



(21) 申请号 202210987432.0

(22) 申请日 2022.08.17

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 115346696 A

(43) 申请公布日 2022.11.15

(73) 专利权人 中国核动力研究设计院

地址 610000 四川省成都市双流区长顺大道一段328号

(72) 发明人 曾凤梅 李昆 杨戴博 曾少立

吴志强 黎刚 尹秋升 翁小惠

韩钰 左思源 刘明明

(74) 专利代理机构 成都行之专利代理有限公司

51220

专利代理师 林菲菲

(51) Int.Cl.

G21C 17/02 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 109060009 A, 2018.12.21

CN 110412388 A, 2019.11.05

CN 111292862 A, 2020.06.16

KR 20200117212 A, 2020.10.14

SE 0301403 D0, 2003.05.15

CN 105513656 A, 2016.04.20

CN 112906407 A, 2021.06.04

CN 113409973 A, 2021.09.17

KR 20010037389 A, 2001.05.07

KR 20180010748 A, 2018.01.31

何正熙; 李白; 吴峻; 张帆. 秦山核电二期扩建工程堆芯冷却监测系统设计. 核动力工程. 2008, (第01期), 全文.

何正熙; 何鹏; 陈学坤; 徐涛. “华龙一号”堆芯冷却监测系统设计. 核动力工程. 2018, (第05期), 全文.

杨鹏; 姚彤; 蔡昊廷. 秦山核电二厂堆芯冷却监测系统数字化改造. 仪器仪表用户. 2020, (第04期), 全文.

姜夏岚; 刘泰丽; 刘仪; 章旋. MLOCA瞬态堆芯水位监测有效性分析. 核动力工程. 2017, (第03期), 全文.

审查员 韩光皓

权利要求书1页 说明书5页 附图5页

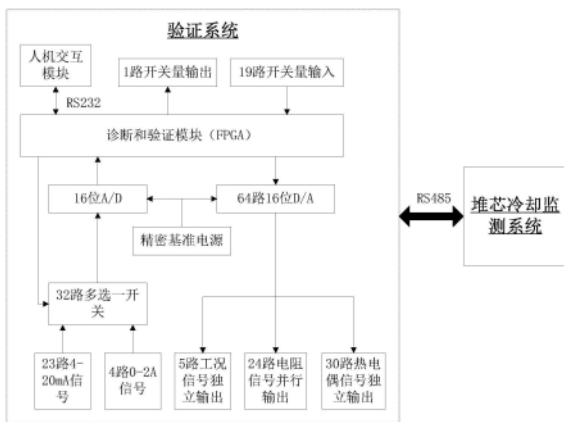
(54) 发明名称

一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统和方法

(57) 摘要

本发明公开了一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统和方法, 系统包括堆芯温度模拟模块, 用于模拟输出反应堆在多种工况下的堆芯温度状态信号至堆芯冷却监测系统; 水位变化模拟模块, 用于模拟输出反应堆在多种工况下的堆芯水位状态信号至堆芯冷却监测系统; 工况信号模拟模块, 用于模拟输出核电厂工况信号至堆芯冷却监测系统以提供验证环境; 采集模块, 用于采集堆芯冷却监测系统的输出信号; 诊断和验证模块, 用于将采集的信号进行存储并对比验证。本发明集数据采集与信号模拟一体, 一方面可快速监测采集设备或工况信号并进行验证, 另

一方面能够产生信号模拟堆芯状态, 并将其发送给相应设备进行诊断和处理。



1. 一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,其特征在于,包括堆芯温度模拟模块、水位变化模拟模块、工况信号模拟模块、采集模块、诊断和验证模块;

其中,所述堆芯温度模拟模块用于模拟输出反应堆在多种工况下的堆芯温度状态信号至堆芯冷却监测系统;

所述水位变化模拟模块用于模拟输出反应堆在多种工况下的堆芯水位状态信号至堆芯冷却监测系统;

所述工况信号模拟模块用于模拟输出核电厂工况信号至堆芯冷却监测系统以提供验证环境;

所述采集模块用于采集堆芯冷却监测系统的输出信号;

所述诊断和验证模块用于将采集的信号进行存储并对比验证;所述堆芯温度模拟模块可同时输出30路反应堆堆芯热电偶信号,输出的热电偶信号范围为0~50mV;所述堆芯温度模拟模块采用每路输出信号单独隔离的方式设计,且采用屏蔽电缆对每路输出信号进行保护;还包括D/A模块;

所述诊断和验证模块控制所述D/A模块输出0V~2.5V测试信号,输出的测试信号通过所述堆芯温度模拟模块衰减50倍,生成0~50mV信号,驱动后分别独立输出30路热电偶信号。

2. 根据权利要求1所述的一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,其特征在于,所述水位变化模拟模块通过多路热电偶信号和冷端补偿电阻信号模拟2路堆芯水位探测器。

3. 根据权利要求1所述的一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,其特征在于,所述核电厂工况信号包括主回路压力宽量程信号、主回路压力窄量程信号、安全壳内大气压力信号和宽量程环路热段温度信号。

4. 根据权利要求1-3任一项所述的一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,其特征在于,所述采集模块采集的信号包括23路电流模拟信号和19路开关量信号。

5. 根据权利要求1-3任一项所述的一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,其特征在于,所述诊断和验证模块基于FPGA实现。

