

滞流控制实现 LED 恒流驱动

陈 英, 冯全源

(西南交通大学 微电子研究所, 四川 成都 610031)

摘 要: 设计了一款降压型 LED 恒流驱动芯片的滞环控制电路. 该芯片采用高边电流检测方案, 运用滞环电流控制方法对驱动电流进行滞环控制, 从而获得恒定的平均驱动电流. 设计采用简单的设计理念实现恒流驱动, 不需要复杂的电路分析, 能实现精确的电流控制, 且自身具有稳定性. 芯片采用 $0.5\mu\text{m}$ 5V/18V/40V CDMOS 工艺研制, 电源电压范围为 4.5V~28V, 工作温度 -40°C ~ 125°C , 可为 LED 提供恒定的 350mA 驱动电流, 通过调节外部检测电阻, 可调节恒定 LED 驱动电流. 外部提供 DIM 信号, 通过 DIM 的占空比来调节 LED 的亮度. Hspice 仿真结果显示: LED 驱动电流为滞环变化的三角波, 恒流精度小于 6.2%.

关键词: LED; 恒流驱动; 滞环控制; PWM 调光

中图分类号: TN364

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0193-04

Hysteresis Current Control in the Constant Current Driving for LED

CHEN Ying, FENG Quan-yuan

(Institute of Microelectronics, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: A chip which is used in the buck application to drive white LED with a constant current is proposed in this paper. Using high-side current sensing topology, it controls the driving current for LED to be averagely constant through hysteresis-current control technique. The chip realizes constant-current driving without complicated circuit design, provides the accurate control of current and self stabilization. It is designed and fabricated with a $0.5\mu\text{m}$ 5V/18V/40V CDMOS process with input voltage ranged from 4.5V to 28V, with working temperature ranged from -40°C to 125°C . The chip can provide a driving current of 350mA for LED, it can provide an adjustable driving current through adjusting the outside current-sensing resistor. The duty cycle of the signal DIM can be adjusted to realize lightness regulation of LED. Hspice shows that LED driving current is hysteresis, and the Precision of constant current can be controlled within the range of 6.2%.

Key words: LED; constant current driving; hysteresis current control; PWM dimming

1 引言

LED(Light Emitting Diode)^[1]作为一种节能环保的绿色照明技术,在通用照明、背光照明、闪光灯、屏幕显示^[2]、信号指示及交通工具等方面有广泛的应用^[3].相对于传统照明光源,LED 优势明显,如高发光效率、高响应速度、耗电量少、体积小、寿命长等^[4].目前,LED 的驱动方式有恒压^[5]和恒流驱动

两种,其中,恒流驱动是常用方式.恒流驱动消除温度和工艺等因素引起正向电压变化所导致的电流变化,保证恒定的 LED 亮度.在 LED 恒流驱动控制模式中,滞环电流控制模式^[6]具有诸多优点:结构简单、自稳定、不易因噪声而发生不稳定振荡^[7]等,使用日益广泛. MAXIM 公司的 MAXIM16819 就是 LED 恒流驱动芯片.

文中实现了一种简单的滞流控制模块,通过模

块内部自建滞环比较电压,结合 DIM 控制端的 PWM 信号控制功率开关管的通断,实现对 LED 的恒流控制。

2 电路设计与原理分析

2.1 滞环控制原理

滞流控制模块应用如图 1 所示^[8],LED 驱动电流的变化反应在检测电阻 R_{SENSE} 两端的压差变化上。本设计中,检测电阻设为 0.5Ω ,较小的检测电阻有利于降低功耗和保持较高的转换效率。滞环电流控制模块内部自建两个电压阈值,检测电压 V_{cs} 与阈值电压进行比较,比较结果和 DIM 调光信号相与来控制功率开关管的通断。

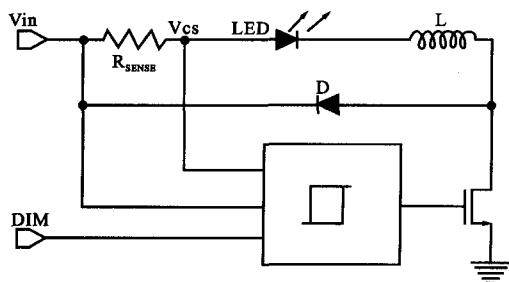


图 1 滞流控制模块应用图示

使用 PWM 调光,在减少电流占空周期内给 LED 提供完整电流,例如要将亮度减半,只需在 50% 的占空周期内提供完整的电流。通常 PWM 调光信号的频率会超过 100Hz,以确保这个脉冲电流不会被人眼所察觉。

