

大型变电站分布式自动化检修系统设计

高云峰, 李江, 王新宇, 高云霞

(国网铁岭供电公司, 辽宁 铁岭 112000)

摘要: 由于大型变电站中的磁场对人们身体健康产生不利影响, 因此通常采取分布式自动化检修系统对大型变电站进行检修; 但目前大型变电站分布式自动化检修系统主要是通过给变电站中每一个相关设备安装状态检测信号, 利用串口将设备运行状态数据传输到监控系统, 监控系统根据运行状态数据判定变电站中各设备状态, 并根据各设备的状态向串口发送命令, 串口执行相应操作, 从而完成自动化检修系统设计; 但这种方法无法对变电站中需要检修的节点进行定位, 导致变电站设备检修存在效率低的问题; 为此, 提出一种基于 RSSI 的大型变电站分布式自动化检修系统设计方法, 首先对大型变电站分布式自动化检修系统的模块进行设计, 并分析各模块功能, 对大型变电站分布式自动化检修系统各模块电路进行设计, 保证系统正常运行, 在此基础上, 利用 RSSI 算法对系统软件进行设计, 保证系统能够准确及时的对故障节点进行检修, 从而实现大型变电站分布式自动化检修系统设计, 实验证明, 所提方法设计的大型变电站分布式自动化检修系统能够准确对变电站中故障节点进行定位, 保证检修的准确性和及时性, 为该课题的研究开拓新道路, 推动该领域发展。

关键词: 大型变电站; 分布式; 自动化检修系统设计

Design of Distributed Automatic Maintenance System for Large Substation

Gao Yunfeng, Li Jiang, Wang Xinyu, Gao Yunxia

(State Grid Tieling Power Electric Supply Company, Tieling 112000, China)

Abstract: Because the magnetic field existing in the large substation has a negative impact on people's health, it is necessary to send a large-scale substation to the substation magnetic field, which is not conducive to the health of the people. Therefore, the large-scale substation is usually carried out by distributed automatic maintenance system. But the current large-scale substation distributed automatic maintenance system is mainly through the substation in each of the relevant equipment to install the state detection signal, the use of serial port equipment to run the state data transmission to the monitoring system, monitoring system based on operational status data to determine the substation equipment in the state, And according to the status of each device to send commands to the serial port, the serial port to perform the corresponding operation, thus completing the automated maintenance system design, but this method can not need to repair the substation nodes in the substation, resulting in substation equipment problems identified low accuracy. In this paper, a design method of distributed automatic maintenance system for large-scale substation based on RSSI is proposed. Firstly, the module of distributed automatic maintenance system of large substation is designed and analyzed, and the functions of each module are analyzed. In order to realize the system modules, Distributed automatic maintenance system, the circuit is designed to ensure the normal operation of the system. On this basis, the RSSI algorithm is used to design the software of the system to ensure that the system can repair the fault nodes accurately and timely. This paper proves that the distributed automatic maintenance system designed by the method proposed in this paper can accurately locate the fault nodes in the substation and ensure the accuracy and timeliness of the maintenance. For the purpose of this project, the author analyzes the design of the large-scale substation distributed automatic maintenance system. The study pioneered new ways and promoted the development of the field.

Keywords: large substation; distributed; automatic maintenance system design

0 引言

随着电力需求量的增大, 大型变电站的数量越来越多, 成为人们生活中重要的基础设施^[1]。但是在对大型变电站进行检修维护过程中, 如果采用人工方法, 势必要接近变电站, 而变电站中存在磁场, 不利于人们的身体健康, 因此目前大型变电站采用自动化检修方法, 利用分布式自动化检修系统对大型变

电站进行检修维护^[2-3]。根据大型变电站分布式自动化检修系统的功能需求, 要求大型变电站分布式自动化检修系统具有实时性、准确性特点^[4]。目前大多数大型变电站分布式自动化检修系统设计从现有变电站分布式自动化检修系统存在问题出发, 对系统进行设计, 将变电站分布式自动化检修系统分为在线监测模块、设备状态分析诊断模块及自动化检修管理模块 3 个模块, 并对实现系统的相关技术进行分析, 从而完成变电站分布式自动化检修系统设计^[5]。这种方法成为当前解决该课题的重点方法, 引起了专家学者的广泛关注^[6], 随着对国家电网建设重视程度的加深, 该课题逐渐成为当前研究的热点课题,

