

[监控系统]

基于多传感信息融合的配电站 智能辅助监控预警系统

文/季晨 王祁俊 唐莹莹 沈洋 曹家君 沈昭君
国网上海奉贤供电公司

介绍配电站的重要性和存在的监控和预警需求，采用传感器选择、数据采集与处理、数据融合与分析、预警与报警机制方法，通过多传感信息融合技术实现配电站的智能辅助监控和预警，提高系统的可靠性和安全性，可以提及实时数据监测、异常预警和报警功能的有效性和准确性。

随着应用需求的不断扩大，传感器数据之外的各种信息也开始参与到融合的过程中，使得融合技术逐渐从简单的数据融合发展到更加复杂的信息融合。

信息融合的关键问题涉及模型设计和融合算法。在信息融合模型中，有功能模型、结构模型和数学模型三个方面。功能模型从融合过程出发，详细描述了信息融合所涉及的主要功能和数据库，并且阐述了系统各组成部分之间的相互作用过程。结构模型是对信息融合的组成方面进行说明，其中包括软件和硬件组成、相关数据流以及系统与外部环境的人机界面。通过使用这些，可以实现对多源信息的有效利用和分析，从而提高决策的准确性和效率。

配电站智能辅助监控预警系统硬件设计

1. 无线通信模块电路

在配电站无线通信模块电路设计中，主要包括三个部分：首先是主芯片CC2530与射频放大芯片RFX2401C之间的匹配电路；其次是射频放大芯片RFX2401C与天线之间的电路；最后是射频放大芯片RFX2401C的外围驱动电路。

(1) 外围驱动电路

RFX2401C是一款专为ZigBee和其他2.4

GHz ISM频段射频电路设计开发的单模射频前端集成电路，通过CMOS控制输出逻辑，具有简化电路连接、适用于广泛的供电电压范围以及简单易用的程序驱动等优点。因此，为需要在2.4 GHz ISM频段内工作的射频电路设计提供了高效可靠的解决方案。

RFX2401C是一个具有16个引脚的芯片，外围电路包括供电电路、接地电路和驱动电路。为了确保芯片的正常运行，芯片的供电电路采用与主芯片相同的电压等级，即DC 3.3 V，并且在电源的两端接入滤波电容。在印制电路设计中，应该尽量将这些电容靠近芯片，以确保它们对芯片起到过电压保护、退火和滤波的作用。在接地电路中，芯片的所有NC引脚都与GND引脚一起接地。驱动控制电路方面，RFX2401C的射频驱动引脚TXEN和PXEN分别连接到CC2530的引脚P1_1和P1_4上，并映射到主芯片连接端口所在的控制寄存器上，进行程序配置。

(2) CC2530到RFX2401C匹配电路

芯片CC2530的射频端口RF_P和RF_N是一对差分引脚，而芯片RFX2401C的射频前端接口引脚是单端接口。为了连接两个芯片之间的电路，需要使用一个转换器，将差分信号经过电感和电容并联

组成的兀形匹配网络转换为单端信号，并与芯片RFX2401C的引脚TXRX连接。在设计印制电路板电路时，需要开辟一个独立的区域，将这些元器件按照一字形或者L形进行集中排列摆放，有效减小信号损耗。

RFX2401C是一款集成了RF发射和接收相关匹配网络和谐波滤波器的芯片。它提供了一种简便的方式，即通过传输线将天线直接连接到芯片的ANT引脚，从而实现信号的高质量传递。

2. 声光控模块电路

考虑到声光控模块电路主要应用于照明设备，并与手动控制按键兼容选择设计，因此在模块电路中，声光信号首先被检测器件采集，然后经过单片机STC1SW202S进行处理，转换为高低电平信号，最后输入主控芯片。整个电路的结构框架如图1所示。检测器件包括声音探头和光敏电阻，能够采集环境中的声音和光线信号，并将其转化为电路信号。这些信号经过信号处理电路后，输入到电压比较器中，产生相应的电平信号，然后传递给数据处理芯片进行进一步处理。同时，为了调节灵敏度和显示检测结果，还设置了灵敏度调节电路和指示灯电路。