滞流控制模块内部电路如图 2 所示,当 DIM 信号为高电平期间,当 V_{cs} 大于上电压阈值时,控制电路输出低电平,关闭功率开关管。由 LED、电感 L、续流二极管 D 和 R_{SENSE} 组成的回路使得电感继续为 LED 提供电流,电感电流逐渐减小,使得检测电压 V_{cs} 随之减小;当 V_{cs} 小于下阈值电压时,控制电路输出高电平,导通功率开关管,此时 D 截止,形成从电源经 R_{SENSE} 、LED、L 和功率开关管到地的回路,电源为电感 L 充电,电感电流上升,检测电压 V_{cs} 随之升高。 V_{cs} 大于上电压阈值时,控制电路关断开关管,重复上个周期的动作,这样就完成了对 LED 驱动电流的滞环电流控制,使得流过 LED 的驱动电流,也就是电感电流的平均值恒定。

2.2 滞环比较电压产生电路

4.5V~28V 的输入电压经调整转换为 5V 的恒

定电压 V_{cc} 为后续电路供电。如图 3 所示,A 点电位受运算放大器钳制,将等于参考电压 1.2V ,假设输出 V_{out} 为高电平,则 M2 导通,流过 M1 的电流为 $I_{\text{M1}} = V_{\text{ref}}/R_2$,B 点的电压为 $V_{\text{BL}} = V_{\text{in}} - I_{\text{M1}}R_1$;当 V_{out} 为低电平,M2 截止,流过 M1 的电流变为 $I'_{\text{M1}} = V_{\text{ref}}/(R_2 + R_3)$,B 点电压升高为 $V_{\text{BH}} = V_{\text{in}} - I'_{\text{M1}}R_1$,所以 B 点电压的变化为 $\Delta V_{\text{B}} = V_{\text{BH}} - V_{\text{BL}} = V_{\text{ref}}R_1R_3/R_2(R_2 + R_3)$,这意味着 V_{out} 由高电平变成低电平时在 B 点产生的一个滞环电压,可见该滞环电压与输入电压无关,只由参考电压 V_{ref} 和电阻大小决定,通过选择各电阻的阻值便可设定滞环电压的大小。

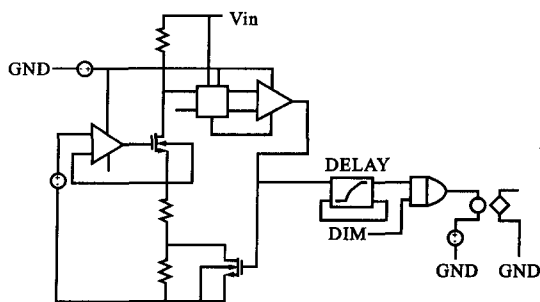


图 2 滞流控制模块内部模块

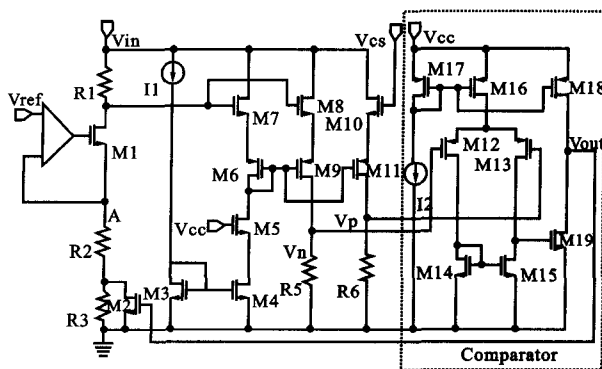


图 3 滞流比较电压产生电路

2.3 运放实现电路

以上分析可知运算放大器起着重要作用,其必须具有较高的增益,才能使 A 点电压精确跟随参考电压,从而准确设定 B 点电平和滞环电压大小。另外由于 V_{out} 的变化频率与系统开关频率相同(系统的最大开关频率约为 2MHz),使得流过 M1 的电流也相同频率在 I_{M1} 和 I'_{M1} 之间快速切换,所以运放的单位增益带宽须大于系统的最大开关频率。设计的运放结构如图 4 所示,采用折叠式输入结构,可以

