

# 一种实用的高压开关电源采样隔离反馈电路

夏 军

(浙江大学电气工程学院, 浙江 杭州 310027)

A Practical Feedback Circuit of Output Isolated Sampling for High Voltage Switch Supply

XIA Jun

(College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

摘要: 介绍了一种采用高线性度光耦 HCNR200 对输出电压采样进行隔离的反馈电路, 应用于高压开关电源的闭环控制系统。通过参数的灵活设计, 可以满足不同的输出电压隔离要求, 应用于不同的模拟信号隔离场合。

关键词: 线性光耦; HCNR200; 模拟信号; 隔离; 反馈

中图分类号: TP271

文献标识码: A

Abstract: An isolated sampling circuit using high-linearity analog optocouplers HCNR200 is proposed in this article, which is used in high voltage switch power supply. By flexible design of the parameters, the circuit can satisfy different requirements of output voltage, and it is excellent solution for many analog isolation problems.

Key words: high-linearity analog optocoupler; HCNR200; analog signal; isolation; feedback

## 0 引言

在高输出电压开关电源的闭环控制系统中, 为了实现控制电路的安全工作, 避免将输出电路的噪声引入控制回路, 对输出采样电路与控制电路进行电气隔离是必须的。线性光电耦合器和霍尔传感器是两种较常用的隔离器件。

输出信号和输入信号成线性关系的光电耦合器称为线性光电耦合器。线性光电耦合器由于具有良好的性能和抗干扰能力而被广泛应用于输入和输出信号需要电气隔离的场合。对于需要较高的线性度以及较高频带宽度的开关电源闭环控制系统而言, 用线性光耦实现电气隔离是一种较佳的选择。

目前常用的高线性度光耦主要有 LOC110, 以及 HCNR200/201 等。给出了一种采用 HCNR200 型高线性度光耦对采样电压进行隔离的反馈控制电路, 该电路应用于高输出电压开关电源的闭环控制系统

中, 可以达到较好的线性度和较快的响应速度。

## 1 HCNR200 简介

HCNR200<sup>[1]</sup> 是一种性能价格比较高的模拟光电隔离器, 它的内部结构及管脚排列见图 1, 其内部包括一个高性能的 AlGaAs 型发光二极管 LED, 以及两个相近的匹配光敏二极管 PD1 和 PD2。输入光敏二极管 PD1 用来检测并稳定 LED 输出光的强度, 它能够很好地抑制 LED 输出光的飘移, 改善其线性度。输出光敏二极管 PD2 用来产生一个正比于 LED 光强度的光电流。两个光敏二极管相近的匹配特性以及先进的封装设计保证了 HCNR200 的高线性度和稳定的增益特性。同时 HCNR200 可以耐受 5 000 V 电压 1 min 而不被击穿损坏, 具有优良的安全性能。

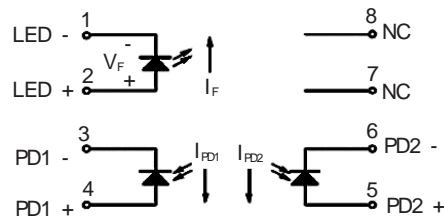


图 1 HCNR200 内部原理图

图 1 中,  $I_F$ ,  $I_{PD1}$  和  $I_{PD2}$  的关系如下:

$$I_{PD1} = K_1 I_F; I_{PD2} = K_2 I_F; K_3 = \frac{I_{PD1}}{I_{PD2}} \quad (1)$$

式中:  $K_1$  和  $K_2$  为输入输出光电二极管的电流传输比, 其典型值为 0.5%, 范围为 0.25%~0.75%;  $K_3$  为传输增益, 其典型值为 1.0, 范围为 0.85~1.15。对于一只制造好的 HCNR200 线性光耦而言, 其电流传输比和传输增益都是固定的。 $I_F$  的峰值可达 40 mA, 一般在 1~20 mA 之间, 因此根据输入输出电流传输比典型值 0.5% 可得  $I_{PD1}$  和  $I_{PD2}$  的值一般为 5~100  $\mu$ A。

HCNR200 可以工作在单极/双极、直流/交流、同相/反相等多种条件下, 通过灵活的电路设计, 可以

收稿日期: 2005-12-08; 修回日期: 2006-02-23

作者简介: 夏 军(1979-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为高压开关电源及谐振技术在开关电源中的应用。

应用于有高稳定度、高线性度、高频带宽度和低损耗等要求的模拟信号隔离场合。

## 2 采样隔离反馈电路的设计

传统的采样隔离反馈电路原理图见图 2，光耦 OPTO1 和 OPTO2 为同型号的光耦，假定两只光耦的传输比相同，均为 K，同时设流过光耦发光二极管的电流为  $I_0$ ，则流过两只光耦光敏三极管的电流均为  $KI_0$ 。因此可得：

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{KI_0 R_3}{KI_0 R_2} = \frac{R_3}{R_2} \quad (2)$$

