

## 主辅双通道 LED 驱动芯片的研制

胡 晔 冯勇建

(厦门大学 物理与机电工程学院 福建 厦门 361005)

**摘 要:** 针对传统的矿灯存在的体积大、寿命短、耗电量大、玻璃易碎、使用不安全等不足,设计了一款以锂电池为电源、LED 为光源、高精度欠压阈值和主辅双通道自动切换的恒流驱动芯片,减小了矿灯的体积和重量,提高了矿灯的寿命和安全使用性能。为了既保证主灯的生产工作时间,又保证辅灯的应急时间,提出一种高精度欠压阈值检测电池电压,实现双通道自动切换的结构,精确检测电池的容量变化,保证了充电的时间节点,确保了矿灯使用安全;为解决电池电压充电节点的一致性,设计了时序逻辑校正控制结构电路,精确调整了分压电阻的阻值,实现了带有 80 mV 迟滞的欠压阈值  $\pm 2\%$  电压范围的控制,有效防止了因电源波动引起双通道切换的误操作,满足芯片稳定性好、抗干扰性强的设计要求。另外还设计了主灯短路保护和过温保护等电路,进一步保证矿灯工作安全。

**关键词:** LED 矿灯;主辅双通道;版图设计

中图分类号: TN40

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2016)04-0023-04

引用格式: 胡晔,冯勇建.主辅双通道 LED 驱动芯片的研制[J].微型机与应用,2016,35(5):23-26.

## Design of a main/sub dual-channel LED driver

Hu Ye ,Feng Yongjian

(School of Physics and Mechanical and Engineering ,Xiamen University ,Xiamen 361005 ,China)

**Abstract:** Safety is the most important factor in miner production ,and there are a lot of accidents are caused by miner's lamp. Traditional miner's lamps use lead-acid batteries for power ,incandescent tungsten as light source which has a number of disadvantages such as large volume , high maintenance costs ,short lifetime ,great power consumption and unsafely because of the fragile glass. This paper designed a lithium battery as the power supply ,the LED as light source of high precision under voltage threshold and automatic switching dual channel driver with constant current ,overcome the above disadvantages.

This paper presents a structure that the dual channel can switch automatically by detecting the battery voltage with high precision under voltage threshold to ensure working time of the main light production and emergency time of auxiliary lights. Accurate detection of changes in battery capacity guarantees that the right charging time and improves the safety of the lamp. To charge battery consistently ,it designs a sequential logic circuit ,making under voltage threshold voltage in the range of  $\pm 2\%$  with 80 mV hysteresis for high precision requirement. In order to reduce the power dissipation ,it designs a 8000-fold high-gain current amplifier to drive linear MOS with 0.1 V dropout for 200 mA. The chip provides the main LED shorts protection and over temperature protection against unexpected situations.

**Key words:** LED miner's lamp; main/sub dual channel; layout design

### 0 引言

20 世纪 60 年代初,我国自主开发研制了以铅酸蓄电池和锡镍蓄电池为电源的矿灯,尽管在之后的发展过程中不断改进,但是矿灯的驱动电源、所采用的白炽钨丝光源及安全性能等方面并没有多大的改善。

铅酸蓄电池矿灯和碱性电池矿灯的最大缺点是蓄电池和灯头容易碰撞摔破,电缆破皮扯断等现象产生电火花导致矿难事故的发生<sup>[1]</sup>。国外的先进矿灯主要有如下特点:采用双光源,当主光源烧坏后,可用辅助光源照明;采用阻燃耐脂肪酸电缆和防静电塑料外壳;灯头和蓄电池部分达到 IP54 防护等级,可防水和粉尘;矿灯强度和耐冲击性好;外部紧固闭锁装置一般采用铅封或锡焊,可防止随意拆卸矿灯;蓄电池容量大,可保证点灯时间达 16 h。在