获得较大的共模输入电压范围。

由运放的频率特性仿真图 5 可知,增益达到 84.266dB,相位裕度 108°,单位增益带宽约 12MHz,满足电路要求。

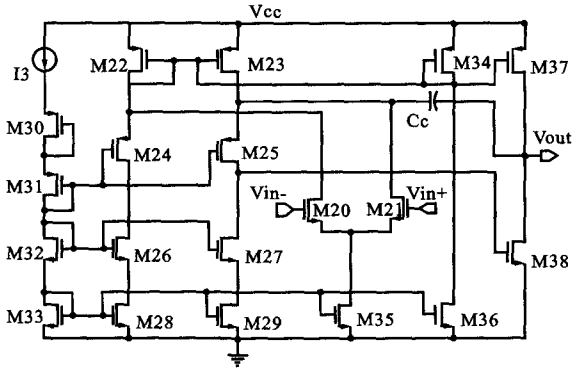


图 4 运放实现电路

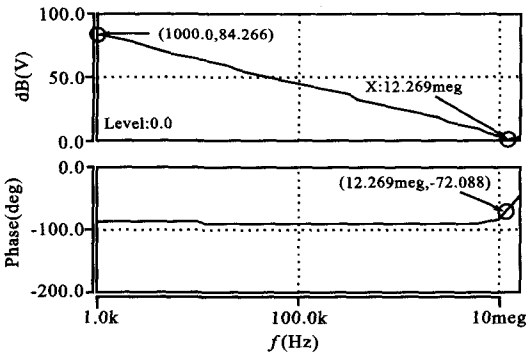


图 5 运放频率特性仿真

2.4 平均驱动电流 $\overline{I_{LED}}$ 设定

运放将点 A 电位钳位于带隙电压基准上. 由 M7 - M8、M6 - M9 组成的级联电流镜将偏置电流 I_1 镜像到 M8 - M9 - R5 所在支路, 所以 Comparator 模块的一个输入端电压 V_n 保持一定, 另一输入端电压 V_p 将跟随检测电压 V_{cs} 变化. 当比较器输出 V_{out} 为高电平 (开关管导通) 时, B 点电压为 V_{BL} 即下限阈值检测电压 V_{CSMIN} , 当 V_{cs} 下降到此阈值时, 由 M6 ~ M11 组成的对称电路结构使流过 R5、R6 的电流相等, 此时 $V_n = V_p$. 若 $V_{cs} < V_{CSMIN}$, 即 $V_p < V_n$, 比较器翻转, 输出 V_{out} 为低电平. 当 V_{out} 变至低电平后, M2 截止, B 点电压将变为 V_{BH} , V_{BH} 即是上限阈值电压 V_{CSMAX} , 流过 LED 的平均驱动电流是 $\overline{I_{LED}}$ 由 B 点平均电压设定:

$$\overline{I_{LED}} = \frac{V_{in} - \overline{V_B}}{R_{SENSE}} = \frac{V_{in} - \frac{1}{2}(V_{BH} + V_{BL})}{R_{SENSE}}$$

$$= \frac{V_{ref}}{2R_{SENSE}} \left(\frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_2 + R_3} \right)$$

滞环电流范围:

$$\Delta I_{LED} = \frac{V_{ref}}{R_{SENSE}} \cdot \frac{R_1 R_3}{R_2 (R_2 + R_3)}$$

上式决定了驱动电流的纹波大小.

3 仿真结果分析

文中电路采用 0.5μm 5V/18V/40V CDMOS 工艺, 用 Hspice Z-2007.03 进行仿真. 在脉冲宽度为 200μs、周期为 300μs 的 DIM 信号和 $V_{in} = 12V$ (典型值) 的共同作用下, 仿真结果如图 6 所示.

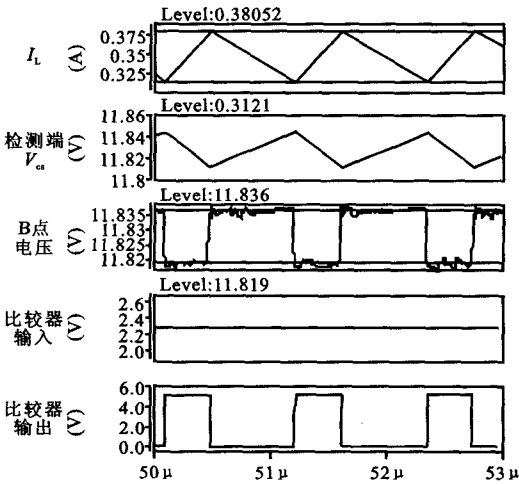


图 6 $V_{in} = 12V$ 时的电路仿真

分别在 $V_{in} = 2.5V$, $V_{in} = 28V$ 的情况下, 再次对 LED 驱动电流进行仿真, 三次仿真数据结果分别如表 1 所示.

