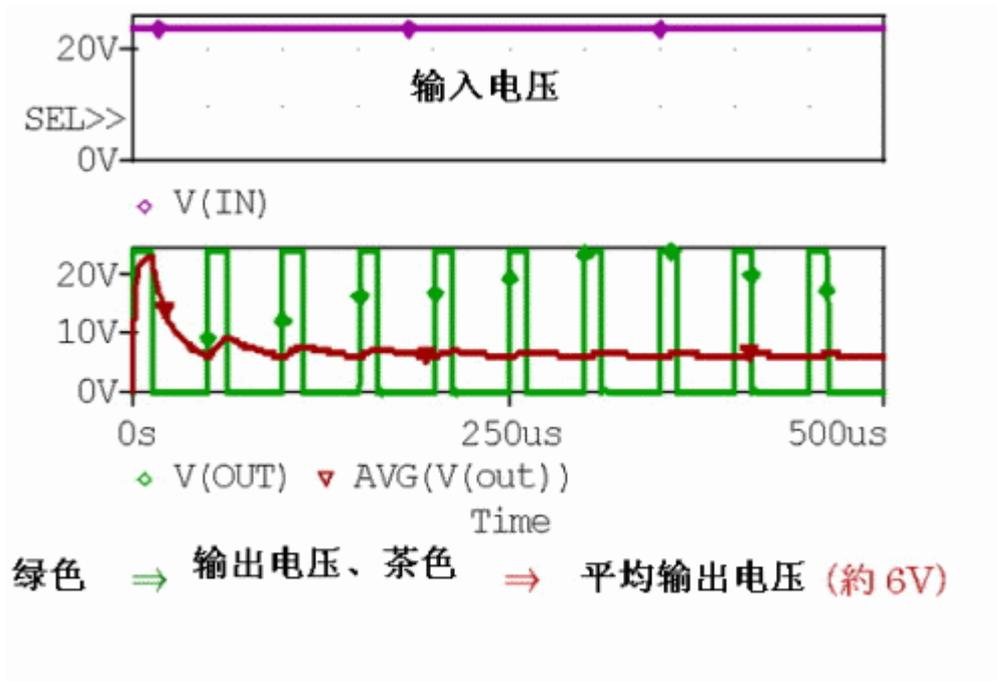


图6 解析结果 占空比约 25%

以上结果表明，降压电路中，输入输出电压的关系可以表示为：

输出电压 = PWM 信号的占空比 × 输入电压

也就是说只要改变 PWM 信号的占空比，就可以得到任意的输出电压。接下来介绍在实际产品设计中运用降压转换器电路驱动 LED 的方法。

PWM 驱动电路例子

如图 7 所示，在前述的降压电路中追加线圈、电容、二极管的电路。在这里没有考虑反馈电路。这里使用的是飞利浦照明的 LUXEON 系列的 LXM3-PW71 LED。LED（负载）的前端插入的线圈和电容构成平滑电路，通过转换使得脉冲输出平均化。线圈前端的二极管即使在开关关着的时候也能持续向线圈供给电流。降压转换器通常作为