煤矿、煤井等地下工作场合的照明中,必须要确保矿灯在使用时的绝对安全,因此安全可靠性能是矿灯设计时需要考虑的重要因素。国家煤矿安全委员会正是出于上述考虑,对矿灯做出了一些标准和要求,包括:(1)与矿灯相关的电路,所有电压包括输入电压、输出电压或变换所需的中间电压都必须小于 8 V。(2)矿灯必须具有主灯和辅灯两组,并且能实现单独驱动。由于大部分时间的照明中使用主灯,因此主灯需要的电流一般较大,更主要是工作时间不能小于 11 h。辅灯更多时候用于应急情况,或者主灯不能工作时,通常工作电流较小,并且要求工作时间不能低于 30 h。(3)正常工作时,所有的控制电路不能产生电弧或者电火花,防止瓦斯爆炸事故的发生。锂电池电压范围通常是 2.7~4.2 V,结合

LED 的导通电压 ,单个锂电池作为矿灯电源就足以驱动 LED 灯。以锂电池为电源的 LED 矿灯不仅可用于矿山的生产照明 ,还可用于一些特殊场合比如抢险救灾等 ,满足安全可靠的使用要求。

## 1 线性恒流 LED 驱动芯片分析

### 1.1 LED 特性

LED 的 I-V 特性曲线成非线性关系 ,图 1 所示为 40℃ 时白光 Luxeon III 的 I-V 曲线<sup>[2]</sup>。LED 导通电压一般在 3V 左右 ,从图 1 可知 ,只要 LED 导通后 ,如果两端电压发生微小变化 ,那么流过 LED 的电流将发生很大的变化 ,严重影响 LED 的光输出主波长 ,甚至导致 LED 的色温发生漂移 ,因此流过 LED 的电流最好能保持稳定 ,即对 LED 驱动电路的设计提出了一定的要求。

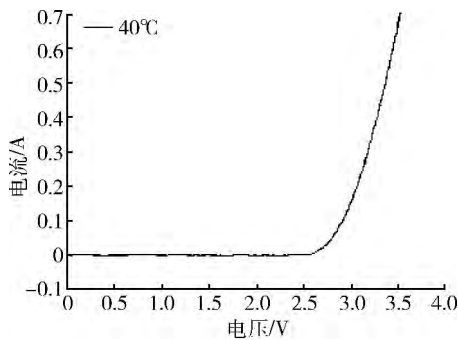


图 1 40℃ 时白光 Luxeon III 的 I-V 曲线

### 1.2 LED 线性恒流驱动方式

在线性恒流驱动电路中 ,主功率 MOS 器件与 LED 负载是串联的关系 ,且工作在线性区<sup>[3-5]</sup> ,功率 MOS 相当于一个阻值较小的电阻 ,其典型电路

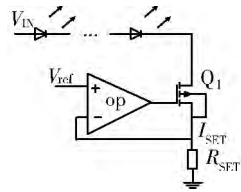


图 2 LED 线性恒流驱动线路

图如图 2 所示。其中  $Q_1$  为 NMOS 型功率器件 ,尺寸一般会取值较大 ,工作在线性区 ,以减小功率 MOS 上的损耗。通过运算放大器 ,由  $Q_1$  的栅极电压调节其  $V_{DS}$  电压 ,从而相应调节 LED 上的压降。 $Q_1$  的 Drain 端与 LED 的阴极相连 ,用于设定 LED 电流和负载电流反馈的电阻  $R_{SET}$  串联在主回路中 ,电流反馈信号连到运算放大器的反相输入端 ,基准电压  $V_{ref}$  与运算放大器的正相输入端相连。由于运算放大器“虚短”的作用 ,使得反相输入端电压  $V_{SET}$  等于基准电压  $V_{ref}$  ,因此流过 LED 电流大小为  $I_{LED} = \frac{V_{SET}}{R_{SET}} = \frac{V_{REF}}{R_{SET}}$ 。如果基准电压  $V_{ref}$  不随温度、电源电压的变化而变化 ,那么流过 LED 的电流就能保持恒定。

## 2 主辅双通道恒流 LED 驱动芯片的实现

### 2.1 芯片的典型应用线路及其工作原理

主辅双通道 LED 驱动芯片的实现正是基于线性恒流 LED 驱动电路的基本原理 ,下面分别介绍这款芯片的典型应用线路及其工作原理、内部框架结构。芯片的典型应用线路如图 3 所示。