表 1 三种输入电压情况下的驱动电流			
	$I_{Lmin}(A)$	$I_{Lmax}(A)$	$\overline{I_{LED}}(A)$
$V_{in} = 4.5V$	0.31167	0.36508	0.338375
$V_{in} = 12V$	0.3121	0.38052	0.34631
$V_{in} = 28V$	0.31242	0.40848	0.36045

在 $V_{in} = 12V$ 时, 对 LED 驱动电流进行温度特性仿真, 三次仿真波形结果分别如表 2 所示. 可以看出, 芯片的温度特性较好.

表 2 $V_{in} = 12V$ 情况下三种环境温度下的驱动电流			
	$I_{Lmin}(A)$	$I_{Lmax}(A)$	$\overline{I_{LED}}(A)$
$T = -40^{\circ}C$	0.31067	0.38067	0.34567
$T = 85^{\circ}C$	0.3137	0.38181	0.347755
$T = 125^{\circ}C$	0.31257	0.38024	0.346405

由于系统的固定延时 τ 对电流的纹波存在影响,实际的驱动电流峰值是 $I_{\text{MAX}} + \tau_{\text{off}} di/dt$, 电流谷值是 $I_{\text{MIN}} - \tau_{\text{on}} di/dt$, τ_{off} 为从驱动电流大于设定值到功率开关关闭的系统延时, τ_{on} 为从驱动电流小于设定值到功率开关导通的系统延时, di/dt 是电感电流变化率. 则电感若取较大值, 对驱动电流平均值影响不大, 但可以减小电流纹波, 反之, 这是以增加外部电感体积为代价的.

电路可达很高的效率, 一方面检测电阻中的功耗 $P_{R_{\text{SENSE}}} = \overline{I_{\text{LED}}}^2 R_{\text{SENSE}}$ 会导致电源功率耗散, 但本设计中 $R_{\text{SENSE}} = 0.5\Omega$, 则 $P_{R_{\text{SENSE}}}$ 相当小, 另一方面, 系统效率定义为 LED 消耗的功率与电源提供的功率之比, 即 $\eta = P_{\text{LED}}/P_{\text{POWER}}$. 其中, $P_{\text{POWER}} = V_{\text{in}} * I_{\text{vin}}$, $P_{\text{LED}} = V_{\text{LED}} * \overline{I_{\text{LED}}}$, 从仿真可知, I_{vin} 的平均值远远小于 $\overline{I_{\text{LED}}}$, 所以系统的效率可以达到非常高.

4 结束语

文中设计了一款适用于降压型 LED 恒流驱动芯片的滞环控制电路. 采用高边电流检测方案, 运用滞环电流控制方法对驱动电流进行滞环控制, 从而获得恒定的平均驱动电流, 通过调节外部检测电阻, 可调节恒定 LED 驱动电流. 芯片采用 $0.5\mu\text{m}$ 5V/18V/40V CDMOS 工艺, 电源电压范围为 4.5V~28V, 可为 LED 提供约恒定的 350mA 驱动电流, 温度特性 $-40^\circ\text{C} \sim 125^\circ\text{C}$, 可达到相当高的效率. 当 V_{in} 从 4.5V 变化到 28V 时, 平均驱动电流变化 22mA,

最大恒流精度为 6.2%.

参考文献:

- [1] Cheng Y K, Cheng K W E. General study for using LED to replace traditional lighting devices[C]// The 2nd International Conference on Power Electronics Systems and Applications. Hongkong, 2006:172-177.
- [2] 卜登立. 多路模拟开关 CD4067 在 LED 点阵显示屏中的应用[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(8):53-54.
- [3] 大谷义彦, 夏晨. LED 照明现状与未来展望[J]. 中国照明电器, 2007(6):20-24.
- [4] 王晓明, 郭伟玲. LED-新一代照明光源[J]. 现代显示, 2005(35):15-19.
- [5] 应建华, 张俊. 高频 PWM DC/DC 转换器的设计[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(1):197-200.
- [6] Ronat Odile, Green Peter, Ragona Scott. Accurate current control to drive high power LED strings[C]// Proceedings of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition. Hongkong, 2006:376-380.
- [7] 周志敏, 周纪海. LED 驱动电路设计与应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006:94.
- [8] 谢治中. 一种新型滞环电流控制电路的设计[J]. 电子器件, 2008, 31(6):1895-1898.

作者简介:

陈英女, (1982-), 硕士研究生. 研究方向为模拟集成电路设计.

冯全源 男, 博士, 教授, 博士生导师.