

# 带电感的 PWM 调光方法

张光华,唐臻宇  
(四川大学,四川 成都 641400)

**摘要:** 介绍通过在 PWM 调光驱动电路中引入电感,达到平均电流的作用。从模拟和实验角度得出了驱动电路中电感大小的确定方法,并深入分析了此驱动电路中 LED 上电流值和 PWM 波占空比之间的函数依赖关系,可由计算机通过 RS-485 对 LED 亮暗程度实现实时、细致的多档位控制。

**关键词:** LED; 占空比; 电感; 多档位

中图分类号: TP274

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2011)19-0076-02

## Method of PWM dimmer with inductance

Zhang Guanghua, Tang Zhenyu  
(Sichuan University, Chengdu 641400, China)

**Abstract:** This paper introduces driving circuit of digital dimmer which using inductance to smooth the current, and how to get the inductance's size from simulation and experiment, also analyzes the function between the current of LED and the duty cycle of PWM, at last uses the computer changes the degree of LED real-timely by RS-485 to achieve control of multi-position selective switch.

**Key words:** LED; duty cycle; inductance; multi-position

LED 是一种固态电光源,是一种半导体照明器件,其电学特性具有很强的离散性。它具有体积小、机械强度大、功耗低、寿命长,便于调节控制及无污染等特征,有极大发展前景的新型光源产品。LED 调光方法的实现分为两种:模拟调光和数字调光,其中模拟调光是通过改变 LED 回路中电流大小达到调光;数字调光又称 PWM 调光,通过 PWM 波开启和关闭 LED 来改变正向电流的导通时间以达到亮度调节的效果<sup>[1]</sup>。模拟调光通过改变 LED 回路中的电流来调节 LED 的亮度,缺点是在可调节的电流范围内,可调档位受到限制;PWM 波调光可通过改变高低电平的占空比来任意改变 LED 的开启时间,从而使亮度调节的档位增多。本文拟用两种方法共同作用,以达到调节 LED 亮度的效果。

### 1 LED 调光方法

模拟调光是通过改变 LED 回路中电流大小达到调光,电源电压不变,通过改变  $R$  的电阻值来改变回路中的电流,从而达到改变 LED 亮度的效果<sup>[2]</sup>。很多其他模拟调光都是采用这种方法的延伸,其优点是电流可连续,但可调节电流的范围往往受到硬件的限制,调节档位不多,对于要求亮度感应敏感的高精度采光设备,这

种方法不理想。

数字调光又称 PWM 调光,通过 PWM 波开启和关闭 LED 来改变正向电流的导通时间,以达到亮度调节的效果。该方法基于人眼对亮度闪烁不够敏感的特性,使负载 LED 时亮时暗。如果亮暗的频率超过 100 Hz,人眼看到的就是平均亮度,而不是 LED 在闪烁。PWM 通过调节亮和暗的时间比例实现调节亮度,在一个 PWM 周期内,因为人眼对大于 100 Hz 内的光闪烁,感知的亮度是一个累积过程,即亮的时间在整个周期中所占得比例越大,人眼感觉越亮。但是对于一些高频采样的设备,如高频采样摄像头,采样时有可能恰好采到 LED 暗时的图像。因此本文将模拟和数字相结合,设计了 LED 的驱动电路。

### 2 采用电感的 PWM 调节方法

#### 2.1 驱动电路

电路中,当电感上通有电流时,电感会产生磁场,即部分电流转换成磁能的方式“存储”在电感中;当不再向电感上通电流时,电感会将磁能通过电流的方式在回路中释放出来。这也是电感上电流不能突变的原因,基于电感的这种“充放电”原理,可以将它用来平均 PWM 波

技术与方法 Technique and Method

调光中产生的不连续电流。式(1)、式(2)分别是 LR 电路的充电和放电过程及电流与时间的关系。

$$I = I_f(1 - e^{-t/\tau}), \tag{1}$$

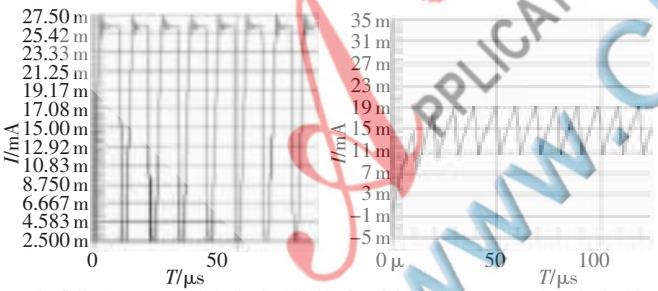
$$I = I_0 e^{-t/\tau} \tag{2}$$

其中,  $I_f$  是最终稳定电流,  $I_0$  是放电初始电流,  $\tau$  ( $\tau = L/R$ ,  $L$  是电感值,  $R$  是回路电阻) 是 LR 电路的时间常数。

