

超高压架空线绝缘子检测机器人的智能控制设计

目前国内大力发展超高压和特高压输电, 在提高远距离输电能力的同时, 为超高压电网的检修和维护带来了很大的困难。超高压架空线绝缘子是超高压输电网中一个重要的绝缘装置, 其绝缘性能的好坏对于保障电网的可靠运行起着重要的作用。目前, 超高压架空线绝缘子绝缘性能的检测一般借助于人工, 不仅危险性高, 而且工作效率低, 所以急需通过自动检测机器人替代人工进行检测。对绝缘子检测机器人的工作原理进行了分析, 在此基础上对采用履带移动式的机器人展开设计, 并采用基于ARM系列的微处理器系统, 实现对绝缘子绝缘性能的智能检测控制。该检测机器人可以在很大程度上提高绝缘子的检测效率, 节约检修成本, 确保电网的安全稳定运行。

张雪峰 罗浩 郑雷 杨哲印 夏奕凤/国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司



张雪峰/工程师

关键词/Keywords

超高压架空线 ·
检查机器人 ·
智能控制 ·

随着我国电网的建设, 为了更好地实现资源配置, 实现远距离、大容量和低损耗的输电能力, 国家电网开始大规模地开展超高压和特高压输电网的建设。其中超高压电网指的是330 kV, 500 kV和750 kV电压等级的电网, 由于电网电压等级特别高, 各方面的危险系数都比较高, 为电网的检测和维修带来了很大的困难和挑战。

超高压架空线绝缘子是超高压电网中一种重要的绝缘控件, 通常由玻璃或陶瓷等绝缘材料制成, 主要作用是用来支持和固定高压输电线与带电导体, 增加导体之间或导体与地面之间的爬电距离和绝缘性能。图1为绝缘子串在电网中的位置图。

因此, 绝缘子应具有足够的电气绝缘强度和耐潮湿性能, 对于超高压架空线绝缘子, 相关的绝缘强度和耐潮湿性能要求更高。

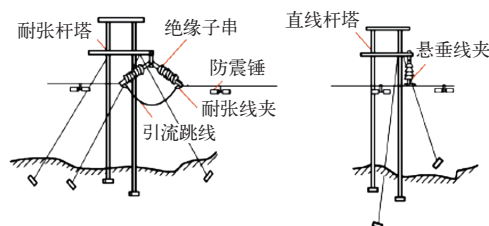


图1 绝缘子在电网中的位置图

由于绝大多数的输电线路的绝缘子长期暴露在野外恶劣的环境中, 不仅承受风吹日晒雨淋等自然条件影响, 同时还一直承受超高压的作用, 因此绝缘子极易发生质量变化, 其绝缘性能容易出现劣化, 因此会存在安全隐患, 给电网的稳定可靠运行带来极大的威胁。

因此, 对超高压架空线绝缘子的绝缘性能的检测是电网维护部门一项必要的工作, 是保障超高压输电线路安全运行的重要保证。电网维护部门必须对输电线路上的绝缘子经常进行检测并及时清扫干净, 恢复原有绝缘水平, 否则绝缘子就不会产生重大的作用, 会损害电网安全^[1]。

绝缘子检测方式

目前, 我国超高压架空线绝缘子的检测方法主要有手工检测和机器人检测两种方法, 以下是两种检测方法的简单介绍和优劣对比:

1) 人工检测是指检修人员在断电情况下爬到供电塔上面对绝缘子的性能进行实地检测。如果需要在带电情况下检修, 检修人员应具备扎实的专业技能, 并且要穿戴笨拙厚重的绝缘服装, 爬到

高空进行带电作业，因此面临着巨大的高空坠落和触电等隐患。由此可见，人工检测的主要缺点是危险性大、工作强度大、工作效率低、可靠性差和存在检查的盲区。

2) 机器人检测是指用机器人代替传统的人工进行检查，通过将机器人放置在高空的绝缘子上，机器人会自动前进，对每一片绝缘子进行相关的数据和影像的采集，以此判断绝缘性能的好坏。具有安全性高、工作效率高等优点，已经得到了初步的应用，为超高压架空线绝缘子的检查工作提供了新的手段^[2]。由此可见，采用机器人进行绝缘子检测，不仅可以避免检修人员的安全隐患，还可以提高检测效率，节约检修成本。

绝缘子检测机器人

1. 绝缘子检测机器人工作原理

超高压架空线绝缘子机器人作为一种检测装置，主要功能就是实现对绝缘子的绝缘性能的检测。为了实现检测功能，机器人必须能够沿超高压架空线绝缘子自动行走，利用机器人自身的智能绝缘子检测系统实现对每一片绝缘片的逐片检测，对每一片绝缘子的电压、电流等参数进行准确的采集。

检测机器人每越过一片绝缘子后，机器人就停止运动，完成对该片绝缘子的数据采集，并将数值传送至上位机进行存储和显示，以便地面上的工作人员对检测的数据进行进一步的分析和处理。然后机器人继续向前运动，开始检测下一片绝缘子，直到检测完毕^[3]。

