

核电站用高精度双通道电流/电压转换装置研究设计

石晓伟¹, 梅宗川², 邱建文¹, 李久锐¹, 杨晓奇¹

(1. 中核核能技术研究院北京分院, 北京 100086; 2. 中广核核电运营有限公司, 广东 深圳 518124)

摘要: 核电站由诸多复杂系统组成, 这些系统内部及系统相互之间经常进行信号传递和转换, 而电流/电压转换功能模块是小信号转换最常用的功能模块, 所研究设计的电流电压转换模块可以实现将两路即双通道输入的 $0\sim 20\text{ mA}$ 或 $4\sim 20\text{ mA}$ 转换为两路 $0\sim 5\text{ V}$ 或 $1\sim 5\text{ V}$ 信号输出, 精度可达到 0.2% , 同时实现输入输出之间信号隔离, 所设计模块精度高, 延迟小, 运行稳定可靠, 安装使用方便, 并已经在国内核电站成功应用并取得良好口碑。

关键词: 核电站; 电流电压转换; 隔离; 高精度

Research and Design of a High Precision Double Channel Current/Voltage Conversion Equipment for Nuclear Power Plant

Shi Xiaowei¹, Mei Zongchuan², Qiu Jianwen¹, Li Jiurui¹, Yang Xiaoqi¹

(1. China Nuclear Power Technology Research Institute Beijing Division, Beijing 100086, China;
2. China Nuclear Operation Company, Shenzhen 518124, China)

Abstract: A nuclear power plant consists of many complex systems, signal transmission and conversion inside and between these systems is often performed, the current/voltage conversion module is the most common small signal conversion function module, the new designed current/voltage can be used to convert two channel of $0\sim 20\text{ mA}$ or $4\sim 20\text{ mA}$ current signal to two channel corresponding $0\sim 5\text{ V}$ or $1\sim 5\text{ V}$ voltage signal, and the conversion accuracy can reach to 0.2% , meanwhile the conversion is isolated between the input and output signal. The new designed current/voltage conversion module is much more accurate, less delay time, more stabilization reliable operation, easier to install and use, the device has been successfully used in the nuclear power plant and achieved good reputation.

Keywords: nuclear plant; current/voltage conversion; isolation; accurate

0 引言

电流/电压转换功能模块(电流表示符号为 I , 电压表示符号为 V , 以下简称电流/电压转换功能模块为 I/V 模块)的功能是实现将输入的电流信号转换成电压信号输出, 并将输入和输出信号隔离, 避免相互干扰。输入电流信号范围是 $0\sim 20\text{ mA}$, 转换成对应输出电压信号范围为 $0\sim 5\text{ V}$, 这样保证输出输出信号均为工业标准信号, 方便整个核电系统中信号传输, 避免二次转换^[1-2]。该模块包括两部分, 分为外部电子模块保护外壳和内部电子电路部分。外部的电子保护壳采用高强度、耐高温且绝缘性好的塑料电子模块外壳。内部电路板从功能上又可以划分为四部分: 输入电流信号转换及隔离电路、直流电源转换电路、双电源稳压电路和运放放大器及其偏置电路。 I/V 模块的整体电路结构框图及信号走向原理如图 1 所示。

1 I/V 模块电路设计

1.1 输入电流信号转换及隔离电路

根据实际的使用情况可知, 输入的电流信号一般不会发生突变, 而信号在传递过程中极有可能引入干扰和噪声信号, 因此将输入端信号先进行滤波处理, 滤除环境中引入的杂波或噪声等干扰信号。然后电流信号经过防止浪涌和脉冲的 TVS 保护二极管, 防止输入端出现的极端情况如过压冲击等, 对后部电路起到保护作用^[3]。经过滤波和防浪涌脉冲保护后, 平稳的

