配网分支箱电缆接头故障在线监测系统设计

针对配网分支箱内电缆附件工作时由于接头的压接质量等工艺问题而导致接头温度过高、绝缘老化等问题，为提高电缆线路供电的可靠性，减少故障的发生，设计了配网分支箱电缆接头故障在线监测系统，给出了系统的总体结构以及各个模块的设计与实现方式。下位机采用MSP430F149对配网分支箱内电缆终端信息进行采集、运算与处理，多个配网分支箱内的数据采用GSM无线传输方式汇总到一基于LabVIEW平台开发的上位机实时显示与存储，构成组网式配网分支箱在线监测系统。实验表明，系统可以实现接头温度、环境温度、线路的故障及带电状态信息的远程在线监测与报警。

宗榜旭　张大宁　张显亮　刘　骥/哈尔滨理工大学电介质工程国家重点实验室培育基地

宗榜旭/硕士研究生

关键词/Keywords
配网分支箱·
GSM·
LabVIEW·
在线监测·
报警·

0　引言

随着智能电网的发展，实时获取电气设备的状态信息在电力系统的智能化建设中非常关键，配网分支箱中的分接头作为电力系统重要的设备之一，也是电力系统安全运行中的最薄弱环节，其主要原因是由于制作时受现场环境不利因素的影响以及制作工艺的限制，导致接头的压接质量存在潜在的隐患。而电缆终端接头的压接质量，只能在运行中得以检验，经过一段时间的大电流（过负荷）运行后，在压接点处产生过热、氧化等现象，致使接触电阻逐渐增大，电缆接头温度会进一步地升高，使绝缘老化，寿命骤减，最终导致绝缘层损坏而造成事故发生[1-4]。据统计，电缆接头事故率占电缆事故的90%。为了确保电力电缆附件安全，需准时掌握配网分支箱内接头温度的实时变化，并对电缆终端数据进行分析，采用相应的解决措施，因此，寻求一种系统来实现配网分支箱的在线监测迫在眉睫，而设计合理的配网分支箱监测系统可以为供电的可靠性提供技术保证和科学依据。

起初的配网分支箱监测是通过人工巡检方式完成的，需现场检查电缆接头温度情况，检修中不仅存在检修过剩或检修不足等问题，也耗费大量人力、物力。随着科技的发展，电缆接头无线测温的方式快速发展起来，现有技术分析不具有充分的说服力，没有现有文献研究情况。针对上述监测系统存在的问题，本文在参考大量的资料和剖析目前监测系统的基础上，设计了一种集温度、电流故障信息和带电状态于一体的组网式配网分支箱在线监测系统，监测数据通过GSM无线网络传输方式送至LabVIEW上位机，实现远程监控。系统可实时显示温度曲线、线路电压状态信息、线路故障电流信息、历史故障信息及事故多发线路信息，并能实现上述信息的存储，故系统可对线路故障作出更加全面、确切的判断，减少电缆故障发生率，可以节约大量的维修费用和资源，提高电缆运行的可靠性[5-10]。该系统体积小、布线少、运行稳定且易于维护，使配网分支箱在线系统进一步朝“集成化、网络化和智能化监测”方向发展，即具有自动温度采集、数据共享等特征[11-12]。

1　整体技术方案及要求

此在线监测系统是集成温度的采集、故障电流判断和高压带电的状态信

中国知网 https://www.cnki.net

息于一体的多功能系统。结合10 kV电缆终端接头的结构特点，此系统可以分为三层：MCU数据的采集、GSM数据包传输及LabVIEW上位机显示。在线监测系统整体方案图如图1所示。

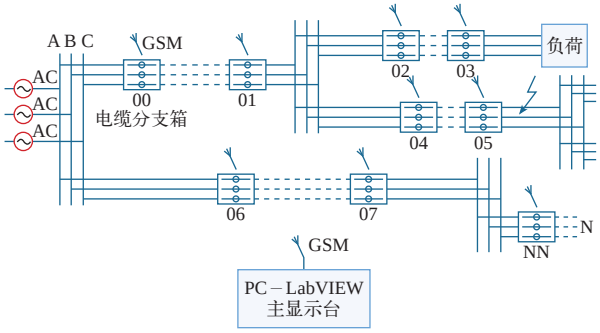

图1 在线监测系统整体方案

数据采集部分设置在配网分支箱内，节点的温度信息、线路故障电流及带电状态等信息用MSP430单片机采集。采集系统分别设置在输电线路多个配网分支箱内，并对每个配网分支箱进行编号处理，便于后续进行故障定位的判断。