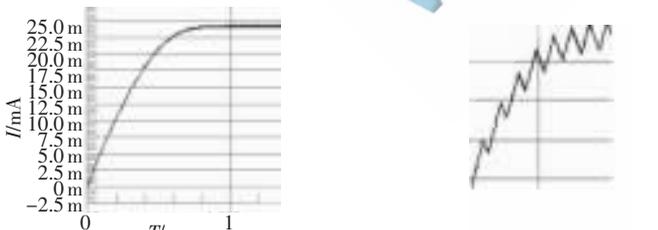
图 1 所示为驱动电路, 电感值的选择以及 PWM 波的频率选择在此驱动电路中相当重要。选择 C8051330 芯片作为 PWM 波的输出, 采用定时器翻转控制高低电平的时间, 从而控制 PWM 波的占空比。

要保证 PWM 周期小于电感的  $\tau$  时间, 因为若 PWM 的周期大于  $\tau$ , 则极有可能出现在 PWM 的占空比变化的情况下, 电路中电流都能达到电感的饱和直流电流, 影响了对

LED 电流调节。当 C8051330 的时钟频率是 25 MHz, PWM 的周期的选择对电流改变档位的影响很大。若周期越大, 则 PWM 占空比的档位越多, 反之越少。拟用 256 个档位的占空比, 因此 PWM 波的频率应选择在 100 kHz 以下, 即周期在 10  $\mu$ s 以上, 直流电感为 10  $\Omega$ , 此时电感值应选择大于 0.1 mH。图 2 分别是 PWM 频率为 100 kHz, 占空比为 90%, 电感为 0.1 mH、1 mH 和 40 mH 时电路电流值的模拟结果。



(a) 电感值为 0.1 mH 时电流随时间关系 (b) 电感值为 1 mH 时电流随时间关系



(c) 电感值为 40 mH 时电流随时间关系 (d) 图 c 曲线局部放大图

图 2 不同电感值下电流随时间的变化

通过模拟可初步选择 40 mH 的电感作为驱动电路所用, 图 3 是用示波器采到的电压波形图, 此电压是电

路中串联了一个 20  $\Omega$  的电阻上的电压, 稳定后电压为 340 mV, 即电路中电流为 17 mA。因为实际电路中电流有损耗, 所以实际电流值比模拟电流值偏小, 但整个电流的变化趋势与模拟基本一致。



图 3 电感值 40 mH 电路中串联电阻的电压变化

2.2 电流与 PWM 占空比的关系

图 4 所示为 LED 驱动电路充电以及放电曲线图,  $I_{max}$  是电路在直流情况下的最大电流。设在 PWM 占空比为  $m$  时电路中的电流值在充电曲线上的  $t_1$  时刻的电流值附近波动, 此时应该满足以下条件:  $t_1$  点的充电曲线斜率为  $k_1$ ,  $a$  点处放电曲线斜率为  $k_2$ , 应有  $k_1 m T = |k_2| (1 - m) T$ , 驱动电路中的电流因此维持在一个恒定值附近微小波动。

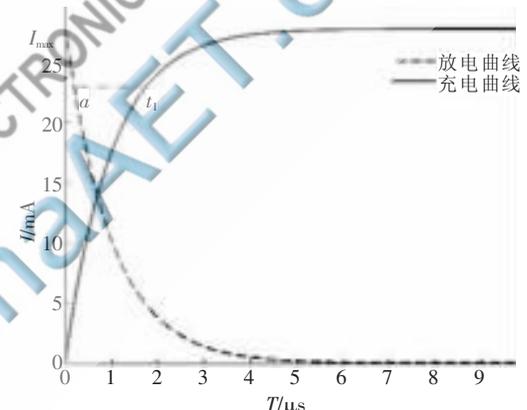


图 4 RL 电路充放电曲线示意图

分析可知, 当启动驱动电路后, 经过若干个充放电周期电流达到一个相对稳定的值, 之后电流在这个稳定值附近波动。如图 5 所示, 对每个周期而言, 充电时电流曲线的斜率在不断下降; 放电时电流曲线的斜率绝对值在不断增加; 满足图 4 的条件时, 电流相对稳定。从而得出在 LR 电路时间常数  $\tau$  一定时, 电感电流随 PWM 占空比的关系为  $I = \frac{I_f}{m}$ , 其中  $m$  是 PWM 占空比。

