

文章编号: 1004-4353(2019)03-0260-04

无极性输入宽电压范围工作的多层式信号灯

金永镐, 金雄立
(延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 针对现有的多层式信号灯工作电压范围小、电路复杂等问题,设计了一种无极性输入宽电压范围(10~60 V)工作的多层式信号灯.该多层式信号灯使用半桥电路与双向光耦的组合代替现有多层式信号灯使用全桥电路与单向光耦的组合,采用 MK6A12P 单片机控制灯组的工作状态,利用 HV9910 搭建的 SEPIC 电路为负载提供工作电压.实验证明,该多层式信号灯可在宽电压范围内稳定工作,且具有结构简单、成本低廉的优点,具有良好的开发利用价值.

关键词: 多层式信号灯; 无极性输入; 宽电压; SEPIC 电路

中图分类号: TM923.48 **文献标识码:** A

Multi-layer signal lamp with no polarity input and wide voltage range

JIN Yonggao, JIN Xiongli
(College of Engineering , Yanbian University , Yanji 133002 , China)

Abstract: Aiming at the problems of small operating voltage range and complicated circuit of the existing multi-layer signal lamp, a multi-layer signal lamp with a non-polar input wide voltage range (10-60 V) is designed. The multi-layer signal lamp uses a combination of a half-bridge circuit and a bidirectional optocoupler to replace the existing multi-layer signal lamp using a combination of a full-bridge circuit and a unidirectional optocoupler, and uses the MK6A12P single-chip microcomputer to control the working state of the lamp group, and the SEPIC circuit built by the HV9910 is used. Provide working voltage for the load. The experiment proves that the multi-layer signal lamp can work stably in a wide voltage range, and has the advantages of simple structure and low cost, so the signal lamp has good development and utilization value.

Keywords: multi-layer signal lamp; non-polar input; wide voltage range; SEPIC circuit

目前,具有声光报警功能的多层式信号灯被广泛应用于工业、农业、交通、医疗等行业,它可有效预防多种事故的发生.但现有的多层式信号灯存在以下问题^[1]: ①为了实现无极性输入的工作方式,输入电压需要经过全桥电路来改变极性,且需利用单向光电耦合器检测输入端的状态,因此电路较为复杂,稳定性差,且不利于产品的小型化.②信号灯的工作电压被分为 12、24、48 V 3 类,不利于用户管理和维护.基于此,本文设计一

款在宽电压范围工作的多层式信号灯,并通过实验验证本文设计方案的有效性.

1 无极性输入宽电压范围工作的多层式信号灯的组成结构

无极性输入宽电压范围工作的多层式信号灯由多个双向光电耦合器构成的输入电压检测器、多个半桥输入、宽电压范围工作的升降压型变换器、

控制器及工作电源等部分组成,如图 1 所示。

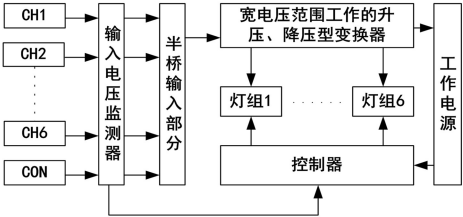


图 1 多层式信号灯的组成结构

2 半桥式多路无极性输入电路的设计

图 2 为现有多层式信号灯(3 层)的无极性输入部分的电路图.由图 2 可以看出,各输入端通过整流桥转换极性后,再经过 2 个隔离二极管给电容 C18 充电,以此实现为信号灯提供工作电源.每个通道的输入端通过单向光电耦合器判断有无电压.该多层式信号灯结构中,每一层都需要 6 个二极管,因此该多层式信号灯的电路较为复杂,且不利于产品的小型化。

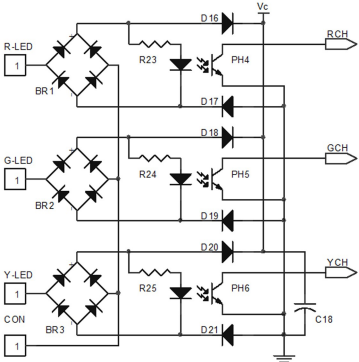


图 2 现有多层式信号灯的无极性输入电路

图 3 为改进的多层式信号灯的电路图.由图 3 可以看出,每个输入端经过半桥电路后与 D11、D12 组成全桥,输入电压转换极性后给电容 C15 充电,以此实现为信号灯提供工作电源.每个通道的输入端通过双向光电耦合器判断有无电压.若采用该方法设计 6 层信号灯,只需要 14 个二极管即可,因此可大大简化电路,且有利于产品的小型化。

