

微安级数控恒流源的设计

胡 波¹ 李 波¹ 罗贤虎² 吴来杰¹ 徐 行²
(1. 中国地质大学(武汉)机械与电子信息学院 2. 广州海洋地质调查局)

摘 要: 微安级恒流源电路在精密智能仪器和微传感检测技术中有广泛的应用。本文在分析了微安级数控恒流源的电路结构和工作原理的基础上,指出了存在的问题,提出了改进方法,给出了具体的设计电路,该设计在实际工程应用中有较高的参考价值。

关键词: 微安级恒流源; 闭环反馈; 仪表放大器

Design of Numerically Controlled μ A-level Constant Current Power

Hu Bo¹ Li Bo¹ Luo Xianhu² Wu Laijie¹ Xu Xing²
(1. Faculty of Mechanical & Electronic Information, China University of Geosciences 2. Guangzhou Marine Geological Survey Bureau)

Abstract: μ A-level constant current power is widely used in precision intelligent instrument and micro-sensor detection. On the basis of analyzing the circuit structure and working principle of numerically controlled μ A-level constant current power, the existing problems and improving solutions are proposed in this paper. Then the specific circuit is presented, which is of high reference value in practical applications.

Key words: μ A-level constant current power; closed-loop feedback; instrumentation amplifier

恒流源在各种测量电子电路和传感器电子电路中应用广泛,是开关电源、信号检测和功率放大等场合中不可替代的测试单元。微安级数控恒流源更是广泛地应用于智能仪器和先进检测技术中。与一般的恒流源电路相比,微安级恒流源输出电流小,更易受到电路中纹波和噪声的影响,在器件选择和电路设计方面尤其要注意高精度和高阻抗。正是由于这些特点,微安级恒流源的电路设计与普通的恒流源电路有所区别。

1 微安级数控恒流源的一般设计方法

虽然恒流源的电路形式各种各样,但是其电路结构基本一样,都是基于闭环反馈的思想,反馈的形式主要有晶体管反馈、场效应管反馈、并联稳压器反馈、运算放大器反馈等^[1]。数控恒流源的一般结构框图如图1所示,根据所需的恒流电路的电流值,系统首先通过微处理器计算出对应的电压值,由DA转换环节输出电压,经过滤波电路的处理,和误差放大、功率放大、电流检测比较放大以及电压电流转换等环节,在负载电阻所在回路输出恒定的电流。

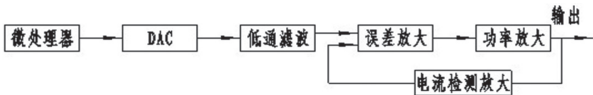


图1 数控恒流源的一般结构框图

精密的恒流源电路多是使用运算放大器作为负反馈的误差放大器,以晶体管或场效应管作为功率放大器件,从而形成闭环反馈电路。微安级恒流源电路的设计也是基于这种闭环反馈的思想,所不同的是由于在功率放大环节使用的晶体管或场效应管都有数微安或者数十微安的漏电流,会影响电路的精度,远超过微安级电路所允许的误差范围。而一般运放的输出带载能力都能达到数毫安或者数十毫安,能满足微安级恒流源电路所需的输出要求。因此在微安级恒流源中无需采用功率放大器件,而直接使用运放向负载电阻输出电流。即运放既起到误差放大器的作用,又起到功率放大器的作用。如此设计不仅能满足要求,也能减小由于功率放大引起的误差和功率损耗,提高电路的

精度和效率。

图2所示为典型的微安级恒流源电路。DA转换器输出给定电压后,经R1和C1组成的低通滤波器送入运放同相输入端,运放输出端接负载,电流采样电阻R3将输出电流转换为电压,进入运放的反向输入端构成负反馈。图中R3为采样电阻,需采用初始精度高、温度漂移系数低的精密电阻。

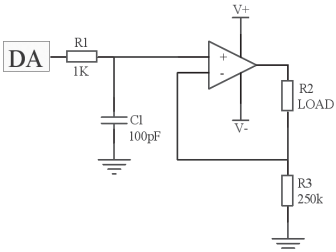


图2 典型的微安级数控恒流源电路

下面举例说明元器件参数的选择,如需要设计0~10 μ A的数控电流源,所选DA转换器的参考电压为2.5V,即DA转换器的最大输出电压 V_{\max} 为2.5V,在此电路中,应该对应最大的输出电流 I_{\max} 为10 μ A,根据运放“虚短虚断”的原则,R3的值应由式(1)确定。

$$R3 = V_{\max} / I_{\max} \quad (1)$$

因此R3应取250k Ω 。

2 差分电路在微安级恒流源电路中的应用

图2所示的微安级恒流源电路,简单可靠,但存在两个问题。**a.** 运放反向输入端的偏置电流会影响电路的精度,尤其是对于微安级的电路影响很大。因此必须选用偏置电流较小的运放,如FET型的运放。**b.** 在此电路中,负载没有共地。由于在地线上串入了电阻,流入地电平的电流将在取样电阻上产生电压,此电压将以地电平噪声的形式出现在系统的所有地节点上,这样将严重影响模拟电路的精度甚至会导致系统数字电路的误动作。

为了使电路的应用更为广泛,可以采用图3所示的电路结构。

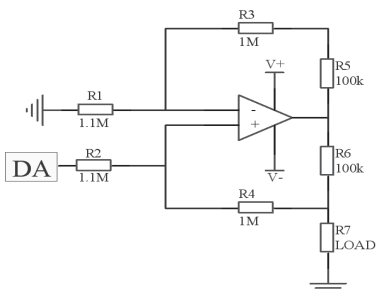


图3 差分放大大型微安级恒流源电路

此电路通过差分放大器的拓扑形式解决了恒流源负载不共地的问题，负载是接在输出与地线之间。在此电路中，由于采用了差分结构，因此需慎重选择电阻，其中R1和R2，R3和R4，R5和R6分别相等，如果这三对电阻选得不对称，将会严重影响输出电流的精度。通过运放“虚短虚断”的原则，可以计算出在此电路中DA转换器输出1V的电压对应恒流源电路的输出电流为10 μA。

3 运用仪表放大器设计微安级恒流源电路

差分放大大型电路虽然解决了恒流源负载不共地的问题，但电路结构较复杂，而且由于使用了三对大阻值精密电阻，器件难以购买，使得电路的成本大大提高，通用性降低。但是，可以基于上述电路思想，运用新型运算放大器设计出简单廉价的高精密微安级数控恒流源。图4所示电路是采用仪表放大器INA118结合运放设计出的高精密微安级数控恒流源。

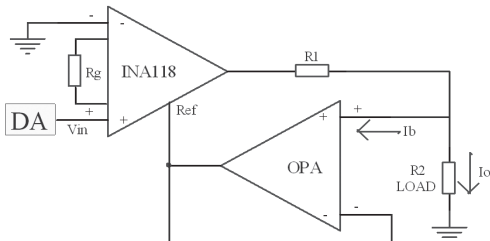


图4 运用仪表放大器构建的微安级恒流源电路

INA118是美国B-B公司生产的精密仪表放大器，具有精度高和共模抑制比高的优点，适合对微小信号进行不失真的放大^[2]。INA118由三个运算放大器组成差分放大结构，其内部结构图如图5所示^[3]。