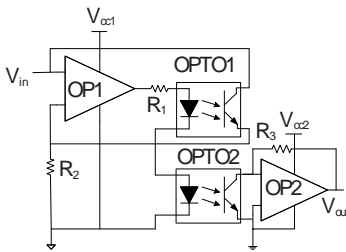


图 2 传统的采样隔离反馈电路

由式(2)可知，在理想条件下输入与输出电压成线性关系。但是由于两只光耦的特性并不完全相同以及 K 值具有一定的离散性，使得输入与输出电压的比例在较大范围内并不是成严格的线性关系，这就给要求隔离采样信号具有较高线性度的设计应用带来了困难。而采用高线性度光耦 HCNR200 则可以较好地解决这个问题，因其两个光敏三极管封装在一个器件内，具有最佳的匹配度和线性度。

采用高线性度光电耦合器 HCNR200 的采样电压隔离反馈电路原理图见图 3。电路中由发光二极管 LED 和光电二极管 PD1 组成隔离转换电路的输入部分并形成负反馈，PD2 则组成隔离转换电路的输出部分。由于输入电路形成负反馈，因此只要负反馈通道的发光二极管 LED 和光电二极管 PD1 的关系确定 ( $K_1$  确定)，则输入部分就稳定。又因为 PD2 和 PD1 成严格的比例关系 ( $K_3$  具有高线性度)，这样就可以通过适当的电路设计，使得 HCNR200 的输入和输出信号成稳定的比例关系。

在本电源系统中，输出电压最大值为 1 000 V，要求在 1 000 V 时，反馈控制电压为 5 V 左右。对于运算放大器的选用，要求具有高输入阻抗、低失调电

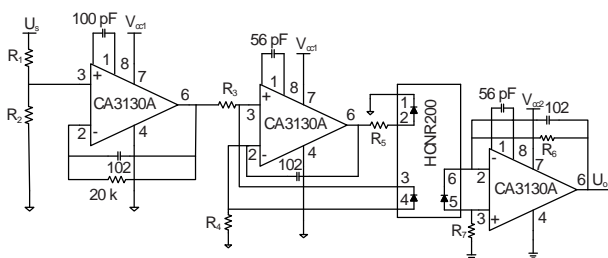


图 3 高线性度采样电压隔离反馈电路框图

压、低温飘特性以及较高的频带宽度。实测发现，运放的选择对于隔离转换电路的精度以及整个闭环控制系统的稳定度和精度有很大的影响。经过对 LM358, LF353, OP-07, OP-27 和 CA3130A 等运放的对比实验，发现高精度运放 CA3130A<sup>[2]</sup>可以达到最佳的线性度和频带宽度。

图中运放 CA3130A 管脚 1 和 8 之间的电容用于补偿运放的米勒效应，拓宽运放频带宽度，增加系统的稳定度，反相输入端脚 2 和运放输出端脚 6 之间的电容是为了消除高频噪声的影响。电路中运放 CA3130 采用 15 V 单电源供电，其最大共模输入电压为 15 V，最大输出电压为 13.3 V（负载为 2 k 时）。电路中选取隔离转换电路的输入电压范围为 0~6 V，所以采样分压电阻  $R_1$  和  $R_2$  分别为 10 M 和 60 k，以使得  $U_s$  在 0~1 000 V 范围内变化时，隔离转换电路获得所需要的 0~6 V 输入电压。

第一级运放组成电压跟随器，利用 CA3130 的高输入阻抗特性（输入阻抗  $1.5 \times 10^{12}$ ）实现电压隔离，减少后续电路对取样电路的影响。

$$U_L = U_s \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

第二级运放组成负反馈电路，利用 PD1 检测 LED 的光输出量，并自动调整通过 LED 的电流，以补偿 LED 光输出的变化及任何其它原因引起的非线性，因此该反馈放大器主要用于稳定 LED 的光输出并使其线性化。 $I_f$  的范围为 1~20 mA，根据运放最大输出电压 13.3 V，选取  $R_5$  为 680，光电二极管 PD1 的电流为：

$$I_{PD1} = \frac{U_L}{(R_3 + R_4)} \quad (3)$$

其最大值为：

$$I_{PD1} = \frac{6}{R_3 + R_4}$$

由于取值一般在 50  $\mu$ A 以下，故选取  $R_3$  和  $R_4$  分别为 60 k。

第三级运放组成的输出电路进行电流与电压之间的转换，以将输出光敏二极管 PD2 输出的稳定的、线性变化的电流转换成电压信号并输出。该电路中设计的输出电压  $U_o$  的范围为 0~5 V，表达式为：

$$U_o = I_{PD1} (R_6 + R_7) \quad (4)$$

将式(1)和式(3)代入式(4)可得：

$$U_o = \frac{K_3 U_L (R_6 + R_7)}{(R_3 + R_4)} \quad (5)$$

按典型值 1.0 计算，选取  $R_6$  和  $R_7$  分别为 50 k。由(5)式可知，改变电阻  $R_6$ ,  $R_7$  和  $R_3$ ,  $R_4$  的比值即可实现输入与输出电压之间的不同比例要求。