由图 3 可见,当 R-LED 端的输入为正极,CON 端的输入为负极时,PH1 和二极管 D6、D11 导通,给电容 C15 充电.同理,当 R-LED 端的输入为负极,CON 端的输入为正极时,PH1 和二极管 D5、D12 导通,给电容 C15 充电. R11、R12、R13 为限流电阻,当输入电压 $U_i=10\sim60\text{ V}$ 时,

限流电阻应满足以下两个要求:①输入最低电压时,双向光电耦合器 PC814 的工作电流应大于 0.5 mA;②输入最高电压时,电阻的功率损耗应小于 0.5 W.

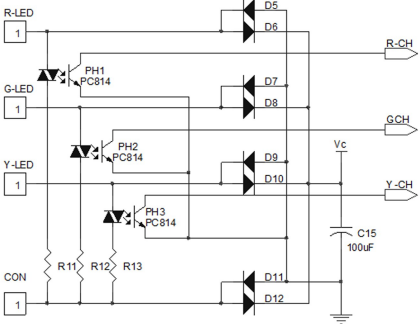


图 3 改进的多层式信号灯的输入电路

PC814 的工作电流由式(1)决定,限流电阻的损耗功率由式(2)决定。

$$\frac{U_i - U_D}{R} > 0.5\text{ mA}, \tag{1}$$

$$\frac{(U_i - U_D)^2}{R} < 0.5\text{ W}. \tag{2}$$

式中 U_D 为 PC814 输入端的导通压降,其电压约为 1 V. 由式(1)和式(2),可得 $6.962\text{ k}\Omega < R < 18\text{ k}\Omega$. 虽然该范围内的限流电阻都能满足要求,但为了保证达到 30% 以上的参数裕量,本文取 $R=12\text{ k}\Omega$. 此时,PC814 输入端的最小电流为 0.75 mA,限流电阻的最大功率损耗为 0.29 W.

3 宽电压范围工作的 LED 灯组的驱动电源设计

3.1 升降压式变换器的设计

图 4 为不同多层式信号灯产品的工作电压图.由图 4 可以看出,各类多层式信号灯的输入电压虽然不同,但 LED 灯组的驱动电压是一定的.当灯组的驱动电压为 30 V 时,输入电压 12 V 和 24 V 的多层式信号灯需要升压才能工作,而输入电压为 48 V 的多层式信号灯需要降压才能工作。

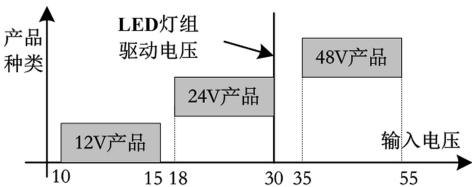


图 4 不同输入电压的多层式信号灯的工作电压

为提高产品的通用性,本文设计一种 8~60 V 宽电压(因输入端的整流桥压降约为 1.2 V)范围工作的 SEPIC 型升降压变换器.因 SEPIC 型升降压变换器中的 2 个电感的电流共同作用于电流检测电阻^[2],因此电流检测电阻的功率损耗较大.为降低电流检测电阻的功率损耗,本文使用 HV9910 芯片设计变换器的整体电路. HV9910 芯片具有如下优点:①芯片在 8~100 V 宽电压范围内工作时能输出 1 mA 的电流^{[3]1},利用该电流为 MK6A12P 单片机提供工作电压时,无需设计独立的低压工作电源,从而可简化电路.②CS 电流检测端电压只有 0.25 V^{[3]2},可减少检测电感电流时的功率损耗,提高变换器的转换效率.

图 5 为由 HV9910 芯片构建的宽电压范围工作的 LED 灯组的驱动电源电路.由图 5 可见,电感 L1 和 Q1 组成升压变换器,电感 L2 和 Q1 组成极性翻转型升降压变换器.

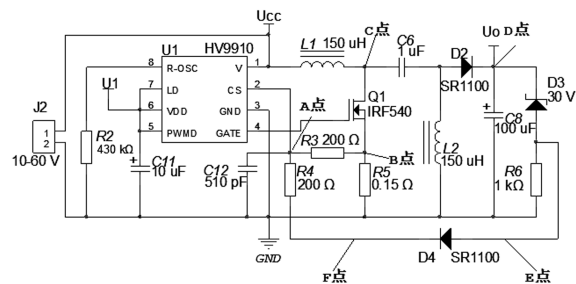


图 5 基于 HV9910 芯片的 LED 灯组驱动电源

因 HV9910 芯片只有电流检测端 CS,没有输出电压反馈端,因此本文通过电流检测端,采用叠加法设计输出电压反馈端.