收稿日期: 2017-06-22; 修回日期: 2017-07-19。

作者简介: 高云峰(1976-), 男, 黑龙江五大连池人, 副高级工程师, 主要从事电力工程方向的研究。

随着研究的深入，产生了许多研究成果^[7]。

文献 [8] 提出了一种基于 WEB 平台的变电站维修管理系统设计方法，通过对变电站自动化维修的需求进行分析探究，介绍了基于 WEB 平台的变电站自动化维修管理系统的设计过程。通过对系统的设计开发工具及实现的技术的介绍与分析，对系统的相关模块进行设计，并介绍相关模块的内容功能，最后对系统的数据库进行设计，从而完成变电站维修管理系统设计。但这种方法没有对系统软件进行相应的设计，导致对变电站的检修效率低下。文献 [9] 提出了一种基于 Virtools 的变电站虚拟检修系统设计方法，首先利用 Solidworks 对变电站进行三维建模，并利用 3ds Max 对模型进行处理，对变电站中设备进行多次协调设置，保证能够准确的对变电站中故障设备进行检修，最后利用 Virtools 进行交互设计，从而完成系统设计，但这种方法的设计变电站虚拟检修系统存在检修耗时长的问題。文献 [10] 提出了一种基于 Agent 的维修保障仿真系统设计与实现方法，首先对维修保障系统的需求进行分析，确定维修保障系统的运行流程，然后对维修保障系统中各 Agent 实体之间的连接关系进行描述，从而完成维修保障仿真系统模型的构建，根据系统的模型，实现维修保障仿真系统。但这种方法设计的系统存在结构复杂，不利于操作及后续维护工作的顺利开展。

针对上述问题，提出了一种基于 RSSI 的大型变电站分布式自动化检修系统设计方法，首先对大型变电站分布式自动化检修系统的模块进行设计，并分析各模块的功能，并对本文设计的大型变电站分布式自动化检修系统各模块实现电路进行分析，在此基础上，通过 RSSI 算法实现系统根的软件设计，提高系统对大型变电站中故障节点定位的准确性，实验证明，本文所提方法能够有效提高系统对大型变电站检修的准确性和及时性，为该领域的发展奠定了基础。

1 大型变电站分布式自动化检修系统总体设计

配电站自动化检修符合以人为本的发展战略，变电站分布式自动化检修系统能够及时准确对配电站中各组成部件的运行状态数据进行采集分析，从而对变电站进行检修维护。

本文设计的大型变电站分布式自动化检修系统是由硬件和软件两部分组成，为保证系统正常运行，利用串口通信技术进行连接，本文设计的大型变电站分布式自动化检修系统结构如图 1 所示。

通过图 1 可以看出，本文将自动化检修系统分为通信模块、状态显示模块、业务模块、以及数据维护模块 4 个模块。

在本文所提大型变电站分布式自动化检修系统中，将通信模块定义为变电站各部件状态数据的接收和发送，首先通过接收变电站个部件的运行状态数据，并对其进行预处理，并将自动化检修系统对变电站的处理命令传回变电站。在状态显示模块，主要是对变电站中各部件的运行状态数据进行监控，保证能够及时准确的发现变电站故障。业务处理模块主要功能是对接收到的变电站运行数据进行分析研究，确定变电站运行状况，根据变电站运行状况，下达变电站操作命令。数据维护模块主要是对大型变电站分布式自动化检修系统中的数据进行维护，主要包括管理人员数据、配电站数据维护、以及自动化检修系统参数维护。