反馈电压在接入控制电路时，采用超前滞后补偿环节<sup>[5]</sup>，以扩大闭环系统的通频带宽度，并改善系统瞬态特性。频率补偿网络见图 4，其频域响应的波

特图见图 5。本电源采用串并联谐振技术<sup>[6]</sup>, 工作频率为 60 ~ 120 kHz, 运用图 3 所示的补偿网络可使系统在 10 kHz 处通过零点具有 -20 dB 的斜率, 从而保证了系统的稳定裕量, 改善了暂态特性和快速响应能力。

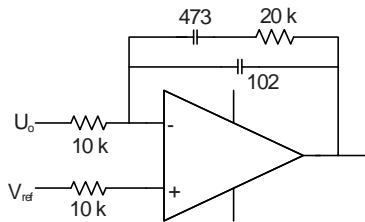


图 4 反相放大超前滞后补偿环节

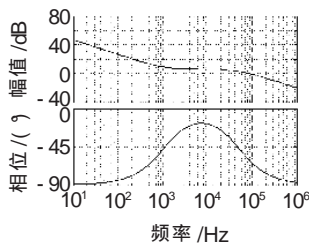


图 5 补偿电路的波特图

### 3 实验结果

在一个满载输出 1 000 V, 200 W 的开关电源中, 采用上述设计的采样电压隔离电路, 获得了满意的效果。输出电压可实现 250 ~ 1 000 V 连续可调,

在满载输出 1 000 V 时, 输出低频交流纹波 1 V, 高频纹波 200 mV, 有效地实现了取样电压的高线性度隔离, 屏蔽了输出电路的噪声对控制电路的影响, 并使闭环控制系统保持较好的稳态特性和暂态特性。根据实验结果, 该电路可应用在满载输出 5 kV, 2.5 kW 的开关电源系统中。

对于上述所设计的采样电压隔离转换电路, 只要改变取样端分压电阻的比例, 就可以满足不同电压的隔离要求; 同时改变电阻  $R_3$ ,  $R_4$  和  $R_6$  和  $R_7$  的比例, 则可以满足不同的输入输出电压要求; 如果采用双电源供电, 并采用更精密的运放, 则可以使隔离电路具有更高的线性度和频带宽度。因此, 通过灵活设计, 该电路可以适用于不同需要的模拟信号隔离场合, 具有较强的实用性。

### 参考文献:

- [1] HCNR200/201. datasheet[Z]. Agilent Technologies.
- [2] CA3130A. datasheet[Z]. Intersil Technologies.
- [3] 那文鹏, 王 昊, 陈 东. 线性光耦合器模拟信号隔离电路[J]. 辽宁工学院学报, 2000(5): 12- 14.
- [4] 吕勇军. 模拟光耦 HCNR201 及在数据采集系统中的应用[J]. 国外电子元器件, 2003(4): 68- 69.
- [5] 徐德洪. 电力电子系统的建模与控制技术 [M]. 浙江: 浙大学出版社, 2001.
- [6] Bhat A K S. Analysis, Optimization and Design of a Series-parallel Resonant Converter[C]// APEC 1990: 155- 164.

(上接第 294 页)

(2) 采用光纤在高、低压侧间传输信号, 系统绝缘相对简单, 动态范围宽, 抗电磁干扰能力强。

(3) 基于 PCB 板的平面形 Rogowski 线圈及数字积分器的使用, 提高了谐波测量的准确度、稳定性。

(4) 低功耗电路设计降低了对光源的要求, 提高光源的寿命和可靠性。

目前正在分析影响系统可靠性的各种因素, 对系统的可靠性进行评估, 最终将该产品的可靠度量化, 为光纤电流测量系统的实用化提供理论依据。

### 参考文献:

- [1] FANG Zheng-peng. A New Approach to Harmonic Compensation in Power Systems-a Combined System of Shunt Passive and Series Active Filters [J]. IEEE Trans. on Industry

- Applications, 1990, 26(6): 983- 990.
- [2] ZHANG Wen-yan, Asplund G. Active DC Filter for HVDC System-a Test Installation in the Konti-Skan DC Link at Lindome Converter Station[J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1993, 8(3): 1 599- 1 606.
- [3] ZHANG Wen-yan, Asplund G. Active DC Filter for HVDC Systems [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1994, 7(1): 40- 44.
- [4] ZHANG Wen-yan, Alf J Isaksson, Ake Ekstrom. Analysis on the Control Principle of the Active DC Filter in the Lindome Converter Station of KONti-Skan HVDC Link [J]. IEEE Trans. on Power Delivery, 1998, 13(2): 374- 381.
- [5] Kojovic L. Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurement [J]. IEEE Computer Applications in Power, 1997, 10(3): 47- 52.
- [6] 张明明, 张 艳, 李红斌, 等. Rogowski 电流互感器的积分器技术[J]. 高电压技术, 2004, 30(9): 13- 16.

欢迎投稿! 欢迎订阅! 欢迎评刊! 欢迎刊登广告!