6. 根据权利要求1-3任一项所述的一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,其特征在于,还包括人机交互模块;

所述人机交互模块用于对采集的信号进行显示、分析和记录。

7. 一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证方法,其特征在于,该方法基于权利要求1-6任一项所述的验证系统实现,具体包括如下步骤:

进行通讯验证,如果通讯成功,则开始检验;

发送模拟信号至被测的堆芯冷却监测系统相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,进行堆芯温度测量功能验证;

发送模拟信号至被测的堆芯冷却监测系统相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,进行压力容器水位测试功能验证;

发送模拟信号至被测的堆芯冷却监测系统相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,进行堆芯冷却监测功能验证;

采集被测的堆芯冷却监测系统输出信号存储在数据池中,对采集数据进行对比判断,进行堆芯输出检测功能验证。

一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统和方法

技术领域

[0001] 本发明属于核安全级设备技术领域,具体涉及一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统和方法。

背景技术

[0002] 堆芯冷却监测系统(CCMS)作为华龙一号堆芯测量系统的子系统之一,属于安全级设备,主要用于监测反应堆堆芯出口温度,为堆芯径向功率分布提供依据,当反应堆发生失水事故时,还可用于监测堆芯温度的变化趋势以及为反应堆压力容器水位测量提供温度参数,确保反应堆安全运行。

[0003] 核电厂堆芯冷却监测系统属于安全级设备,反应堆堆芯冷却监测系统经过复杂的设计和验证,在这一阶段中,需要提供反应堆工况信号和充分验证该系统的正确性,M310堆芯测量系统(RIC)仅依靠使用分立仪表对堆芯测量系统各个通道进行单一精度测试,不能快速对设备进行诊断和模拟堆芯状态,无法满足对堆芯测量系统计算功能的验证,所需仪器甚多,费时费力,设计制造周期因此大大延长。

发明内容

[0004] 为了解决现有技术不能快速对设备进行诊断和模拟堆芯状态,无法满足相应需求等问题,本发明提供了一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统。本发明的验证系统集数据采集与信号模拟一体,一方面可快速监测采集设备或工况信号并进行验证,另一方面能够产生信号模拟堆芯状态,并将其发送给相应设备进行诊断和处理。

[0005] 本发明通过下述技术方案实现:

[0006] 一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,包括堆芯温度模拟模块、水位变化模拟模块、工况信号模拟模块、采集模块、诊断和验证模块;

[0007] 其中,所述堆芯温度模拟模块用于模拟输出反应堆在多种工况下的堆芯温度状态信号至堆芯冷却监测系统;

[0008] 所述水位变化模拟模块用于模拟输出反应堆在多种工况下的堆芯水位状态信号至堆芯冷却监测系统;

[0009] 所述工况信号模拟模块用于模拟输出核电厂工况信号至堆芯冷却监测系统以供验证环境;

[0010] 所述采集模块用于采集堆芯冷却监测系统的输出信号;

[0011] 所述诊断和验证模块用于将采集的信号进行存储并对比验证。

[0012] 作为优选实施方式,本发明的堆芯温度模拟模块可同时输出30路反应堆堆芯热电偶信号,输出的热电偶信号范围为0~50mV。

[0013] 作为优选实施方式,本发明的堆芯温度模拟模块采用每路输出信号单独隔离的方式设计,且采用屏蔽电缆对每路输出信号进行保护。

[0014] 作为优选实施方式,本发明的系统还包括D/A模块;

[0015] 所述诊断和验证模块控制所述D/A模块输出0V~2.5V测试信号,输出的测试信号通过所述堆芯温度模拟模块衰减50倍,生成0~50mV信号,驱动后分别独立输出30路热电偶信号。

[0016] 作为优选实施方式,本发明的水位变化模拟模块通过多路热电偶信号和冷端补偿电阻信号模拟2路堆芯水位探测器。

[0017] 作为优选实施方式,本发明的核电厂工况信号包括主回路压力宽量程信号、主回路压力窄量程信号、安全壳内大气压力信号和宽量程环路热段温度信号。

[0018] 作为优选实施方式,本发明的采集模块采集的信号包括23路电流模拟信号和19路开关量信号。

[0019] 作为优选实施方式,本发明的诊断和验证模块基于FPGA实现。

[0020] 作为优选实施方式,本发明的系统还包括人机交互模块;

[0021] 所述人机交互模块用于对采集的信号进行显示、分析和记录。

[0022] 另一方面,本发明提出了一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证方法,该方法基于上述验证系统实现,具体包括如下步骤:

[0023] 进行通讯验证,如果通讯成功,则开始检验;

[0024] 发送模拟信号至被测的堆芯冷却监测系统相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,进行堆芯温度测量功能验证;

[0025] 发送模拟信号至被测的堆芯冷却监测系统相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,进行压力容器水位测试功能验证;

[0026] 发送模拟信号至被测的堆芯冷却监测系统相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,进行堆芯冷却监测功能验证;

[0027] 采集被测的堆芯冷却监测系统输出信号存储在数据池中,对采集数据进行对比判断,进行堆芯输出检测功能验证。

[0028] 本发明具有如下的优点和有益效果:

[0029] 本发明能够实现堆芯冷却监测系统输出结果的采集以及快速诊断和自动试验验证,并能够为堆芯冷却监测系统提供多路模拟信号,例如反应堆堆芯温度状态、反应堆水位变化、核电厂工况信号,从而提高了堆芯冷却监测系统固定测试检验效率,将现有复杂的测试过程简单化,节省了研究时间,为堆芯冷却监测系统的研究提供了技术和数据支撑。

[0030] 本发明克服核电厂复杂的电磁环境,适用于复杂的现场环境,具有抗干扰、抗高温、抗电磁兼容和抗震动的特性,满足现场施工条件,适用于堆芯测量系统全周期研制。

附图说明

[0031] 此处所说明的附图用来提供对本发明实施例的进一步理解,构成本申请的一部分,并不构成对本发明实施例的限定。在附图中:

[0032] 图1为本发明实施例的系统原理框图。

[0033] 图2为本发明实施例的热电偶信号生成电路原理图。

[0034] 图3为本发明实施例的热电阻信号生成电路原理图。

[0035] 图4为本发明实施例的开关量输出信号生成电路原理图。

[0036] 图5为本发明实施例的电流信号生成电路原理图。

- [0037] 图6为本发明实施例的开关量信号采集电路原理图。
- [0038] 图7为本发明实施例的电流信号采集电路原理图。
- [0039] 图8为本发明实施例的电压信号采集电路原理图。
- [0040] 图9为本发明实施例的方法流程示意图。

具体实施方式

[0041] 在下文中,可在本发明的各种实施例中使用的术语“包括”或“可包括”指示所发明的功能、操作或元件的存在,并且不限制一个或更多个功能、操作或元件的增加。此外,如在本发明的各种实施例中所使用,术语“包括”、“具有”及其同源词仅意在表示特定特征、数字、步骤、操作、元件、组件或前述项的组合,并且不应被理解为首先排除一个或更多个其它特征、数字、步骤、操作、元件、组件或前述项的组合的存在或增加一个或更多个特征、数字、步骤、操作、元件、组件或前述项的组合的可能性。

[0042] 在本发明的各种实施例中,表述“或”或“A或/和B中的至少一个”包括同时列出的文字的任何组合或所有组合。例如,表述“A或B”或“A或/和B中的至少一个”可包括A、可包括B或可包括A和B二者。

[0043] 在本发明的各种实施例中使用的表述(诸如“第一”、“第二”等)可修饰在各种实施例中的各种组成元件,不过可不限制相应组成元件。例如,以上表述并不限制所述元件的顺序和/或重要性。以上表述仅用于将一个元件与其它元件区别开的目的。例如,第一用户装置和第二用户装置指示不同用户装置,尽管二者都是用户装置。例如,在不脱离本发明的各种实施例的范围的情况下,第一元件可被称为第二元件,同样地,第二元件也可被称为第一元件。

[0044] 应注意到:如果描述将一个组成元件“连接”到另一组成元件,则可将第一组成元件直接连接到第二组成元件,并且可在第一组成元件和第二组成元件之间“连接”第三组成元件。相反地,当将一个组成元件“直接连接”到另一组成元件时,可理解为在第一组成元件和第二组成元件之间不存在第三组成元件。

[0045] 在本发明的各种实施例中使用的术语仅用于描述特定实施例的目的并且并非意在限制本发明的各种实施例。如在此所使用,单数形式意在也包括复数形式,除非上下文清楚地另有指示。除非另有限定,否则在这里使用的所有术语(包括技术术语和科学术语)具有与本发明的各种实施例所属领域普通技术人员通常理解的含义相同的含义。所述术语(诸如在一般使用的词典中限定的术语)将被解释为具有与在相关技术领域中的语境含义相同的含义并且将不被解释为具有理想化的含义或过于正式的含义,除非在本发明的各种实施例中被清楚地限定。

[0046] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白,下面结合实施例和附图,对本发明作进一步的详细说明,本发明的示意性实施方式及其说明仅用于解释本发明,并不作为对本发明的限定。

[0047] 实施例

[0048] 为了保证CCMS能够长期可靠、稳定运行,本实施例提供了一种用于核安全级堆芯冷却监测系统的验证系统,该系统主要包括堆芯温度模拟模块、水位变化模拟模块、工况信号模拟模块、采集模块、诊断和验证模块和人机交互模块,如图1所示。

[0049] 其中,堆芯温度模拟模块可模拟反应堆堆芯温度状态,可同时输出30路堆芯热电偶信号,模拟反应堆启堆、停堆、功率提升、稳定运行、落棒、事故等多种工况下的堆芯温度变化,为堆芯冷却监测系统的堆芯温度测量功能和堆芯冷却监测功能提供验证。输出的热电偶信号范围为0~50mV,mV级信号易受到干扰,为满足电厂复杂的电磁环境,采用每路信号单独隔离的方式设计,且采用专用屏蔽电缆对信号进行保护。

[0050] 水位变化模拟模块可模拟反应堆水位变化,通过多路热电偶信号和冷端补偿电阻信号模拟2路堆芯水位探测器,并模拟反应堆启堆、停堆、功率提升、稳定运行、落棒、事故等多种工况下的堆芯压力容器内水位状态,同时接收CCMS为堆芯水位探测器提供的可调加热电源,并通过内部大功率电阻模拟水位探测器功耗,为堆芯冷却监测系统的反应堆压力容器水位测量功能和堆芯冷却监测功能提供验证。