图 5 是电感电流随 PWM 占空比变化的实验结果曲线, 该曲线是在电感值为 40 mH 时, 电路中串联了一个 22  $\Omega$  电阻的情况下测得的。分析理论公式和实验结果, 可发现在 PWM 占空比为 36%~86% 区间, 电感上电流值随 PWM 波占空比线性变化, 变化趋势与理论推导一致。对于高占空比的区间段, 由于充电曲线斜率已经趋近不变, 此时电流值也趋于最大值, 而在低区区间段, 由于充电

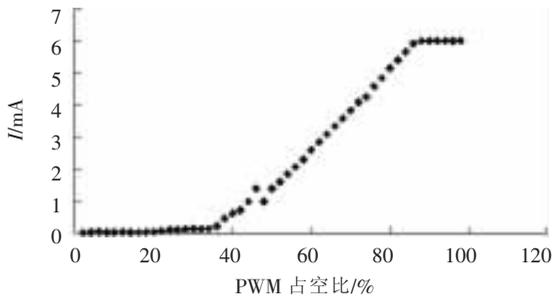


图5 电感电流随 PWM 占空比变化的实验结果曲线

时间较短,电路中损耗较大,电感上电流值也趋近于零。

### 2.3 PWM 占空比调节方式

采用电脑通过 RS-485 在线控制 PWM 占空比的变化,根据需要在 256 个档位中进行选择,每次用电脑向 RS-485 发送两个字节的十六进制命令,从而改变 C8051 产生的占空比,达到改变 LED 亮度的目的。

RS-485 接口电路的主要功能是:将来自微处理器的发送信号 TX 通过“发送器”转换成通信网络中的差分信号,也可以将通信网络中的差分信号通过“接收器”转换成被微处理器接收的 RX 信号。任一时刻,RS-485 收发器只能工作在“接收”或“发送”两种模式之一。因此,采用了图 6 所示电路,由微处理器输出的 R/D 信号直接控制 SN75LBC184 芯片的发送器/接收器使能:R/D 信号为“1”,则 SN75LBC184 芯片的发送器有效,接收器禁止,此时微处理器可以向 SN75LBC184 总线发送数据字节;R/D 信号为“0”则 SN75LBC184 芯片的发送器禁止,接收器有效,此时微处理器可以处理来自 RS-485 总线的的数据字节。此电路中,任意时刻 SN75LBC184 芯片中的“接收器”和“发送器”只能有一个处于工作状态。

不论从模拟还是实验角度来看,在 PWM 调光驱动

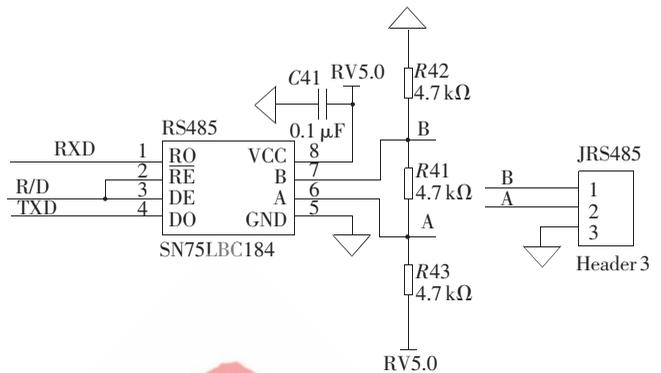


图6 RS-485 电路

电路中加入电感,可成功将电路中大范围变化的电流“平均”,使其稳定在一个可通过理论计算得出的值附近。本文综合了模拟调光和数字调光的共同优点,且可以利用 RS-485,通过 PWM 波与驱动电路中 LED 上电流的函数关系,改变 PWM 波的占空比,即可让 LED 有着理想的电流值,并用计算机实时、细致地改变 LED 的亮度。

#### 参考文献

- [1] 程安林,王晋,尚相荣.白光 LED 的 PWM 驱动方式分析[J].电子设计工程,2010,18(2):109-111.
- [2] 段哲民,陈志寅,任艳单.单端初级电感变换器拓扑的 LED 的电源设计[J].电源设计电力电子技术,2010,44(8):95-96.

(收稿日期:2011-05-13)

#### 作者简介:

张光华,男,1987 年生,硕士研究生,主要研究方向:测控技术。

唐臻宇,男,1969 年生,高级工程师,主要研究方向:测控技术。