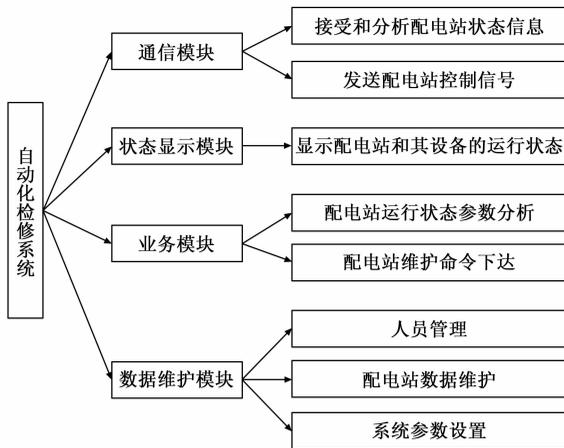


图 1 大型变电站分布式自动化检修系统结构

通过上述各模块的设计，对大型变电站分布式自动化检修系统模块进行设计，保证设计的大型变电站分布式自动化检测系统能够满足功能需求。

2 基于 RSSI 的大型变电站分布式自动化检修系统设计

为了能够使大型变电站分布式自动化检修系统正常运行，本文对系统个模块的电路进行设计，在此基础上，利用 RSSI 定位方法，对变电站中故障进行定位，保证检修的精度。

2.1 大型变电站分布式自动化检修系统模块电路设计

2.1.1 自动化检修系统通信模块电路设计

在大型变电站分布式自动化检修系统中，通信模块设计了两个串口，分别为 UART1 和 UART0。利用 UART1 实现通信模块与配电站的连接，方便运行数据的传输。利用 UART0 实现通信模块与运行数据处理模块的连接，从而实现数据的传输处理。

在大型变电站分布式自动化检修系统中，通信模块占据重要地位，本文选用 MSP430F449 芯片作为大型变电站分布式自动化检修系统的核心控制芯片，保证系统个模块的正常运行。

2.1.2 自动化检修系统 A/D 转换电路设计

在本文中需要利用 A/D 转换电路对大型变电站分布式自动化检修系统传输的信号进行转换，通过将模拟信号量化成数字信号，将配电站各部件运行状态以数字的形式进行体现，由于输入的运行状态信号是实时的，输出的命令信息是离散的，因此，只能对一系列选取时间点上对输入的模拟信号进行取样，并将取样的数值转化为输出信号。常用的 A/D 转换器包括前值滤波、采样/保持电路、量化电路以及编码电路 4 个部分电路。A/D 转换器可以分为逐次逼近型 A/D 转换器、积分型 A/D 转换器等，通过对各种 A/D 转换器性能以及优缺点的分析，本文采用双积分型 ADC 转换器，利用其特点，完成大型变电站分布式自动化检修系统 A/D 转换电路设计。

2.1.3 自动化检修系统模拟电路设计

由于在 A/D 转换器进行转换的过程中，需要将计数器清零。在通过通信系统进行状态数据采集和输出过程中，利用 CD4052 的 2Y 管脚，构建放电回路，然后利用 A/D 转换电

路, 进行信号转换。本文大型变电站分布式自动化检修系统的模拟电路设计如图 2 所示。

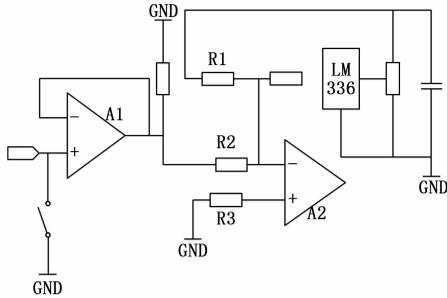


图 2 自动化检修系统的模拟电路设计

通过图 2, 实现大型变电站分布式自动化检修系统的模拟电路设计。

2.1.4 自动化检修系统业务模块电路设计

业务模块主要是对经过 A/D 转换电路的变电站各部件运行信号进行分析, 在对业务模块电路进行分析的过程中, 需要对数据进行计读, 本文利用 10 位二进制计数器对运行数字信号进行解读, 从而进行分析, 确定检修系统的操作。

2.1.5 自动化检修系统数据维护模块电路设计

对大型变电站分布式自动化系统数据维护模块中, 包含的内容数据较多, 考虑到 RSSI 的自身特点, 本文采用动态随机 RAM 方式, 通过 RAM 对自动化检修系统的相关参数进行设置, 并对数据进行存储。RAM 一般包括存储矩阵、地址译码器、读/写控制电路等部分, 通过对指定的自动化检修系统数据进行读/写操作, 包括数据参数的设置与修改, 本文中选用 32×8 的 RAM。