[0051] 工况信号模拟模块可模拟主回路压力宽量程信号、主回路压力窄量程信号、安全壳内大气压力信号和宽量程环路热段温度信号等核电厂工况信号,为测试对象冷却监测系统提供验证环境。

[0052] 采集模块用于采集CCMS计算和处理后输出的最高堆芯温度、堆芯出口平均温度、最低过冷裕度等23路信号(23路4~20mA信号)和水位状态信号、过冷裕度低报警信号等19路报警信号(19路干触点输入),并与理论值进行比对,验证CCMS的计算结果和输出功能。

[0053] 诊断和验证模块通过模拟堆芯热电偶、堆芯水位探测器和其他核电厂工况信号为CCMS提供测试信号,并通过网络与CCMS通讯,对CCMS故障进行快速诊断、定位,并可调用测试用例,自动完成CCMS系统的试验和验证。诊断和验证模块基于FPGA实现。

[0054] 人机交互模块,可对采集的信号进行显示、分析、记录等。

[0055] 本实施例的系统所涉及信号类型及范围如表1所示。

[0056] 表1信号类型及范围

[0057]	信号类型	通道数	信号范围	信号精度
	温度模拟量信号输出 (0~50mV)	30 路	0~50mV	$\leq \pm 50\mu\text{V}$, $\leq 0.1\%$
	电阻信号	24 路	电阻输出范围 100 Ω ~175.86 Ω , 对应温度范围 0~200 $^{\circ}\text{C}$	$\leq \pm 0.1\%$
	触点型开关量输出信号	1 路	/	/
	触点型开关量输入信号	19 路	/	/
	模拟量信号输出(4~20mA)	5 路	0~20mA	$\leq \pm 0.1\%$
	模拟量信号输入(4~20mA)	23 路	0~20mA	$\leq \pm 0.1\%$
	模拟量信号输入(0~10V)	4 路	0~10V	$\leq \pm 0.1\%$
	5 Ω 电阻	4 路	$\leq \pm 0.5\%$	$\geq 25\text{W}$

[0058] 进一步的,本实施例的堆芯温度模拟信号,即0~50mV信号生成电路如图2所示,FPGA控制16位D/A输出0V~2.5V测试信号,输出的测试信号采用运算放大器衰减50倍,即可生成0~50mV信号,驱动后分别独立输出30路温度模拟信号,即每路温度模拟信号由单独的电路模块产生,图2以一路温度模拟信号为例进行示例性说明,输出端口为R0-1。

[0059] 进一步的,本实施例的电阻模拟信号,即Pt100电阻信号生成电路如图3所示,FPGA控制16位D/A输出1V~1.75V信号后采用运放跟随产生高输出阻抗,在四线制热电偶冷端产

生压差,标定0~200℃对应D/A输出20mV~35mV左右。模拟时24路Pt100电阻可并行输出,并输出相同的冷端补偿温度,即由两个电路模块同时输出两路热电偶信号,如图3所示的输出端口为PT100-12/PT100-24。

[0060] 进一步的,本实施例的开关量模拟信号,即干触点输出采用小型继电器实现,FPGA提供3路隔离TTL信号,经三极管导通,驱动高可靠性松川小型继电器断开与闭合,产生干触点输出信号,输出端口为RY1-COM/RY1-N0,如图4所示。

[0061] 进一步的,本实施例的4~20mA电流模拟信号,FPGA控制5路16位DAC输出0~2.5V信号,通过功率放大电路,独立输出5路电流模拟信号,输出端口为YCH0,如图5所示。

[0062] 进一步的,本实施例的开关量信号输入,图6中所示为单路开关量输入信号实现电路,实际19路干触点输入信号采用共地上拉电阻,连接FPGA的I/O进行读取,并反馈给处理器进行验证和测试,采集端口为YX1,如图6所示。

[0063] 进一步的,本实施例的4~20mA电流信号输入,模拟信号通过采用共地的250Ω精密电阻采样后,差分驱动后进入32选1开关,通过FPGA控制A/D循环采集后,反馈给处理器进行验证测试,如图7所示。

[0064] 进一步的,本实施例的0~10V电压信号输入,采样端口为X29-1,采集电压信号,经过4个电阻分流保护后产生电压信号,差分驱动后进入32选1开关,FPGA控制ADC芯片循环采集后,反馈结果给处理器处理,如图8所示。

[0065] 本实施例提出的验证系统可通过硬接线与被试堆芯冷却监测系统连接,并通过RS485进行通讯,以为被试堆芯冷却监测系统提供各类模拟信号,并采集被试堆芯监测系统输出的各类信号,将其与理论值进行比较以对被试堆芯监测系统功能进行验证和测试;同时,本实施例提出的验证系统还可以将采集信号和输出信号进行比较,判断测试精度。

[0066] 本实施例提出的验证系统工作过程如图8所示,包括:

[0067] 首先确定是否成功通讯,发送握手信号给通讯模块,通讯模块向被试系统发送握手指令,然后回读,由此判定通讯状态,通讯成功则进行检测或测试。

[0068] 发送22路热电偶信号和22路电阻信号到被试系统的相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,该步骤是堆芯温度测量功能验证的实现。