首先，当电缆终端接头温度达到上限值或线路出现掉电、过电流等故障时，系统会立即将此刻信息采集出来，通过GSM无线网络传输至主控制台，进行报警。当电缆线路无故障时，信息采集时间主要由温度采集模块设置，当采集温度时间到来，进行电缆接头温度采集，采集的温度数据通过射频无线传输方式送给已经休眠MSP430（此时功耗非常低），产生中断，此时单片机唤醒并执行其他信息采集的子程序，采集完成后，将数据打包并通过GSM无线模块传输给主监测台。主监测台利用LabVIEW软件编写的界面作为上位机，监测台汇集了多个配网分支箱数据，实时显示温度曲线、线路电压电流状态信息及历史故障次数等信息。

系统保证实现上述功能的同时，还应具有的要求：系统中的测量模块与供电模块应保证高压侧与低压侧可靠的电气隔离，尽可能实现在线非侵入式的检测技术，避免烦琐的布线，实现远程在线监控，做到简单化、集成化及实用化。

2 分支箱数据采集层的硬件设计与原理

根据在线监测系统整体要求，采用如图2所示原理结构，多个监测现场单元采集的数据采用GSM无线传输方式送给上位机平台LabVIEW（H）。而在一个子系统内包括了电压传感器（A）、电流传感器（B）、表带式测温传感器（C）、GSM数据发送模块（D）、下位机（监测点主机E）及TA＋超级电容供电系统（G）六部分。

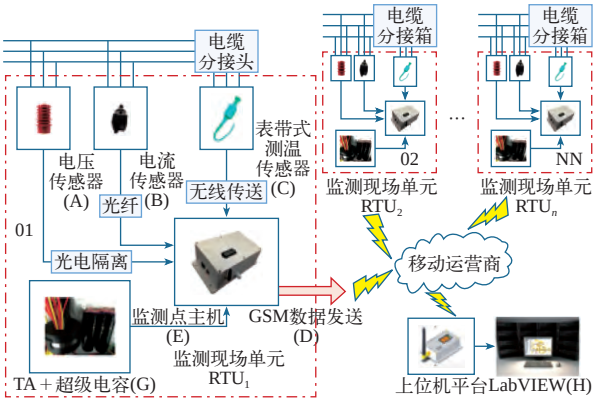

图2 配网分支箱采集层的结构原理图

线路的带电状态采用电压传感器利用电容分压原理的方式进行测量，耦合过来的信号通过光耦隔离器件传输给下位机（监测点主机）；故障电流信息用电流传感器检测，通过光纤传输给下位机；采用表带式温度传感器采集电缆接头温度，温度数据通过射频无线方式传输给下位机；下位机处理后的数据通过GSM发射模块传输给上位机LabVIEW进行处理并实时显示。

2.1 高压带电状态硬件结构和原理

高压带电状态的电路原理图如图3所示，电路的输入端并联接入电缆线路中，设置在电缆线路的电压传感器C_1与电容C_2，将线路的电压进行分压，分压后的电压经过BRIDGE整流桥整流，得到用于触发光电耦合器的电压信号，耦合过来的信号经过阈值比较电路进行比较，最终送入MCU处理，判断当前的线路电压状态。其中，光电耦合器件采用高倍率高速达林顿光电耦合器6N139，隔离电压达3 750 V，保证了MCU与强电隔离；阈值比较电路采用的滞回比较模式，可有效避免电压