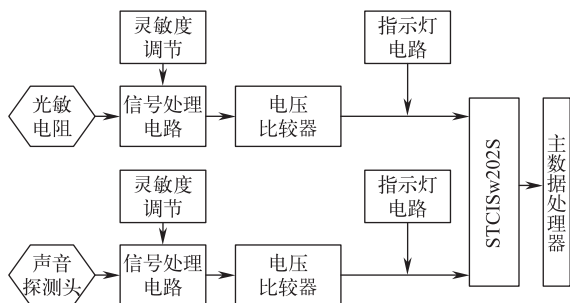


图1 声光控电路结构框架图

光线检测电路是一种用于检测光线强度的电路。当环境中没有光线时，光敏电阻LR1的阻值较高，导致电压经过电阻 R_9 进入电压比较器LM393 U-端，而可调电阻器RV1的电阻值为10 k Ω ，即使将RV1全部接入电路，其LM393输入端U+仍然大于U-，从而输出高电平信号，使得二极管VD₅截止，指示灯熄灭。当环境中有光线时，光敏电阻LR1的阻值接近于零，3.3 V电压通过电阻 R_9 和RV1与地线相连接，此时LM393输入端U+ < U-，从而输出低电平信号，使得二极管VD₅导通，指示灯点亮，表示检

测到光线信号。通过调节可调电阻器RV1，可以调节光线检测的灵敏度。声音检测电路是一种用于检测声音信号的电路。当声音探测头MK1没有接收到声音信号时，与电容C₂₈连接的引脚产生高电平信号，使得三极管Q₁的基极电压较高，集电极电压较低，从而使得LM393输入端U+ > U-，输出高电平信号，使得二极管VD₆截止，指示灯熄灭，表示未检测到声音信号。

单片机STC1SW202S用于处理声光检测信号。为了保护芯片并进行滤波，电容C₂₅和C₂₆加入到芯片的电源电路中。下面是芯片的信号处理流程：首先，芯片上电并初始化端口和定时器；然后，接收端口P3_2和P3_3的信号输入，并进行判断；当检测到两个端口输入都是低电平信号时，表示有声音且无光线；此时，STC1SW202S的端口P5_4输出信号连接到CC2530主控电路，打开照明设备；同时，单片机开始计时并启动定时中断。等待程序中设定的时间到达后关闭延时中断，并通过P5_4输出信号给主控电路，关闭照明设备，如图2所示。需要注意的是，照明设备的工作时长由程序设定，通过这种方式实现了照明设备的声光控制。

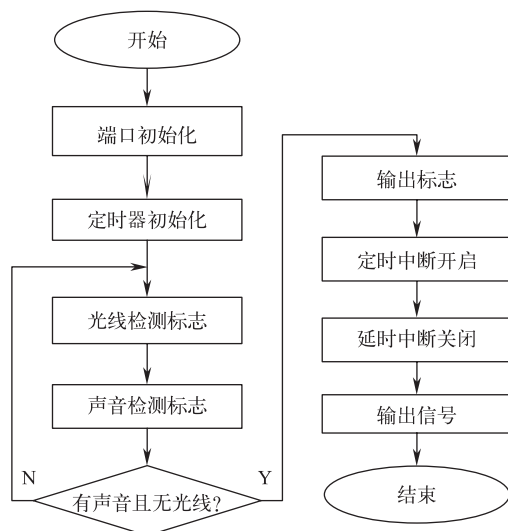


图2 声光信号处理流程图

3. 供电模块电路

为了满足电路集成小型化的需求，并保证电路功能的完善性以及减小信号串扰，开关终端的供电电路和主控电路分别设计在两块电路板上，即供电板和控制板。开关终端使用220 V供电电路，通过2 × 5的插件连接在一起。供电电路主要包含电源转