[0069] 发送8路热电偶信号和2路电阻信号到被试系统的相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,该步骤是压力容器水位测试功能验证的实现。

[0070] 发送1个主回路压力信号、1个安全大气压力信号和3个热管段温度信号到被试系统的相应模块,然后回采数据存储在数据池中,对回采数据进行对比判断,该步骤是堆芯冷却监测功能验证的实现。

[0071] 发送指令到被测系统的相应模块,采集23路模拟量信号和19路开关信号并存储在数据池中,对采集数据进行对比判断,该步骤是堆芯输出检测功能验证的实现。

[0072] 通过上述过程可实现对堆芯温度、压力容器水位、堆芯冷却监测、堆芯输出等功能进行检验,上述所示功能模块均可单独实现功能,互不干扰,也可同时进行。

[0073] 以上所述的具体实施方式,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步详细说明,所应理解的是,以上所述仅为本发明的具体实施方式而已,并不用于限定本发明的保护范围,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

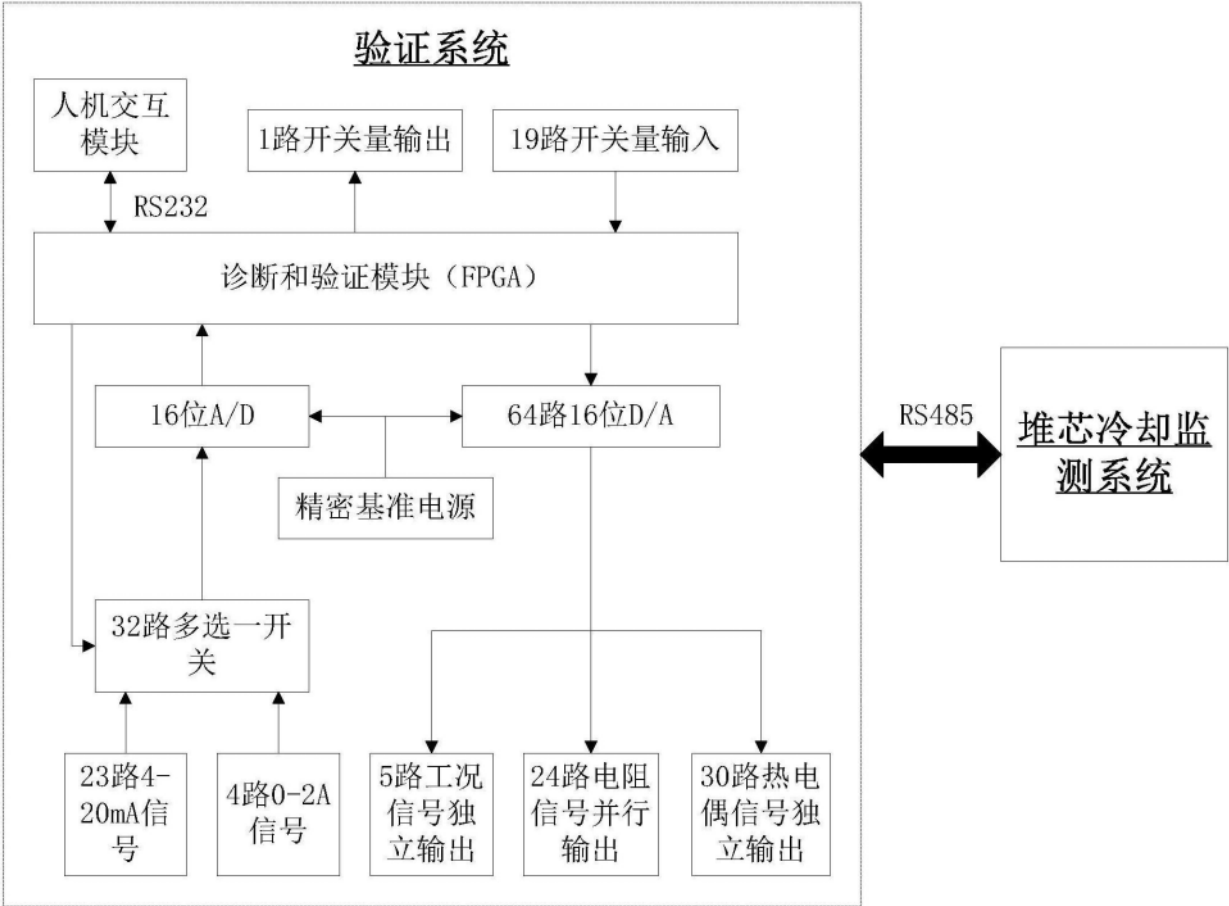


图1

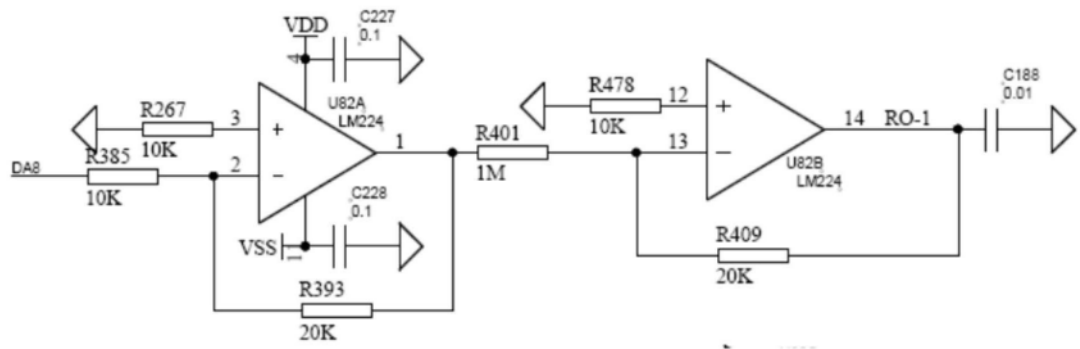


图2

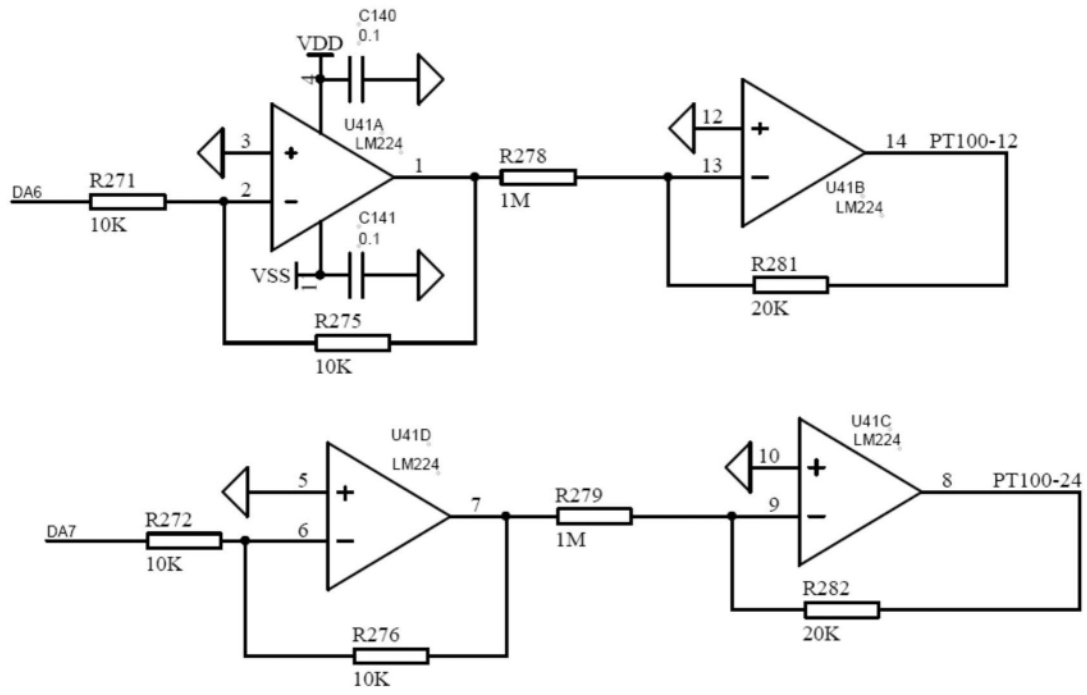


图3

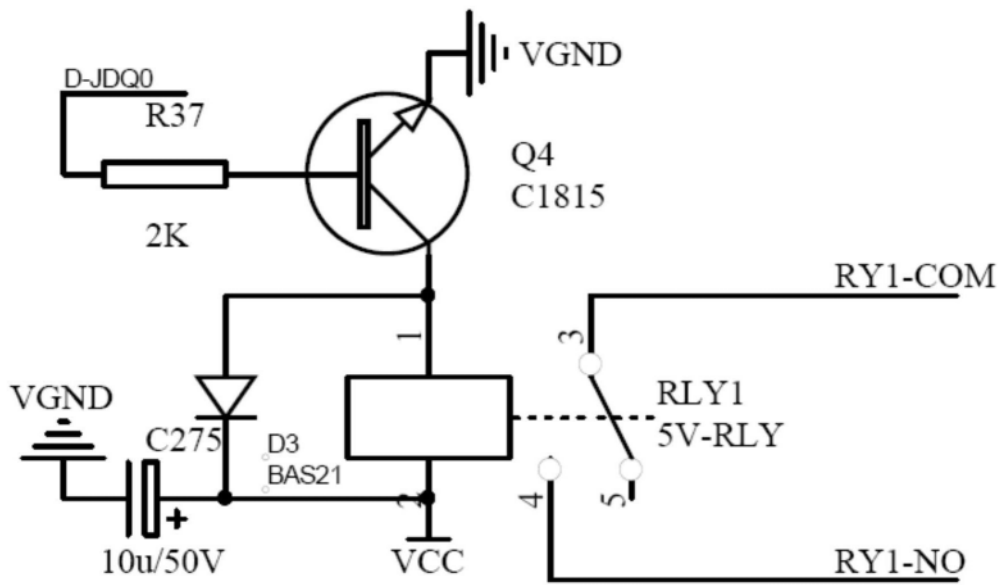