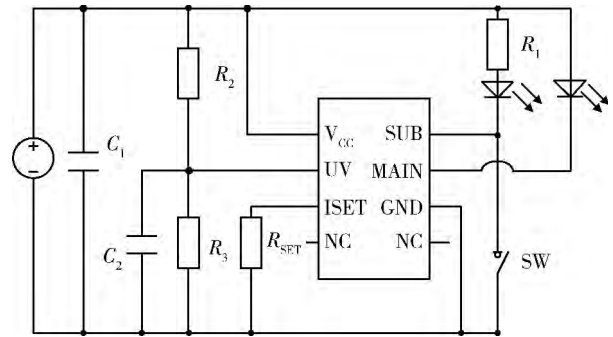


图 3 芯片的典型应用线路

芯片的工作原理是: 芯片具有主辅两个通道 ,通常只有一个通道导通 ,且具有相互切换的功能。UV 管脚的电压由  $V_{CC}$  经过  $R_2$ 、 $R_3$  分压而来 ,检测 UV 管脚电压实际上就是在检测  $V_{CC}$  的电压大小。当电源电压  $V_{CC}$  从高电压到低电压减小 ,芯片的 UV 引脚电压低于阈值电压 1.2 V 时 ,主通道关闭(主灯灭) ,辅通道导通(辅灯亮) ;当电源电压  $V_{CC}$  从低电压到高电压增大 ,UV 引脚电压达到 1.28 V 时 ,主通道导通(主灯亮) ,辅通道关闭(辅灯灭)。当主通道导通时 ,即主灯亮 ,芯片将恒流驱动主灯 ,主灯电流大小是 ISET 引脚的 8 000 倍 ,所以通过 ISET 管脚的外接电阻即可设定主灯电流。当主灯的电流为 200 mA 时 ,芯片内部的恒流源只需要 0.1 V 的压差。当辅通道导通时 ,即辅灯亮 ,芯片通过内部功率 MOS 将 LED 的阴极端下拉到地。

### 2.2 芯片的内部框架结构

根据芯片的工作原理 ,所设计的芯片的内部框架结构如图 4 所示 ,基准源模块用于产生电路各个模块所需要的

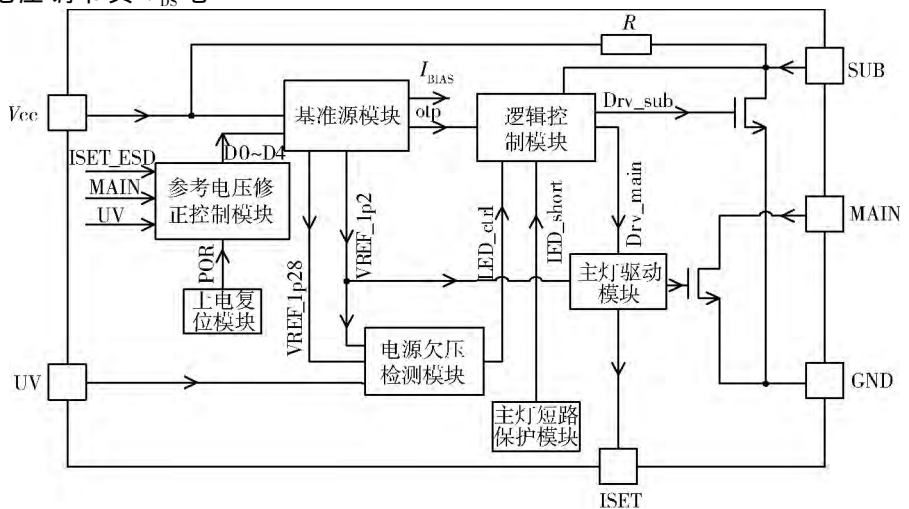


图 4 芯片内部框架结构示意图

偏置电流  $I_{BIAS}$  和参考电压  $V_{ref1p2}$ 、 $V_{ref1p28}$ ，以及过温保护模块的输出信号 otp；上电复位模块为参考电压修正控制模块的锁存器提供上电复位信号 POR；参考电压修正控制模块用于当参考电压需要修正时输出特定的值给控制信号 D0 ~ D4；电源欠压检测模块输出信号为 LED\_ctrl，用于控制主辅灯通道中其中一个通道的导通；主灯短路保护模块用于检测主灯是否被短路，若发生主灯被短路，则输出信号 led\_short 变为高电平；主灯驱动模块用于给 ISET 管脚一个典型值为 1.2 V 的电压，同时让主灯电流是 ISET 管脚电流的 8 000 倍。