电压转换电路使用，但是在驱动 LED 时，则需要控制电流而不是电压。

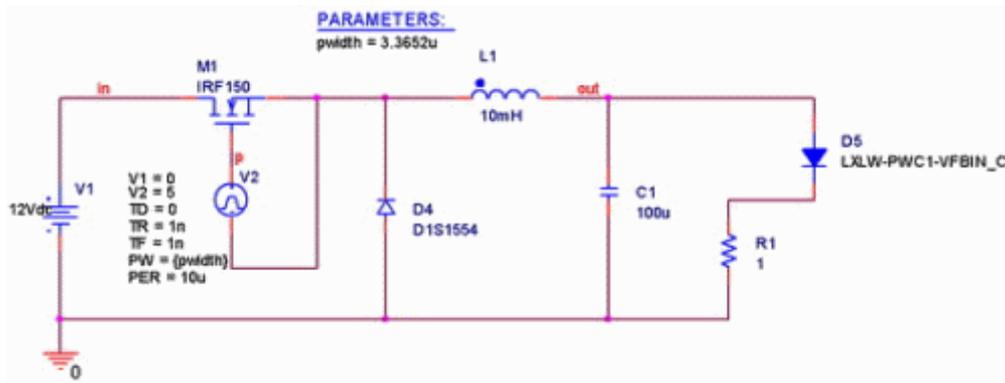


图 7 PWM 驱动电路降压转换的例子

认图 7 的电路构成。当脉冲信号处于 0n 的状态，也就是开关设计处于 0n 的状态时，电流按照输入信号—开关—线圈—负载的顺序流动。当开关设计处于 0ff 的状态时，电流按照二极管—线圈—负载的顺序流动。因此要控制线圈中的电流实际上等同于控制 LED 中的电流。在正极和负极间施加 3.0V 的电压的话，可以从数据库中看到，LXM3-PW71 的电流约 350mA。输入电压为 12V 时，设定脉冲波的占空比为 25% ($12V \times 0.25 = 3V$)，就能得到 3V 的电压。当转换频率数为 100kHz 时，转换周期为 $10 \mu s$ ，脉冲幅度为 $2.5 \mu s$ 。但是，负载只在顺阻抗的情况下成立，实际在负载中运用 LED 时，根据电流大小负载特性也有变化，电流约为 350mA 时，脉冲幅度调制约为 $3.36 \mu s$ 。验证电路的结果如图 8 所示。

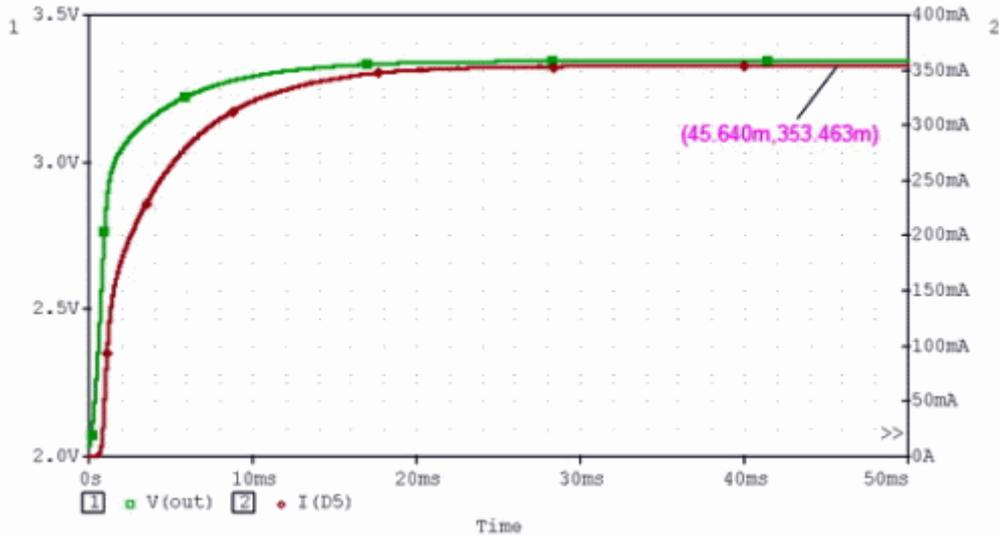


图 8 PWM 驱动电路的验证结果

LED 中的电流发生变化，线圈中的电流也变化。通过传感电路检测线圈电流的变化，只要控制开关的打开时间，就能够使得 LED 负载中的电流恒定。增加 PWM 的占空比，就能增加 LED 中的电流，也能增加亮度。比较阻抗驱动型电路和恒定电流源型驱动电路，改变 PWM 的占空比比改变阻抗值和电路常量更高效，也因此能了解 PWM 控制的便利性。

这次介绍的降压转换器运用于 LED 驱动中需要电压比输入电压低的情况。根据照明灯具、用途不同，有时需要同时驱动多个 LED，这样会出现所有的 LED 驱动中的必需电压比输入电压高。这种情况下，就需要使用能够制作比输入电压高的电压的升压转换器。

在 LED 照明中，有效利用电力的同时还需要小型化。照明灯具中，将输入电压转为 LED 驱动电压的时候，会出现转换损耗，转换损耗越大容易引起热的问题。同时，如果开关频率数增加，变压

器和线圈会变小，虽然整个线路板能够实现小型化，但由于高开关频率数会导致转换损耗，出现高次谐波问题。因此，在 LED 的 PWM 驱动电路中，力争实现高效和少零部件。

为了保持照明灯具的亮度稳定或者调节亮度，需要在传感器中检测负载电流、进行控制演算、调整脉冲的占空比的反馈控制电路。本文没有对反馈控制电路进行介绍，但是值得注意的是，反馈控制电路包含电压控制、迟滞控制、类似迟滞控制、电流控制等多种。各种控制方式有优点也有缺点，需要我们根据照明灯具的作法和适用的电路方式选择最佳的控制方式。