图4

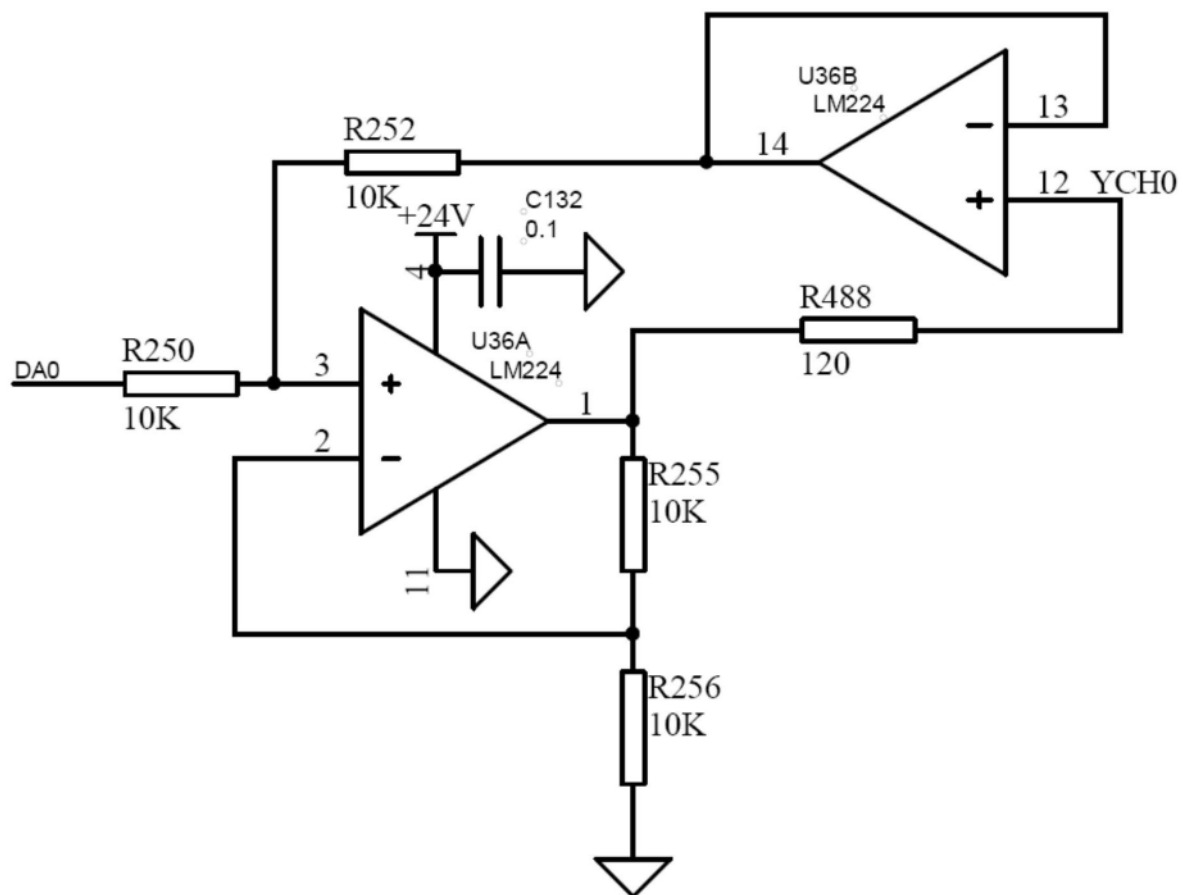


图5

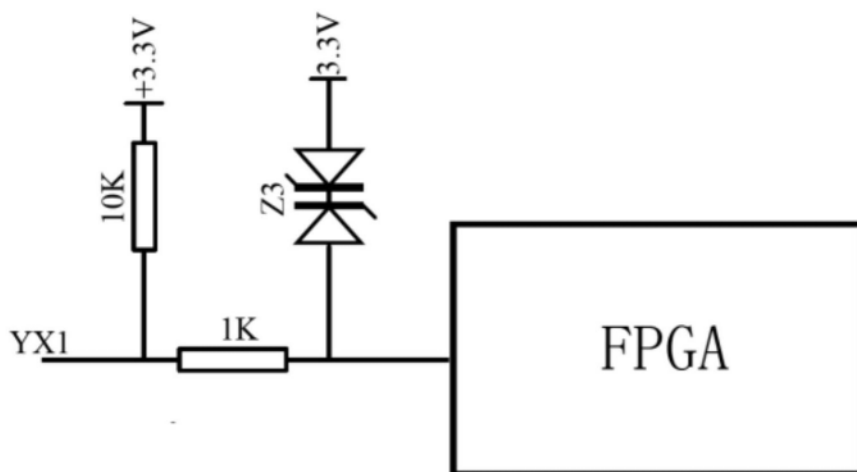


图6

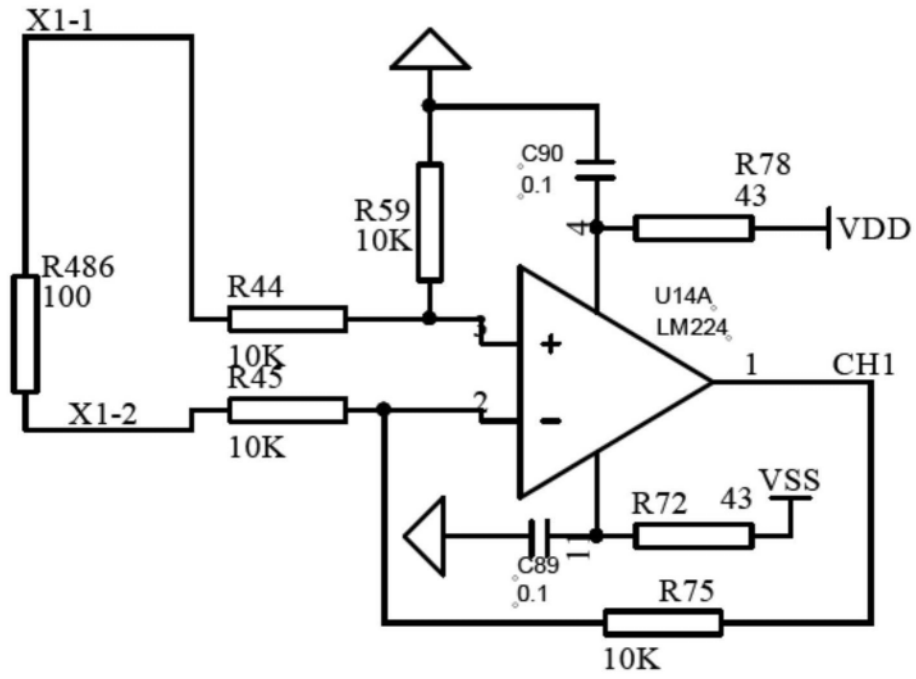


图7

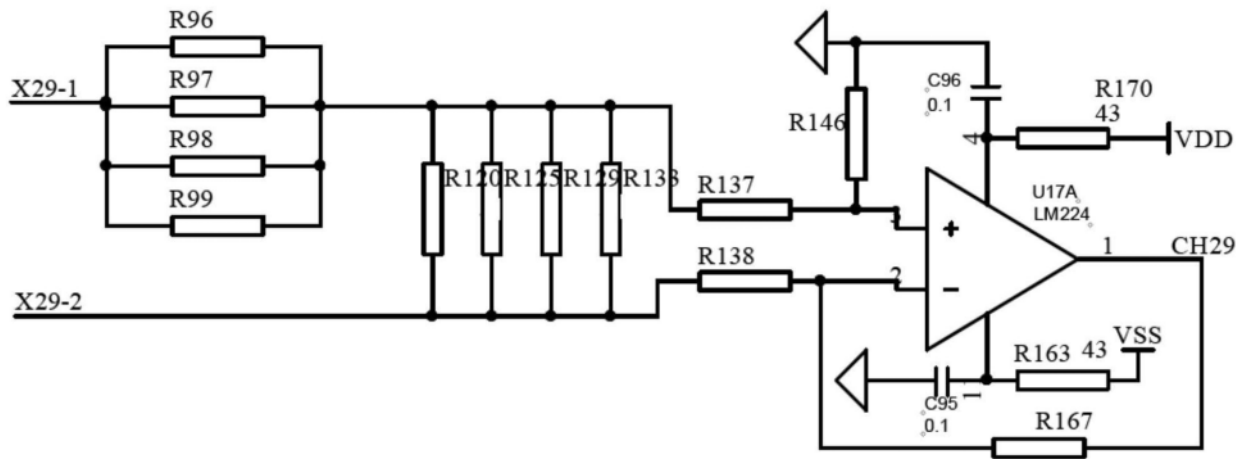


图8

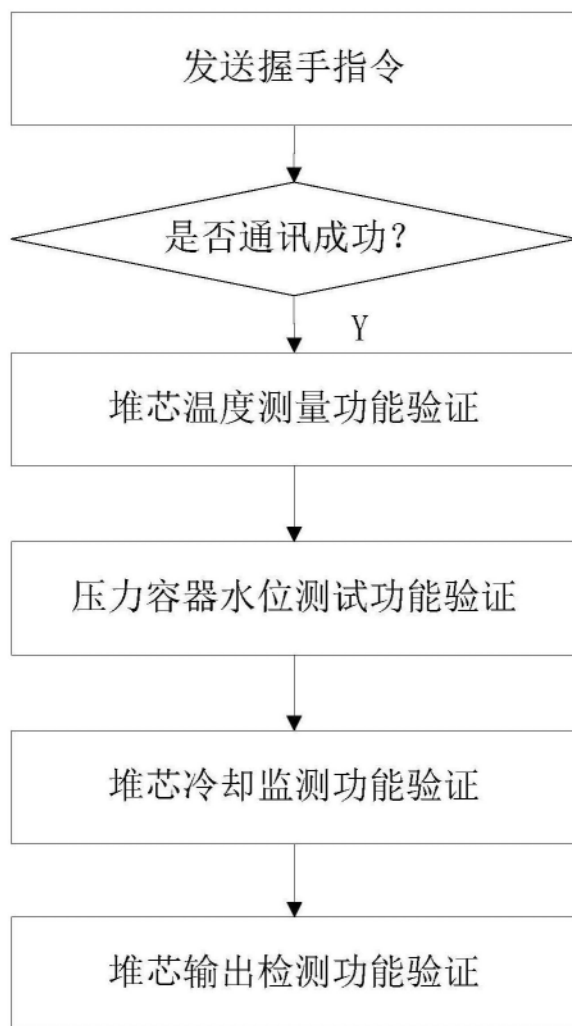


图9