### 3 基本功能模块的设计

芯片的基本功能模块包括：基准源模块、电源欠压检测模块、主灯短路保护模块及数字信号逻辑控制模块。

#### 3.1 基准源模块

带隙基准在 CMOS 电路中广泛应用，因为当电源、工艺、温度等不确定因素改变时，它仍然能够产生一个稳定的电压<sup>[6]</sup>，在很多模拟电路中是不可或缺的。

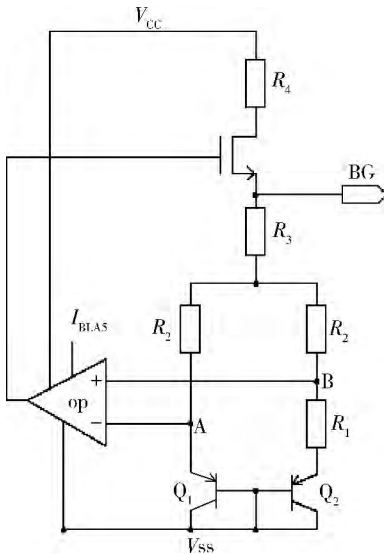


图5 带隙基准电路

利用三极管构建正、负温度系数的电压，以一定的比例系数相加，就可以得到一个具有零温度系数特性的基准电压，即  $V_{REF} = aV_{BE} + b\Delta V_{BE}$ 。通过选取适当的系数  $a$ 、 $b$ ，就能获得一个具有零温度系数特性且与电源电压大小无关的带隙基准。设计的带隙基准电路如图 5 所示。

由于运算放大器的作用，使得 A、B 两点电压相等，那么电阻  $R_1$  上的电压就等于  $Q_1$ 、 $Q_2$  的基极-集电极电压的差值  $\Delta V_{BE}$ ，所以流过  $R_1$  的电流为： $I_{R1} = \frac{\Delta V_{BE}}{R_1}$ ，显然流过  $R_3$  的电流为  $2I_{R1}$ ，所以 BG 点的电压为：

$$V_{BG} = V_{BE1} + \frac{R_1 + R_2 + 2R_3}{R_1} \times (V_T \ln n) \quad (1)$$

对照  $V_{REF} = aV_{BE} + b\Delta V_{BE}$ ，在这里相当于系数  $a = 1$   $b = \frac{R_1 + R_2 + 2R_3}{R_1}$ ，为了获得零温度系数的基准电压，必须满足：

$$\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} + \frac{R_1 + R_2 + 2R_3}{R_1} \times \ln n \times \frac{\partial V_T}{\partial T} = 0 \quad (2)$$

又因在室温下  $\frac{\partial V_{BE}}{\partial T} \approx -1.5 \text{ mV/K}$ ， $\frac{\partial V_T}{\partial T} = +0.087 \text{ mV/K}$ ，则有  $\frac{R_1 + R_2 + 2R_3}{R_1} = 17.2$ ，其中  $n$  是  $Q_2$ 、 $Q_1$  的个数之比，

所以选取合适的  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  及  $n$  就可获得零温度系数的基准电压。为了尽量减小三极管的匹配误差，通常取  $n = 8$ 。

#### 3.2 电源欠压检测模块

电源欠压检测模块用来检测电源电压  $V_{CC}$  的大小，当电源电压  $V_{CC}$  高于一定阈值时，让主灯亮，辅灯灭；当电源电压  $V_{CC}$  低于一定阈值时，让主灯灭，辅灯亮，设计的电路如图 6 所示。