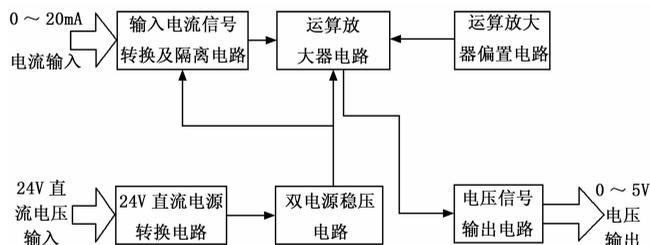


图 1 I/V 模块功能结构框图

电流信号又经过电阻网络, 精密的电阻分压网络将 $0\sim 20\text{ mA}$ 的电流信号先转变成为 $0\sim 2.2\text{ V}$ 的电压信号。 $0\sim 2.2\text{ V}$ 的电压信号又经过隔离运算放大器, 所设计的 I/V 模块的隔离运算放大器选用 TI 公司所生产的 ISO124 型隔离放大器器件为核心进行设计^[4]。该芯片的增益放大倍数为 1, 隔离电压达到 $1\ 500\text{ V}_{\text{rms}}$, 即可以完美实现将输入电压信号进行 1 倍放大, 同时实现放大前后电压信号的隔离。输入输出的隔离电压达到 $1\ 500\text{ V}_{\text{rms}}$, 该指示已经完全可以应用于实际的操作使用环境中, 实现对该模块前级和后级系统的隔离保护, 同时隔离模块 ISO124 的输入/输出电压范围在 $\pm 12.5\text{ V}$, 也完全包含了输入的 $0\sim 2.2\text{ V}$ 的电压范围。隔离模块 ISO124 的最大工作电压为 $\pm 18\text{ V}$, 该设计所选用的稳压电源为 $\pm 12\text{ V}$ 也可以满足隔离模块的工作电压的要求, 电源设计在 2.3 章节再做详细介绍。

精密电阻分压网络的工作原理很简单, 即将输入电流信号通过两个精密电阻, 在第二个电阻端得到固定比例分压的电压信号。具体介绍是输入部分采用纯电阻分压设计, $0\sim 20\text{ mA}$ 电流流经大小分别为 250Ω 和 110Ω 的两个精密电阻, 然后流

收稿日期: 2015-10-15; 修回日期: 2015-11-26。

作者简介: 石晓伟(1985-), 男, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要从事核电站仪控电气方向的研究。

至信号地端, 这样在第二个电阻 110Ω 的电阻两端即可得到 2.2 V 的分压电压信号, 该电压信号与输入的 $0\sim 20\text{ mA}$ 电流信号成线性正比例关系, 这样在隔离放大器的输入端上也得到最大 2.2 V 的电压, 满足隔离放大器的输入电压范围的要求。输入电流转换及隔离模块的结构功能如图 2 所示。

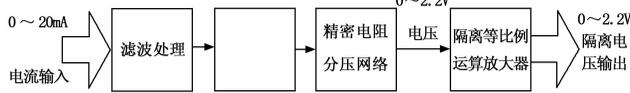


图 2 输入电流信号转换及隔离电路

在运行过程中, 影响整个电路的精度的器件主要是电路板上的有源器件, 此电路板上的主要有源器件为隔离模块 ISO124 和运算放大器 AD827, 运放的失调电压随温度变化很小, 可以忽略, 隔离模块的失调电压随温度变化的参数是 $200\ \mu\text{V}/\text{C}$, 器件的使用环境为 $0\sim 60\text{ }^\circ\text{C}$, 正常使用温度约为 $30\text{ }^\circ\text{C}$, 考虑到极限降温 and 温升 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 的情形, 约产生 6 mV 的偏差, 经过运放放大后约为 13.8 mV , 产生约 0.27% 偏差, 通过调节偏置和失调电压调节电位器可以使该误差降低至低于 0.2% 的技术要求, 满足现场使用的要求。

1.2 直流电源转换电路

信号 I/V 模块的输入电压是 $+24\text{ V}$ 直流电源电压, 而电路板上的运放和隔离芯片均要求双电压供电, 因此需将输入的 $+24\text{ V}$ 电压转变成双电压。考虑到 I/V 模块电路板的尺寸体积精确度及成本等因素, 最后采用了无稳态多谐振荡电路。双电源稳定的具体实现是输入端施加 24 VDC 直流电源, 该电源先经过一个由两组 NPN 三极管组成的无稳态多谐振荡电路, 该振荡电路根据三极管 PN 结工艺及导通特性^[5], 可将输入直流电压转变得到交变电压信号, 该交变电压信号输入至变压器输入端, 在变压器输出端得到两路相互隔离独立的交流电源, 该交流电源再经过整流稳压即可得到稳定的双电源。