当输出电压的误差值 $U_E = U_o - U_{D3} > 0.2$ V 时,肖特基二极管 D4 开始导通(导通压降约为 0.2 V).此时 B 点和 F 点的电压共同作用于 A 点,并驱动电源输出稳定电压.

根据电位理论,D4 导通时 F 点的电压取决于式(3),式中 U_{D4} 为 D4 的压降.

$$U_F = U_o - U_{D3} - U_{D4}. \quad (3)$$

再根据叠加原理,可求得 B 点电压. B 点电压的计算公式为:

$$U_B = (1 + \frac{R_3}{R_{CS}})[U_A - \frac{U_F(R_3 // R_{CS})}{R_4 + R_3 // R_{CS}}], \quad (4)$$

其中 R_{CS} 为 CS 引脚的等效输入电阻,实测值为 1.2 kΩ.

刚接通电源时, $U_F = 0$. 根据式(4)可知,此时 U_B 的值最大,为 0.29 V(将 $R_3 = 200 \Omega$ 、 $R_{CS} = 1.2 \text{ k}\Omega$ 、 $U_A = 0.25$ V 代入式(4)中得).当输出电压 $U_o > U_{D3} + U_{D4}$ 时, $U_F > 0$. 此时 U_B 减小,其电压保持在 0~0.29 V 范围内,进而能够使输出电压保持稳定.

3.2 输出功率及相关参数的设计

LED 灯组的工作电压为 30 V,额定电流为 45 mA,因此理论上其驱动功率为 1.35 W.考虑到功率裕量,本文将实际功率设置为 2 W.待确定的参数有电感 L1、L2 和电阻 R5.

因灯组输出功率较小,同时为了简化设计,本文将占空比 D 设置为 65%.设电感将储存的能量传送到负载时,其传送效率为 η ,则

$$W_L = \frac{\eta L i_L^2}{2} = P_o T, \quad (5)$$

式中 P_o 为平均输出功率, T 为周期.

HV9910 芯片工作频率的计算公式^[4]如下:

$$f = 25000 / (R_2 + 22). \quad (6)$$

设定 $R_2 = 430 \text{ k}\Omega$,则 $f \approx 55 \text{ kHz}$,周期 $T \approx 18.2 \mu\text{s}$.当输入电压为 10 V(最低工作电压)时,流过电感的电流与电感两端的电压关系如式(7)所示.将占空比 D 代入式(7)得到式(8).

$$i_L = \frac{U_i t}{L}, \quad (7)$$

$$D = \frac{L i_L}{T U_i}. \quad (8)$$

利用式(5)求得电感电流后,将其代入式(8),得

$$L = \frac{\eta T (D U_i)^2}{2 P_o}. \quad (9)$$

式中取 $\eta = 80\%$, $T = 18.2 \mu\text{s}$, $D \leq 65\%$, $U_i = 10$ V, $P_o = 2$ W,得 $L \leq 154 \mu\text{H}$.本文取标称值 $L = 150 \mu\text{H}$.

将 $L = 150 \mu\text{H}$ 代入式(8),得 $i_L \approx 0.79$ A.当 $L_1 = L_2 = 150 \mu\text{H}$ 时,流过 R5 的电流为 $2i_L$.因此电阻 R5 由式(10)决定.

$$R_5 = \frac{U_B}{2 i_L}. \quad (10)$$

将 U_B (0.29 V) 和 i_L (0.79 A) 代入式(10),计算得 $R_5 = 0.18 \Omega$.本文取 0.15 Ω 为标称值.

3.3 控制器的设计

图 6 为控制器及其工作电源的电路图.为了

降低工作电流,本文使用低功耗的 MK6A12P 单片机和小功率场效应管 BS170 对灯阻部分进行控制。

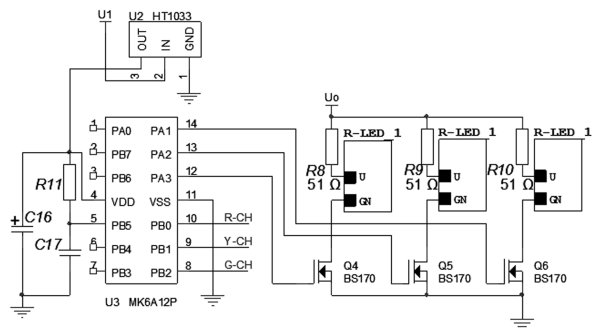


图 6 控制器的工作电源电路

MK6A12P 是一种性价比较高的单片机,适合于多种工业控制领域。其工作电压为 2.5~5 V,内部有 4 MHz 的 RC 振荡器,工作频率、WDT 以及复位电路通过外部电阻设定^[5]。