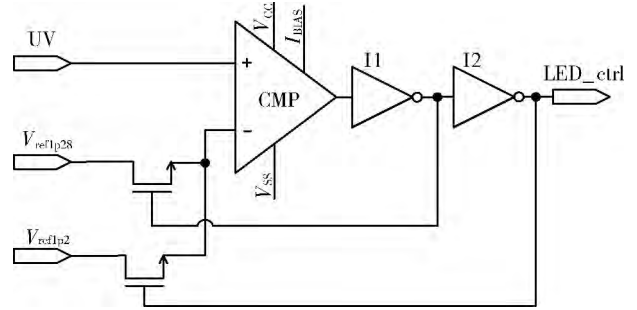


图6 电源欠压检测电路

具体的工作过程是：UV 引脚的电压是通过  $V_{CC}$  经过两个电阻分压而来，与基准源模块的  $V_{ref1p2}$ 、 $V_{ref1p28}$  V（典型值分别为 1.2 V、1.28 V）比较。若电源电压  $V_{CC}$  从低到高变化，UV 引脚电压在  $V_{CC}$  刚上电时比较低，因而 UV 引脚电压与  $V_{ref1p28}$  比较，当 UV 引脚电压达到  $V_{ref1p28}$  时，LED\_ctrl = 1，使主通道导通，辅通道关闭；反之，当主通道导通后，电源电压  $V_{CC}$  从高到低变化，UV 引脚电压低于欠压阈值  $V_{ref1p2}$  时，LED\_ctrl = 0，主通道关闭，辅通道导通。由于 UV 引脚的电压是通过  $V_{CC}$  经过两个电阻分压而来，所以检测 UV 引脚的电压实际上是检测  $V_{CC}$  电压的大小，通过调整图 3 中电阻  $R_1$ 、 $R_2$  的大小，就可根据实际需要调整  $V_{CC}$  的欠压阈值。

#### 3.3 主灯短路保护模块

主灯短路保护模块的功能是当主灯被短路时，芯片会产生一个让主灯关闭、辅灯导通的信号，电路如图 7 所示。本质上，图 7 由比较器和倒相器构成，比较器的输入端电压分别为 MAIN 引脚电压和  $V_{CC} - V_{GS}$  的比较电压。正常工作时，如果主灯电流为 200 mA，那么 MAIN 引脚电压最高为 100 mV，低于比较电压  $V_{CC} - V_{GS}$ ，因而正常工作时主灯短路信号 led\_short 为低电平；当发生主灯被短路时，MAIN 引脚直接接到  $V_{CC}$ ，高于比较器的比较电压  $V_{CC} - V_{GS}$ ，经过倒相器 I1、I2 整形后，主灯短路信号 led\_short

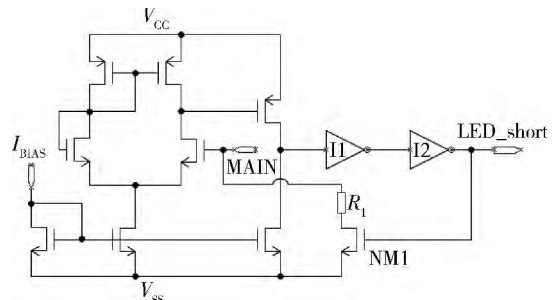


图7 主灯短路保护电路

变为高电平,通过逻辑控制模块,使主灯关闭,辅灯导通。NM1 这条支路的作用是当主灯短路解除时,如果 led\_short 还是高电平,会通过 NM1 把 MAIN 引脚电压强制拉低,然后让 led\_short 信号恢复为低电平。

### 3.4 逻辑功能模块

根据芯片的功能要求,设计出的逻辑控制模块的电路如图 8 所示。

(1) 当温度过高时  $otp = 1$ ,主灯和辅灯都灭,即  $drv\_main = 0$ ,  $drv\_sub = 0$ ;

(2) 当芯片正常工作时,若  $LED\_ctrl = 1$ ,则主灯亮,辅灯灭,即  $drv\_main = 1$ ,  $drv\_sub = 0$ ;反之若  $LED\_ctrl = 0$ ,则主灯灭,辅灯亮,即  $drv\_main = 0$ ,  $drv\_sub = 1$ ;

(3) 当主灯发生短路时,  $led\_short = 1$ ,则主灯灭,辅灯亮,即  $drv\_main = 0$ ,  $drv\_sub = 1$ ;