换电路和继电器控制电路。电源转换电路将220 V输入电压经过开关变压器和整流等处理环节,输出DC 3.3 V供应给开关终端的控制板。继电器控制电路用于处理主控制板的输入信号,控制继电器的吸合和断开,控制开关终端外围电路的连接和断开,实现辅助设备的开启和关闭。

电路中有五个外部电路接口,分别是J1/J2/J3/J4/J5。其中,J1/J2/J3用于辅助设备的控制端口,可以连接最多3个负载,并且兼容不大于3个负载的运行。J4/J5是用于220 V电源输入的端口,电流通过J4进入整流滤波器和变压器T1进行处理,经过整流滤波后得到DC 3.3 V电压。电源管理芯片LNK564与变压器调节反馈电路结合,综合管理变压器的输出。LNK564是一款准谐振控制芯片,通过外接的100 nF旁路电容来存储启动电压。此外,还有继电器控制调节电路,继电器K1/K2/K3由变压器T1的端口2输出的DC 12 V电压供电。在控制环节中,芯片HEF4093BT用作四相双输入与非门,但仅使用其中的两相输入和输出,其余两个输入引脚接地,输出引脚悬空,以确保芯片正常运行。整体供电模块的内部电路接口通过P1与终端控制电路相连,为控制板提供DC 3.3 V电源和继电器控制端口。

当整个开关终端处于关闭状态时,控制单元处于正常的待机状态,并且整个电路的功耗较低。当开关由关闭转为打开状态时,供电电路主要由LNK564管理控制供电单元,此时,继电器等驱动元器件需要较大的工作电流来保持其正常运行,因此整个电路的功耗较高。当开关处于关闭状态时,电流需保证不小于开关终端的最大工作电流。即使在开关终端处于关闭状态,仍然存在待机电流。如果负载(例如节能灯、小型调试设备或小型继电器元件)功率过低,则可能导致供电负载上电不稳定的情况发生。在这种情况下,采用双线制供电方法来避免“闪灯”现象。目前,变电站内照明等开关量设备的机械开关都采用单线制供电方式,并且负载功率满足终端供电电路的单线制稳定供电条件。与双线制供电相比,单线制接线方法更为简单,并且在替换原有机械开关时无须对线路进行改造或增加零线,具有更大的经济优势。单线制取电和双线制取电开关接线方法如图3所示。