24 V 的直流电压经过两个 10 K 的电阻分别给 NPN 三极管 N1 和 N2 基极施加正向偏置, 保证两个三极管导通的正向电压。两个 NPN 三极管所选择型号一样, 由于 N1 和 N2 参数不可能完全一致, 必然是其中一个先导通, 假设上电后 N1 先导通, N1 导通后其集电极电压降低至接近 GND 电压, 其集电极经过一个电容 C12 连接至三极管 N2 的基极, 由于电容两端电压不可突变, 故 N1 的集电极低电压耦合至 N2 基极, 拉低 N2 基极电压, 使其低于导通电压, 阻止其导通; 此时三极管 N1 集电极和三极管 N2 基极之间电容 C12 通过限流电阻 R33 进行正向充电, 逐渐增大 N2 基极电压, 直至该电压达到 N2 导通电压后, N2 导通; 此时 N2 集电极电压与发射极电压接近 GND 电压, 三极管 N2 拉低的集电极电压通过 N2 集电极与 N1 基极之间的电容 C11 耦合至 N1 基极, 使 N1 基极电压低于导通电压, 进而 N1 关断; N1 和 N2 以此顺序依次导通和关断, 在变压器输入端形成近似方波电压信号。二极管 D1 可以防止电源接反, 起到保护作用, 电感 L1 和电容构成 LC 滤波电路。同时考虑到对电源和电路板的保护, 防止 24 V 电源短路等故障出现, 加入了热敏电阻 RT1, 图 3 为直流电压逆变转换原理框图。

1.3 双电源稳压电路

电路需要两组双电源, 即两组正负电源, 一组电源给输入端的隔离放大器供电, 另外一组提供给隔离放大器的输出以及

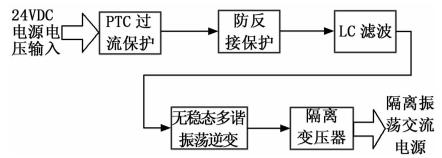


图 3 直流电压振荡转交流电路

后续的放大电路。利用变压器两副边绕组输出两路隔离的交流电压, 每组交流输出再经过两个半波整流分别得到半波的正负电源, 经过电容滤波后输入到两个线性稳压器, 通过线性调整稳压芯片产生两组相互隔离的 $\pm 12\text{ V}$ 电源。具体双电源稳压电路如图 4 所示。

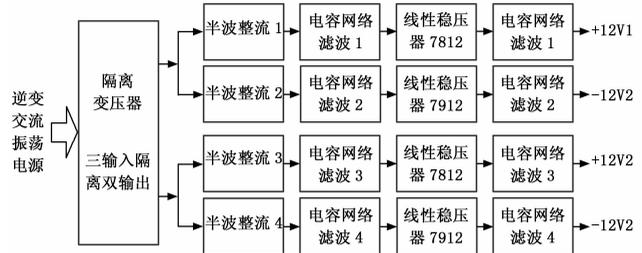


图 4 双电压稳压输出

1.4 电压信号放大及其偏置电路

为了使输入 0 mA 时, 信号 I/V 模块能够输出一个稳定的 0 V 电压, 我们利用 TL431 和电位器构成一个精密的电压调节电路。即把两个 TL431 的正端和负端连接起来, 然后将正负电源分别通过两个限流电阻接在两个 TL431 未连接的正端和负端, 则在两个 TL431 两端便可得到 -2.5 V 到 $+2.5\text{ V}$ 的稳定基准电压值。再将电位器并联在两个 TL431 的两端, 通过调节电位器, 使得放大器电路的输入端得到稳定的 0 V 电压, 输出端也同样输出一个稳定的 0 V 电压, 在运算放大器受环境温度等因素影响出现偏移基准点时, 也可以通过调节电位器得到运放工作状态下的稳定偏置和失调电压。

将隔离模块 ISO124 输出的电压信号输入到运算放大器 U 的正向输入端, 调节放大增益电位器 P3 即可得到对应于输入 $0\sim 20\text{ mA}$ 电流信号的输出电压值, 并得到达到良好的线性度。运算放大器选用双运放 AD827^[6]。隔离放大器 ISO124 变送来的 $0\sim 2.2\text{ V}$ 电压, 进行放大成 $0\sim 5\text{ V}$ 电压, 电压增益约为 2.26 。实际的电路中的运放增益为 $A = (1 + R5 / (R6 + P1))$, 选用 $R5$ 为 6.8 K , $R6$ 和 $P1$ 分别为 4.99 K 和 500Ω 。前端的偏置电路在进行仿真过程中, 工作温度从 $30\text{ }^\circ\text{C}$ 升高至 $60\text{ }^\circ\text{C}$ 过程中, 电压漂移在 0.01 nV 内, 保证了运放输入端的偏置电压精度。这样调节电位器 P1 可精确的调节放大增益, 提高电路的线性度。运放及偏置如图 5 所示。

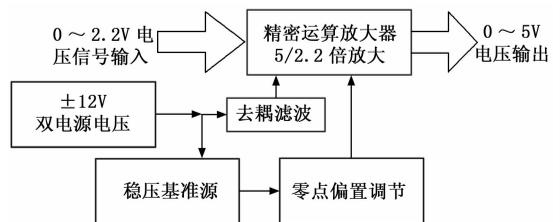


图 5 运放放大器及偏置电路