中国知网 https://www.cnki.net

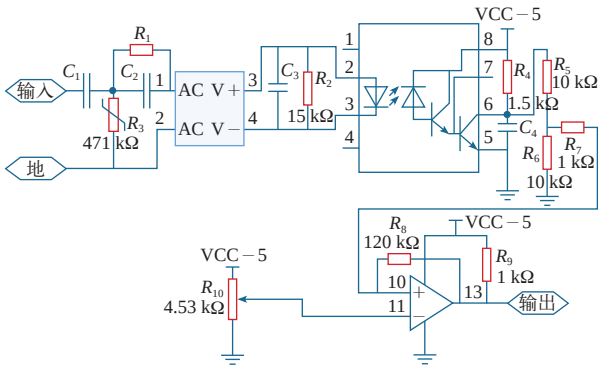

图3　高压带电状态电路原理图

波动带来的误动作。

首先，设线路的电压为U，C_1、C_2上的电压分别是U_1、U_2，根据两个电容串联分压的计算公式的，得

$$U_1=\frac{C_2U}{C_1+C_2} \tag{1}$$

$$U_2=\frac{C_1U}{C_1+C_2} \tag{2}$$

由式（2）可知，图3线路上的电压经C_1、C_2电容分压作用，分到C_2上的电压经过BRIDGE2整流稳压作用，将小信号I_f送给光耦合器，由式（3）可知

$$I_c=\beta I_f \tag{3}$$

式中，I_c为基极电流；β为电流放大倍数。

由式（3）得出的电流I_c乘以R_4，得到电阻R_4上的压降U_3，故LM139A芯片10管脚输入电压U_{in}，由式（4）得

$$U_{in}=\frac{5-U_3}{2} \tag{4}$$

2.2　短路和接地电流故障系统原理与实现

短路电流传感器、接地电流传感器采用LDL系列短路接地电流故障传感器，其信号不受线路、励磁涌流、高次谐波及电流波动影响，直接安装在电力电缆上，由其感应测量线路中的故障电流，当故障电流超过整定值时，传感器发出光信号并通过光纤进行信号传输，实现了强电与弱电的隔离。

当短路传感器检测到电流高于整定时，光信号经光纤传送给如图4所示的A、B和C三路信号调理电路，当光敏二极管接收到信号后，使晶体管工作在线性区，最终信号通过单阈值比较器（LM139A）送给MCU的I/O口，以发故障信号。

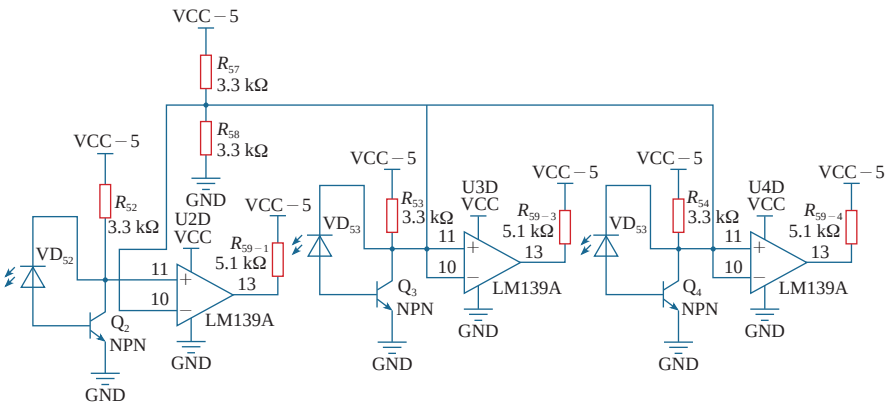

图4　短路电流信号调理电路

接地故障传感器也就是零序电流互感器，当电缆出现单相接地时，三相电流矢量和不为0，传感器检测到故障信号，信号通过光纤传送到如图5所示信号调理电路。

2.3　温度采集子系统的原理与实现

采用WD01L39无线测温传感器，内部集成DS18B20数字式测温传感器，主要特点：体积

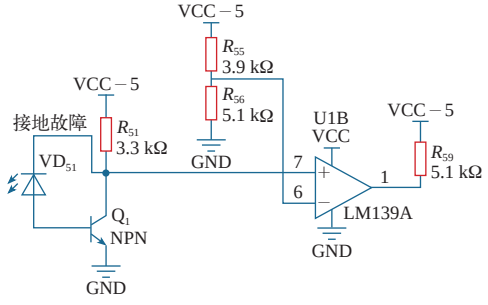

图5　单相短路电流信号调理电路

中国知网　https://www.cnki.net

小、表带式的外形可方便地安装在电缆接头表面，准确度高（分辨率为0.062 5 ℃），定时温度数据采集，低功耗（待机电流2 mA），通信采用射频方式进行数据的传输，具有无线通信自动校准技术[13]，保证数据的稳定性，内部通用数据包如下表所示。