(4) 当外面开关闭合时,则主灯灭,辅灯阴极直接连接到地而点亮,即  $drv\_main = 0$ 。

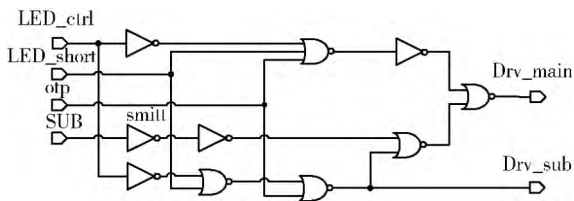


图 8 逻辑控制电路

### 4 芯片的整体版图

芯片的整体版图如图 9 所示。

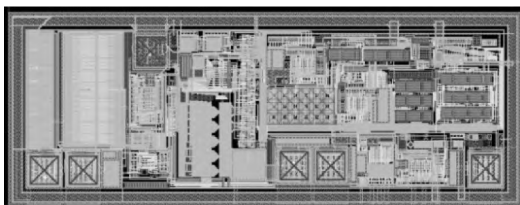


图 9 芯片的整体版图

### 5 芯片功能验证

接上电源,验证芯片功能,如图 10 所示。总体上芯片达到了设计要求。

### 6 结论

本文针对传统铅酸矿灯的缺点,结合矿灯照明的行业标准,设计了一款以锂电池为电源、LED 为光源,高精度欠



(a)  $V_{cc}$  高于欠压阈值,主灯亮,辅灯灭  
(b)  $V_{cc}$  低于欠压阈值,主灯灭,辅灯亮

图 10 接上电源,验证芯片功能

压阈值和主辅双通道自动切换的恒流驱动芯片,不仅减小了矿灯的体积和重量,提高了矿灯的寿命和安全使用,而且提升了矿灯的标准生产水平。本文介绍了芯片的典型应用线路和芯片内部整体框架,完成了各个子模块的设计。同时,在设计时充分考虑了实际应用可能遇到的意外情况,加入了多种保护电路。总体上,该芯片达到了基本要求。

### 参考文献

- [1] 田大垒,关荣锋,王杏. 新型 LED 矿灯的设计与仿真[J]. 煤矿机电 2007(6):46-48.
- [2] MINEIRO Sá Jr. E, ANTUNESF L. M., PERIN A. J. Low cost self-oscillating ZVS-CV driver for power LEDs [C]. IEEE Power Electronics Specialists Conference 2008:4196-4201.
- [3] Hu Yuequan, JOUANOVIC M M. LED driver with self-adaptive drive voltage [J]. IEEE Transactions on Power Electronics 2008 23(6):3116-3125.
- [4] LIAO T J, CHEN C L. Robust LED backlight driver with low output voltage drop and high output current accuracy [C]. IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies 2008 63-66.
- [5] 童华章. 大功率 LED 矿灯的双恒流驱动模块 [P]. 中国: CN1819731, 2006-08-16.
- [6] Jiang Yueming, LEE E K F. Design of low-voltage bandgap reference using transimpedance amplifier [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II Analog & Digital Signal Processing, 2000 47(6):552-555.

(收稿日期:2015-05-19)

### 作者简介:

胡晔(1989-),男,硕士研究生,主要研究方向:LED 驱动 IC 设计。

(上接第 19 页)

- [7] PALUCH S. A multi label algorithm for k shortest paths problem [J]. Communications, 2007, 3(2009): 11-14.
- [8] CIDON I, RON R, SHAVIT Y. Analysis of multi-path routing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), 1999, 7(6): 885-896.
- [9] HOCHSTEIN J M, WEIHE K. Edge-disjoint routing in plane switch graphs in linear time [J]. Journal of the ACM (JACM), 2004, 51(4): 636-670.

- [10] 许震洪. 动态路径诱导系统的最优路径算法研究及相关软件实现 [D]. 南京:南京理工大学 2004.

(收稿日期:2015-10-27)

### 作者简介:

刘斌(1992-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能信息处理。  
陈贤富(1963-),男,博士,副教授,主要研究方向:复杂系统与计算智能。  
程政(1990-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能信息处理。