通常检测绝缘子绝缘效果是通过检测绝缘子的阻值来进行判断的，如果绝缘子的阻值变小绝缘性能可能已经变坏。绝缘子检测机器人通过阻值判断绝缘子绝缘性能的好坏，一般做法是通过在每一片被测的绝缘子两端施加检测电压，然后通过传感器采集绝缘子两端电压和流过的电流值，计算被测的绝缘子的电阻值，以此来判断其绝缘性能的好坏。通过这些，就完全解放了人力，避免了人为因素的影响，在一定程度上提高了检测的准确性，而且检测结果可以进行存储，

以便事后对比、分析。

图2为履带移动式的绝缘子检测机器人工作示意图，其中蓝色为绝缘子，黄色部分为检测机器人的控制部分，黑色部分为检测机器人的机械运动部分，白色部分为绝缘线。



图2 履带移动式绝缘子检测机器人工作示意图

2. 绝缘子检测机器人机械系统

绝缘子检测机器人主要由机械系统和控制系统两大部分组成。本文的绝缘子检测机器人采用履带移动式的机器人机构，其机械结构是由两侧的履带构成的机器人的底盘组成，这样的设计方式可以保障机器人强有力地翻越不平整的路面，尤其适用于绝缘子的凹凸结构。

绝缘子检测机器人的机械系统部分，是指机器人整个外部功能结构，主要由外部框架、行走结构部分和导向结构部分等几部分组成。其中行走结构部分主要由履带和行程传感器两部分组成，行程传感器安装在左右履带轮的外侧，主要用于测量机器人的行程距离。履带轮则是主要的动力行进装置，由电动机进行驱动提供其前进动力，带动机器人向前行进。导向结构部分主要用于检测机器人的前进方向，安装在每个履带轮的内外两侧^[4]。

绝缘子检测机器人智能控制系统设计

1. 系统硬件设计

上述介绍了机器人的机械部分，机械部分相当于机器人的四肢。除了机械部分之外控制系统部分是绝缘子检测机器人的核心控制部分，相当于机器人的大脑，通过大脑的智能控制，实现对每个绝缘片的绝缘性能的自动检测功能。图3为履带

移动式的绝缘子检测机器人智能系统组成示意图。

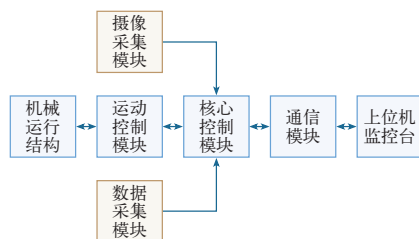


图3 绝缘子机器人智能控制系统组成示意图

绝缘子检测机器人的智能控制系统按功能模块划分，主要有数据采集模块、摄像采集模块、核心控制模块、电动机控制模块、通信模块和远程上位机监控平台6个模块部分^[5]。

1) 数据采集模块。检测机器人需要通过电压和电流传感器来检测绝缘子的电压和电流的采样值，并对数据进行相应的A-D转换处理。

2) 摄像采集模块。为了实现对绝缘子性能的全方位准确检测，不仅需要采集、分析绝缘子的电压、电流等电力数据参数，还需要通过摄像来实时拍摄绝缘子的外部形态，以方便地面的工作人员通过图像对绝缘子的好坏进行全方位的综合性的分析，最后得出准确的分析结果。因此摄像采集模块是绝缘子检测机器人不可缺少的一个重要部分。

3) 核心控制模块。其是整个系统的核心，是检测机器人的大脑，主要作用是对采集到的各种数据进行处理分析，生成相应的命令，将最终的命令发给相应执行部分。智能控制系统最重要的是核心处理器的选型，为了实现优越的性能，本文选自了ARM系列的微处理器作为绝缘子检查机器人的控制系统的核心处理芯片。ARM是一个系列的微处理器的通称，由同名的英国公司生产研发。ARM微处理器可以在较低功耗的情况下实现较高的处理性能，非常适用于工业控制领域。在ARM系列的处理器中，ARM7系列微处理器应用最为广泛，ARM7是一种低功耗的32位RISC处理器，具有很高的性价比。本文使用了ARM7系列的LPC2132型号的微处理器作为检测机器人的核心处理器，该处理器具有丰富的资源，含有2个定时器，9个外部中断，还有丰富的数模转换接口和外部输

入/输出接口，这使其非常适合应用于工业控制领域。另外LPC2132微处理器还具有多个PWM口，具有强大的PWM驱动功能，因此在电动机控制方面有很大的优势，非常适合用于工业机器人的电动机驱动控制。

4) 电动机控制模块。其是控制机器人动作的部分，主要由机械构造和相应的驱动电路组成，主要作用是驱动机器人行进、停止等相应的动作。驱动电路ARM处理模块中的PWM模块搭配全桥电动机驱动电路实现对电动机的控制，全桥电动机驱动电路包括4个Mos开关管和一个电动机。对角Mos同时导通，电动机运转。根据不同Mos管对的导通情况，电流流过电动机的方向不同，从而控制电动机的转向。在电动机的转动过程当中，通过改变单片机输出PWM的占空比，改变电动机两端的电压，从而改变电动机的转速。