表　通用数据包

包起始	节点号	零上/零下	温度整数位	温度小数位	包结束
0x9d	0x00	0x00(+)	0x20(32 ℃)	0x08(0.8 ℃)	0x7b
0x8c	0xFF	0xFF(−)			

无线测温接收器与MCU采用标准UART协议方式进行通信并通过用于完成TTL电平转换MAX485ESA芯片电路连接，其转换电路如图6所示，图6中A、B两端之间需加120 Ω的匹配电阻R_7。

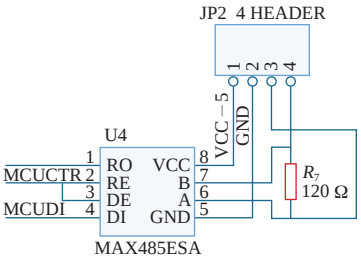

图6　RS 485转换电路

2.4　电源电路设计

系统供电采用开合式TA就地取能的方式，直接套装在电缆线路上，利用电磁感应原理，当线路通过电流时，TA二次侧感应的电动势为

$$U_2 \approx 4.44 f N_2 \mu_0 \mu_r \frac{\sqrt{2} I_m}{l} S\lambda \qquad (5)$$

式中，μ_0为真空磁导率；μ_r为相对磁导率；N_2为一次线圈匝数；I_m为励磁电流；S为铁心的截面积；λ为铁心叠片系数；l为平均磁路长度。

然后经过整流、滤波及稳压后输出直流电。此电源具有体积小、安装方便、不受外界环境因素干扰及电气隔离等优点，其电路如图7所示。

电路中快速响应的瞬态抑制二极管（TVS）及晶体管（IRF540）可有效解决线路出现大电流导致后级电路损坏的问题，超级电容作为备用电池可以解决因线路电流过低而导致TA无法取电的问题，保证了系统无死区电能供给。

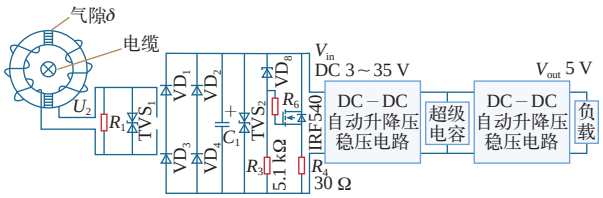

图7　系统电源电路

2.5　主控模块外围电路设计

基于TI公司生产的16 bit的MSP430F149片上系统芯片，是一款超低功耗微处理器，待机模式1.6 μA，具有唤醒时间短（6 μs）、RAM数据掉电保存、双同道串行通信接口、低时钟高速通信以及可进行同步串行通信等优点，适合作为多功能在线监测系统的MCU。其接口电路如图8所示。

3　监测系统的软件设计

系统软件主要包括下位机采集层汇聚节点的软件设计和上位机的软件设计两方面。

3.1　下位机采集层汇聚节点的软件设计

下位机采集层位于配网分支箱内，采集层包括各节点测量传感器，采集的数据经MCU处理后汇聚成一数据包，经GSM网络发送出去。MCU有两种执行程序的方式：①各个节点温度数据定时汇聚到寄存器内，此时MSP430由睡眠状态唤醒，传感器对线路的带电状态、电流等信息进行采集与处理；②如果线路出现故障电流或掉电状态，故障信号经过调理电路会给MCU一个外部中断信号，快速唤醒并执行相应子程序，最后各个参数数据通过GSM网络方式发送给主机。图9为汇聚节点的程序流程图。

3.2　上位机的软件设计

上位机软件采用 LabVIEW作为开发环境，基于NI设计平台的核心，使用的是图形化编辑语言G编写程序，编写方便。上位机程序流程图如图10所示，对底层下位机监测系统采集的数据进行处理并判断温度值和电压电流状态量是否符合相关的电力系统安全规定[14-15]，并给出故障信号。最终