HT1033 为低压差低功耗三段稳压器,输出电压为 3.3 V,静态电流为 2.2~5 μ A,最大工作电流为 30 mA,最大输入电压为 12 V^[6]。HV9910 芯片通电后,6 脚输出 7.5 V 的电压(U1),U1 通过 HT1033 后,将 3.3 V 的电压提供给 MK6A12P。

BS170 场效应管导通时,因输入场效应管的工作电流值较小,因此在设计电路时,可适当减小单片机输出端的驱动电流。BS170 的最大工作电压为 60 V,门槛电压约为 2 V,最大工作电流为 0.5 A^[7]。当 GS 输入电压为 3 V 时,实测控制电流为 180 mA,可满足驱动 45 mA 灯组的要求。

4 实验结果与分析

图 7—图 9 为当输入电压 U_i 分别为 10、30、60 V 时, A、C、D 点的工作电压波形。

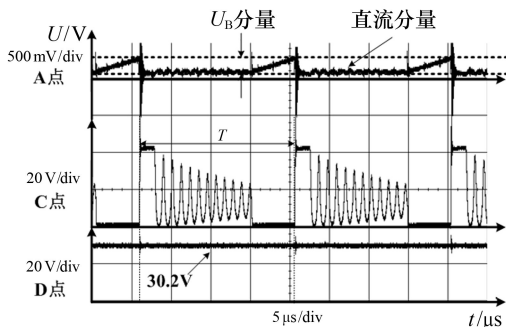


图 7 U_i 为 10 V 时各点的波形

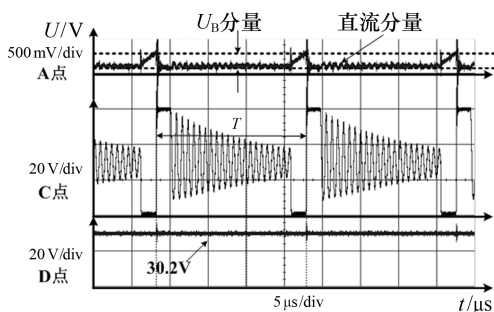


图 8 U_i 为 30 V 时各点的波形

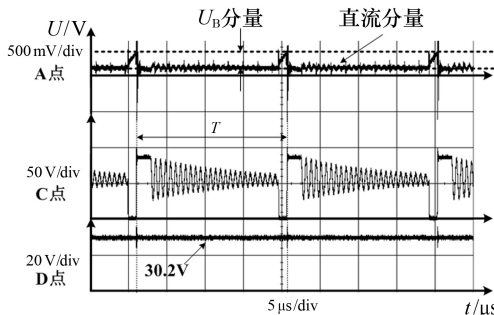


图 9 U_i 为 60 V 时各点的波形

由图 7—图 9 可知,当频率约为 51 kHz,输入电压在 10~60 V 范围时,变换器能够输出稳定的 30.2 V 电压。

5 结论

实验表明,本文设计的多层式信号灯可以在 10~60 V 宽电压范围内稳定工作,可以解决当前多层式信号灯的工作电压范围小、通用性差、电路复杂等问题。因此,本文方法设计的多层式信号灯具有良好的应用价值和市场竞争力。

参考文献:

- [1] 赵越越. 无极性输入模式宽电压范围工作的多层式信号灯设计[D]. 延吉:延边大学,2017.
- [2] 金永镐,王海月. 基于 SEPIC 变换器的 AC 宽电压爆闪式信号灯设计[J]. 电子技术应用,2016,42(11):126-129.
- [3] 吕诗如. 基于 HV9910 的 LED 驱动电路设计[J]. 湖南工业大学学报(自然科学版),2016,30(6):23-28.
- [4] 韩京慧. 基于自耦型电感和分段控制模式的特种信号灯研制[D]. 延吉:延边大学,2018.
- [5] 张庆博. 浮地模式 AC 宽工作电压范围的爆闪式信号灯设计[J]. 延边大学学报(自然科学版),2016,42(3):227-230.
- [6] 尹靖雯,林靖虎. 防火节能型手机充电器[J]. 电子技术应用,2019,45(4):131-134.
- [7] Motorola. BS170 数据手册[Z]. 2007.