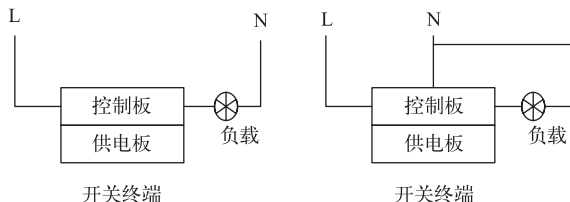


图3 单线制取电(左)和双线制取电(右)开关接线方法

配电站智能辅助监控预警系统设计

1. 传感器选择和布置

1) 根据配电站的特点和需求,选择合适的传感器类型,如温度传感器、湿度传感器和电流传感器等。

2) 合理布置传感器,考虑到关键设备和关键位置,以获取全面的数据信息。

2. 数据融合算法

1) 设计数据融合算法,将来自不同传感器的数据进行整合和分析。

2) 融合算法可采用滤波器技术,例如卡尔曼滤波器或粒子滤波器,以消除数据之间的冲突和噪声。

3) 可采用加权平均或模型融合等方法,将不同传感器的数据进行加权融合,得到更准确的状态估计和预测结果。

3. 融合模型建立

1) 建立融合模型,将不同传感器的数据进行整合。

2) 可以使用统计学方法,如贝叶斯网络或高斯过程回归,建立传感器数据之间的关联模型。

3) 使用机器学习算法,如支持向量机或深度学习神经网络,进行数据融合模型的训练和优化。

4. 数据处理和分析

1) 对融合后的数据进行处理和分析,以发现潜在的问题和预警信号。

2) 可进行实时数据监测,比较融合后的数据与预设阈值,发现超过阈值的异常情况。

3) 观察数据的变化趋势并进行趋势分析,判断是否存在潜在的故障或问题。

5. 预警策略与规则优化

1) 根据融合后的数据分析结果,优化预警策略和规则。

2) 设定预警阈值,并根据数据的可靠性和不确

定性进行动态调整。

3) 考虑多个传感器数据的一致性和相关性, 避免误报或漏报的情况。

6. 多传感器故障检测

1) 设计故障检测算法, 监测传感器的状态和性能。

2) 可采用基于统计学的方法, 如方差分析或残差分析, 检测传感器数据的异常情况。

3) 当检测到传感器故障或失效时, 及时发出警报, 并进行相应的处理和修复。

功能测试

1. 测试平台构建

根据配电站终端电路功能需求分析, 搭建一个终端功能测试平台。这个测试平台主要由三个部分组成。

首先是终端与设备构成的电气线路连接部分。为了替代变电站内的各种辅助设备, 将使用小型调试器件, 并且用指示灯、小风扇和小水泵来代替照明设备、风机设备和排水设备。由于调试器件功率较小, 将采用三线制(即零火线)取电方式, 将调试器件与开关终端连接起来形成取电控制回路。

第二部分是由多个无线通信终端与协调器设备组成的无线网络。

第三部分由协调器与计算机监控平台组成。通过协调器, 底层无线通信网络的数据传输到上层的计算机监控平台上。为了方便测试, 将开关终端的供电板和极控制板组合装入开关盒中。

以三键开关终端为代表, 设计了一个终端功能测试平台的示意图, 如图4所示。

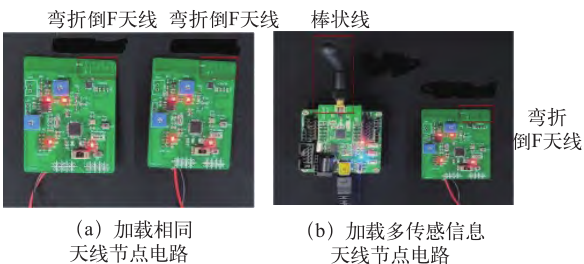


图4 测试平台构成示意图

2. 数据接收与指令执行

终端模块的数据接收与执行功能是指对监控平

台下发的数据指令做出响应。为了测试这一功能, 搭建一个测试平台。在测试过程中, 通过计算机监控平台控制相应的辅助设备, 并通过与计算机连接的网络协调器向指定的终端发送无线信号来下发指令。同时, 利用抓包程序记录终端的数据接收情况, 并观察与该终端连接的调试器件的状态, 以测试计算机监控平台对辅助设备的控制功能。在测试中, 对同一辅助设备进行了连续10次的操作, 每次操作间隔为1 s。终端电路的RX指示灯显示接收到的数据帧, 同时与该终端连接的调试器件的状态。经过测试, 结果表明实现了开关终端的数据接收与指令执行功能。

3. 手动控制与数据上传

开关终端的手动控制功能是一种取代传统控制终端基本功能的新方法。它通过人为手动控制, 在开关控制终端本地实现对开关量辅助设备的开启和关闭。与传统方法不同的是, 这种开关终端内置了无线通信模块, 可以同时将开关状态数据主动上传给无线网络上的协调器设备, 然后显示在计算机监控平台中, 实现对辅助设备状态的监控功能。在测试系统中, 对开关终端模块进行至少10次操作, 并观察了模拟辅助设备的调试器件的开启和关闭状态, 以及计算机端对该设备状态的显示情况。测试结果表明, 随着终端操作的进行, 与终端相连接的调试器件的状态相应改变, 同时计算机的串口接收到了数据。而且上传的数据帧格式和信息都是正确的, 计算机监控平台中的辅助设备状态得到了同步更新, 而且延时不超过1 s。这些测试结果实现了开关终端的手动控制和数据上传功能。