中国知网 https://www.cnki.net

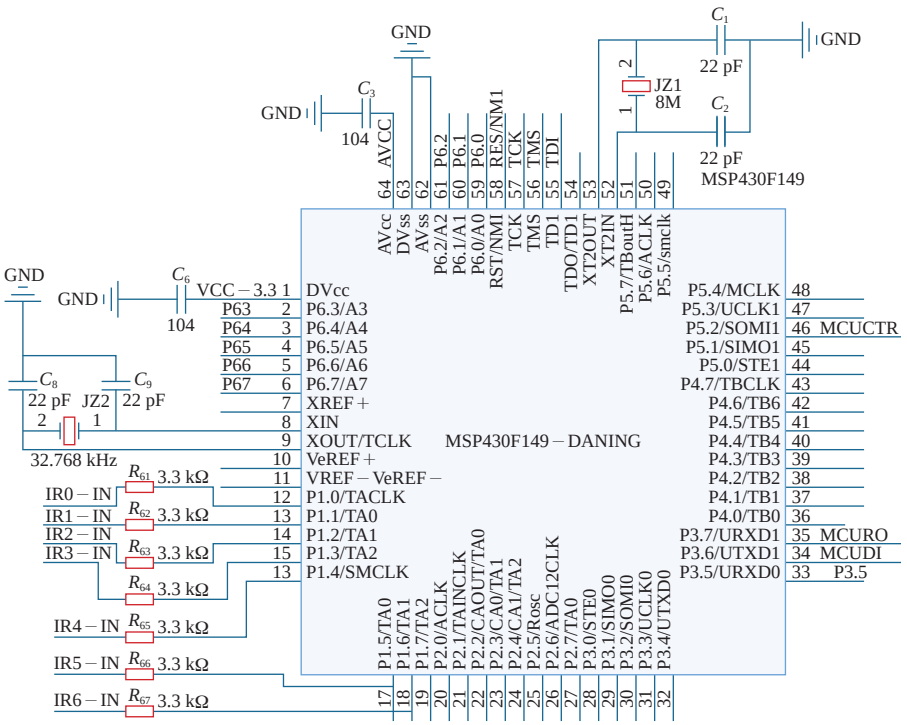

图8　主控模块接口电路

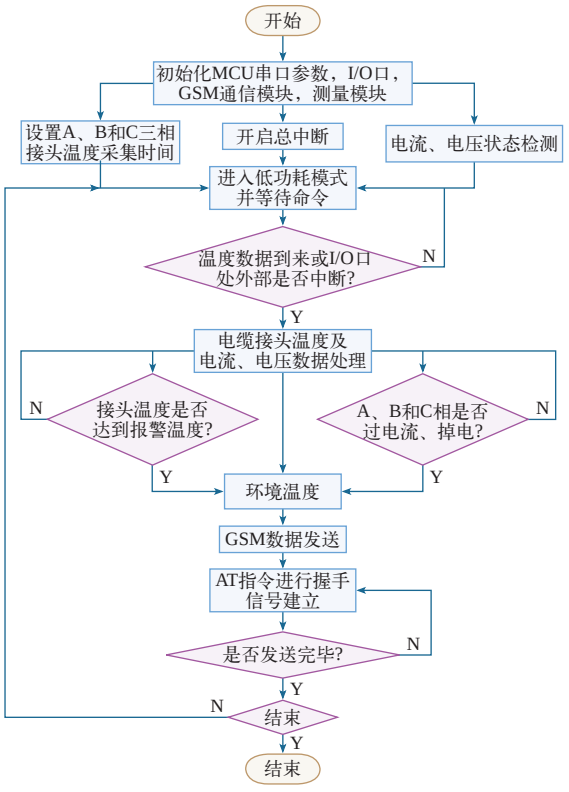

图9　下位机汇聚节点的程序流程图

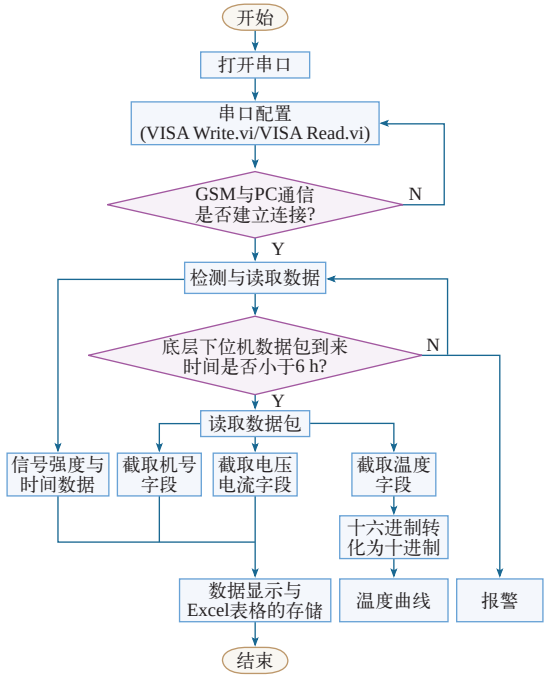

图10　上位机程序流程图

可将数据进行曲线显示，Excel大量数据的存储。

4　主监测台界面设计与系统性能测试

合理的界面设计，可提供最直观的电缆终端信息，介绍了上位机界设计和系统性能测试。

中国知网　https://www.cnki.net

4.1 上位机界面设计

根据实际需要，设计了如图11所示的主界面窗口。图11中的前面板为某城区部分地理位置线路的敷设结构，有15个节点（配网分支箱）。包括节点的信息、历史故障记录、温度曲线及GSM通信模块的信号强度等信息。

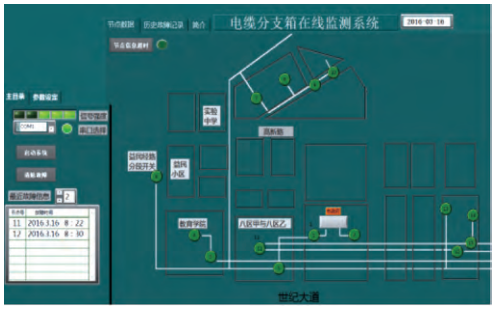

图11 主界面窗口

现场采集的数据传至上位机，图12为节点数据子界面，为节点12#分支箱内A、B及C三相电缆接头的温度曲线、环境温度曲线、三相带电状态及是否存在过电流故障等状态信息；过电流与掉电故障用状态量“1”表示，没有故障用状态“0”表示；实时曲线可直观地观测箱内电缆接头的温度状况以及更好地预测温度变化趋势。