5) 通信模块。主要作用是实现机器人和上位机之间的数据传输。通信模块一方面把检测机器人采集到的数据、影像以及机器人自身状况等信息传给上位机，进行显示；另一方面将上位机发送的动作命令传递到核心控制模块，实现上位机的远程实时控制。由于机器人在高空，所以采用CAN通信等有线通信方式不太方便，采用GSM、GPRS等无线通信技术来实现机器人与上位机之间的通信是比较合适的选择。

6) 远程上位机监控平台。一般位于地下的办公室内，主要功能是使工作人员通过上位机能够直观地查看机器人的状态和采集到的数据，并采取相应的操作。实现的作用是将传送过来的绝缘子的数据和影像信息与自身情况相关的位置信息等进行实时显示，并发送动作命令给机器人，另外还可以把重要的数据信息保存，以便之后进行查阅和分析。

2. 控制系统样板和流程设计

为了调试机器人，搭建了基于ARM7的样板，如图4所示。其中左边是核心控制板，主要负责对上方的机器人采集和发送来的数据进行处理和分析。右边的是操作板，相当于上位机，进行数据显示以及命令的发送。



图4 基于ARM7的控制系统调试样板

绝缘子检测机器人要实现绝缘子的绝缘性能的自动检测功能,不仅需要完善的机械结构,还需要优良的软件控制。通过合理的软件流程,控制驱动机器人沿绝缘子自动行走,检测绝缘子两端的电压和电流,拍摄绝缘子的外部形态。图5为履带移动式绝缘子检测机器人智能检测系统工作流程。

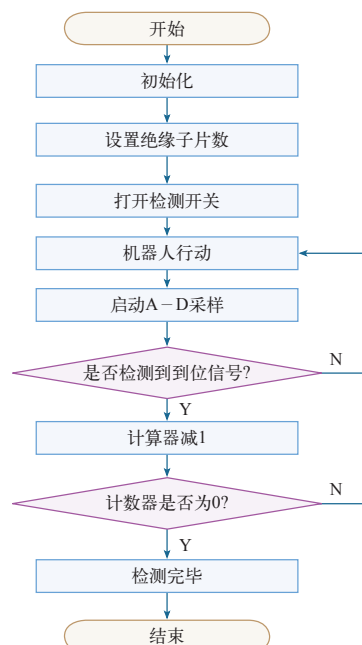


图5 绝缘子检测机器人智能检测系统工作流程

绝缘子检测机器人的主要工作流程可以分为以下6个步骤:

1) 首先,工作人员确认机器人外观没有异常的情况下,在地下打开机器人电源总开关,机器人进行初始化检测。

2) 初始化检测之后,工作人员通过上位机设置被检测的超高压架空线上绝缘子的片数,即设定计数器的数值。

3) 工作人员用绝缘杆将机器人挑起,并放置在绝缘子串上,置于第一个开始位置上。

4) 按动机器人上的检测开关,开始检测,机器人两侧的履带轮同步向前运动,当检测完第1片绝缘子,传感器检测到到位信号后,机器人便会停止运动,即完成1片绝缘片的数据采集,计数器的数值自动减1。

5) 之后,不断重复之前的步骤,当计数器减到0时,则说明绝缘子上所以绝缘片检测完成,即检测结束。

6) 最后,将数据传送到上位机进行显示和存储,并进行相应的处理和分析,从而判断绝缘子绝缘性能的好坏。

结束语

采用机器人代替人工实现超高压架空线绝缘子绝缘性能的智能检测,是未来电网的一个重要的发展趋势。本文在研究绝缘子检测机器人工作原理的基础上,搭建了基于ARM微处理器系统的履带移动式机器人的控制系统,对超高压架空线绝缘子的智能检测展开研究。该机器人可以替代人工,通过检测运行线路绝缘子的绝缘电阻大小,能够准确发现不良绝缘子,具有运动连续性好、检测速度较快等优点,可以提高效率,节约检修成本,确保电网的安全稳定运行。

参考文献

- [1] 张运楚,梁自泽,谭民. 架空电力线路巡线机器人的研究综述 [J]. 机器人, 2004, 26 (5): 467-473.
- [2] 蒋兴良. 劣化绝缘子对悬垂串电场分布特性的影响 [J]. 中国电机工程学报, 2010 (16): 118-124.
- [3] 程养春,刘斌. 超高压直流电路复合绝缘子检测方法的研究 [J]. 电网技术, 2006 (6): 47-52.
- [4] Rique G, DE Tourreil C, Hartings R, et al. Review of in-service diagnostic testing of composite insulators [J]. Electra, 1996, 12 (169): 105-119.
- [5] 王鲁单,王洪光,房立金,等. 一种输电线路巡检机器人控制系统的设计与实现 [J]. Robot, 2007, 29 (1): 7-11.

(收稿日期: 2015-05-13) EA