4. 声光控功能测试

本测试平台可用于测试照明设备的终端电路声光控功能。在测试过程中, 将终端放置在黑暗环境中, 并产生大于40 dB的声音。这样一来, 模拟照明设备的调试器件自动开启。接下来改变终端所处的光照和声音环境, 但调试器件的状态保持不变, 即指示灯将一直处于点亮状态。经过15 s后, 调试器件自动关闭。如果将终端放置在光照充足的环境中并制造声音, 发现调试器件的状态仍然不会改变。通过这一系列测试, 成功实现了终端的声光控功能。

5. 检测终端功能测试

在ZigBee网络中，网络协调器负责确保终端设备和开关终端能够连接到同一个网络，并且节点类型相匹配。以检测环境温湿度信息为例，将DHT11传感器连接到检测终端，测试其数据上传功能。将上传的数据与传统的温湿度仪表在同一时间所显示的数据进行对比。经过测试表明，检测终端能够正常驱动传感器模块工作。无论是在终端上还是在计算机监控界面上，都可以正确显示检测到的数据。此外，采集数据的刷新时间可以通过程序进行调节。计算机监控平台可以设置允许的最高温度值，从而与开关终端实现联动。这样，就能够实现检测终端与开关终端之间的联动。

结束语

本文的设计和开发基于多传感信息融合的配电站智能辅助监控预警系统，以提高配电站的安全性和可靠性。通过采用先进的传感器技术和数据处理算法，该系统能够实时监测配电站的关键参数，并准确分析和预测潜在的故障和异常情况。EA

(收稿日期：2023-07-12)

参考文献

[1] 刘禹彤编译. 多传感器系统和信息融合技术应用范围不断扩大[J]. 国际航空, 2023(1): 1.

[2] 李鹏, 周蜜, 苏建华, 等. 基于多传感融合的电力施工信息融合监控系统设计[J]. 电子设计工程, 2022, 30(2): 6.

[3] 何昊生, 闫姝. 多传感器信息融合技术在智能视频监控中的应用研究[J]. 兰州石化职业技术学院学报, 2022, 22(4): 18-21.

[4] 贾聪. 基于灰色系统模型的变配电监控预警系统设计[J]. 集成电路应用, 2020, 37(5): 98-99.

[5] 晋月辉. 机房低压配电监控预警系统方案设计[J]. 上海铁道, 2019(S2): 42-44.

[6] 高方. 高压配电装置的无线监测与预警系统设计及应用[J]. 今日自动化, 2022(11): 39-41.

[7] 董雪, 高远, 敖炳. 基于TDengine的智能电网监控系统数据存储方法研究[J]. 电气应用, 2021, 40(8): 68-74.

(上接第96页)

要性，并详细阐述了该系统的架构、功能和技术特点。系统采用了灵活可扩展性强的模块化设计思路，并进行了负载压力测试、能量管理与调度优化测试和安全与容错测试，提出了相应的优化方案和技术措施。未来，从多维度可视化展示技术、分布式能量管理算法、先进能源存储技术和智能电网系统安全防护技术等方面深入探索和研究，推动智能电网系统在各个领域的广泛应用，实现更加高效、可靠、安全和绿色的智能化能源管理和供应。EA

(收稿日期：2023-06-14)

参考文献

[1] 崔伟, 康伟, 郭成光, 等. 智能电网的非侵入式负荷监测系统设计[J]. 粘接, 2022, 49(6):

182-185, 190.

[2] 孙志超. 智能电网通信管理系统设计关键技术分析[J]. 中国信息化, 2021(11): 58-59.

[3] 杨连营, 刘辉, 吴文兵, 等. 基于数据分析的智能电网监控信号预警系统设计[J]. 电子设计工程, 2021, 29(15): 93-96, 101.

[4] 袁红团. 基于云计算智能电网安全运维管理系统设计与研究[J]. 自动化与仪器仪表, 2021(6): 120-122, 127.

[5] 刘继刚. 面向智能电网的视频监控系统设计与实现[D]. 济南: 山东大学, 2021.

[6] 罗微, 谭锡林, 蔡莹, 等. 面向智能电网的自适应调度管理机制研究[J]. 电气应用, 2021, 40(12): 56-60, 65.