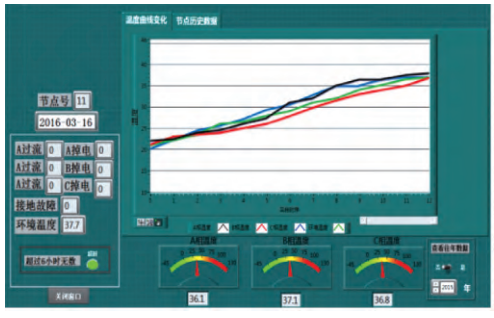

图12 节点数据子界面

当系统超过6 h没有收到实时信息，系统自动报警，以确保监测的实时性。图13为11#分支箱历史数据子界面，根据历史信息的记录，能够有效反映线路事故多发路段并对线路进行故障定位。

4.2 系统性能测试

通过实际运行测试，图12曲线可以反映11#配网分支箱的电缆终端接头温度变化趋势以及线路

图13 节点历史数据子界面

电压电流状态等故障信息。从图13可以看出其历史故障记录信息，可直观地反映此处电缆终端一些故障信息，故在线监测系统可以对电缆终端的电压、电流及温度等参数进行采集，并通过GSM传入站内PC上进行实时显示与存储，线路及接头运行发生异常时可以做到及时报警。

5 结束语

本文配网分支箱电缆接头故障在线监测系统通过对硬件模块与软件程序的设计实现了电缆终端接头温度、线路故障及带电状态信息的远程在线监测与故障报警。

1）电缆接头温度、故障信息的检测，实现了在线非侵入式的检测技术，高压侧的各个传感器节点均与低压侧的MCU实现了可靠的电气隔离，克服了箱内强电场、强电磁辐射的干扰问题。

2）数据采用GSM无线传输方式汇总到一主监测台的LabVIEW上位机实时显示与存储，直观地显示出电缆终端温度曲线，历史数据等信息，通过历史数据的分析，可对电缆电气性能进行预判断，故障定位。

参考文献

[1] 孙晓雅，李永倩，李天，等．基于光纤光栅的开关柜温度在线监测系统设计 [J]．电力系统通信，2012，33 (5)：6-10．

[2] 王超，刘毅刚，刘刚，等．有限元法应用于电缆终端应力锥缺陷分析 [J]．高电压技术，2007，33 (5)：152-154．

[3] 杨黎明，朱智恩，杨荣凯，等．柔性直流电缆

中国知网 https://www.cnki.net

绝缘料及电缆结构设计 [J]. 电力系统自动化，2013，37 (15)：117-124.
[4] 叶远波，孙月琴，黄太贵，等. 继电保护相关二次回路的在线状态检测技术 [J]. 电力系统自动化，2014，38 (23)：108-113.
[5] 季仲致，曹军，姜滨. GPRS技术在木材干燥窑数据传输系统中的应用 [J]. 自动化仪表，2014，35 (3)：42-45.
[6] 陈涛，黄艳玲. 基于GSM网络变压器远程数据终端的设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报，2009 (2)：78-81.
[7] 阳林，郝艳捧，黎卫国，等. 输电线路覆冰与导线温度和气象参数关联分析 [J]. 高电压技术，2010，36 (3)：775-776.
[8] 黄新波，王霄宽，方寿贤，等. 智能变电站断路器状态监测IED设计 [J]. 电力系统自动化，2012，36 (22)：95-99.
[9] 黄炜宏，谢章洪，陈祥伟，等. 基于Zigbee技术的成套式开关设备温度监测系统的设计与应用 [J]. 高压电器，2013，49 (2)：125-130.
[10] 黄新波，赵隆，舒佳，等. 输电线路导线微风振动在线监测技术 [J]. 高电压技术，2012，38 (8)：1863-1865.
[11] 郑争兵，赵峰. 基于GSM的远程心率监控系统设计 [J]. 计算机应用，2012，32 (7)：2082-2084.
[12] 董静薇，李会乐，郭艳雯，等. 基于Zigbee的粮仓温湿度监测系统设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报，2014 (4)：120-124.
[13] 王凯，李智，李名兆. 无线通信自动校准系统设计 [J]. 哈尔滨理工大学学报，2013 (2)：101-104.
[14] 贺伟. 基于分布式光纤的电缆温度监测系统及其数据处理研究 [D]. 长沙：长沙理工大学，2011.
[15] 朱若茜，张礼勇. 无线传感器网络监测环境中的煤矿安全度评价 [J]. 哈尔滨理工大学学报，2013 (3)：32-35.

（收稿日期：2016－04－15）EA

(上接第66页)

挡放电的数值仿真 [J]. 绝缘材料，2015，48 (7)：29-33.
[12] 孙岩洲，崔志永，卫林林. 同轴线管介质阻挡放电的数值模拟 [J]. 河南理工大学学报：自然科版，2012，31 (2)：207-211.
[13] Chua L O. Memristor the-missing circuit element [J]. IEEE Transactions on Circuit Theory，1971，18 (5)：507-519.
[14] 田小波. 忆阻器电路特性与应用研究 [D]. 长沙：国防科学技术大学，2009.
[15] 宋卫平，丁山传，宁爱平. 基于 Simulink的忆阻器模型 [J]. 太原科技大学学报，2014，35 (1)：23-27.
[16] Karel Zaplatilek. Memristor modeling in Matlab [C]. Proceedings of the European Computing Conference，2011：62-67.
[17] Zden ě k Biolek. SPICE model of memristor with nonlinear dopant drift [J]. Radio Engineering，2009，18 (2)：210-214.
[18] Zhang Yu，Zhang Xuliang，Yu Juebang. Approximated SPICE model for memristor [C]. ICCCAS (2009)，IEEE，2009：928-931.
[19] 刘东青，程海峰，朱玄，等. 忆阻器及其阻变机理研究进展 [J]. 物理学报，2014，63 (18).

（收稿日期：2015－10－26）EA

中国知网 https://www.cnki.net