2.1.6 自动化检修系统状态显示模块电路设计

大型变电站分布式自动化检修系统状态显示模块的主要功能是显示变电站中各部件的运行状态, 目前大多数状态显示模块通过数码管显示和液晶显示。其中液晶显示具有发光效率高、使用寿命长、抗干扰性强等优点, 但存在显示亮度低的问题, 本文中, 通过若干个发光二极管共同完成状态显示模块, 每个二极管表示一个变电站中部件, 通过将发光二极管导通, 显示相应的运行状态数据。

本文设计的自动化检修系统状态显示模块电路采用动态显示技术, 将业务模块的运行状态数据利用显示模块电路发送到显示器进行显示。

如图 3 所示, 通过将每个显示管的 7 个端 a、b、c、d、e、f、g 分别连在一起, 每个显示管由 K1、K2、K3、K4 四个选通信号进行控制, 被选通的显示管显示变电站各部件的运行状态, 从而实现自动化检修系统状态显示模块电路设计。

通过上述论述, 对本文设计的大型变电站分布式自动化检修系统各模块的电路进行设计, 保证系统正常运行。

2.2 大型变电站分布式自动化检修系统软件设计

为保证检修的效率, 需要及时对变电站中出现的故障的位置进行定位, 本文选用 RSSI 算法, 保证系统故障定位的准确性, 具体过程如下所述。

首先对变电站中故障节点距离进行估算, 设定 P_{ij} 表示节点 i 所接受节点 j 发送信号的能量, 则 P_{ij} 用公式可以表示成:

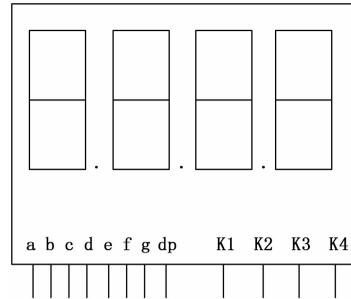


图 3 自动化检修系统状态显示模块电路设计

$$P_{ij} = \Pi_0 - 10n_p \log_{10}(d_{ij}/\Delta_0) \quad (1)$$

式中, d_{ij} 表示节点 i 和节点 j 之间的实际距离; Π_0 表示接收到的距离节点 Δ_0 的参考节点发送的信号强度, 利用空间路径损耗公式进行计算; n_p 表示与环境相关的路径损耗系数。在大型变电站分布式自动化检修系统中, $e(i, j)$ 和 $e(k, l)$ 分别表示对应的两条边, 则存在关系式:

$$P_{kl} = \Pi_0 - 10n_p \log_{10}(d_{kl}/\Delta_0) \quad (2)$$

将上述两个公式进行联立, 当 $\Delta_0 = 1$ 时, 则有:

$$P_{kl} = \frac{\Pi_0 - P_{ij}}{\Pi_0 - P_{kl}} = \frac{\log_{10} d_{ij}}{\log_{10} d_{kl}} \quad (3)$$

因此, 得到 $e(i, j)$ 和 $e(k, l)$ 之间的距离可以表示为:

$$d_{ij} = d_{kl} \frac{P_{ij} - \Pi_0}{P_{kl} - \Pi_0} \quad (4)$$

式中, 由于 d_{ij} 和 d_{kl} 可以通过测量得到, Π_0 是已知的, 从而计算得到每段距离与距离之间的关系。

在不考虑任何影响因素的条件下, 两点之间的距离与所接收到的信号强度成反比, 因此信号强度越小, 两节点之间的距离就越长。通过对整个变电站中所有 RSSI 值进行收集, 并将收集的 RSSI 值汇集成集合, 并从集合中寻早最小的 RSSI 值:

$$c_{\min} = P_{\min} = \min_{e(i, j) \in E} c(i, j) \quad (5)$$

式中, 由于 P_{\min} 对应的两节点间的距离最长, 因此可以记为 d_{\max} 。利用公式 (4) 得到任意一边 $e(i, j)$ 对应的两点之间距离 d_{ij} 可以表示为:

$$d_{ij} = d_{\max} \frac{P_{ij} - \Pi_0}{P_{\min} - \Pi_0} \quad (6)$$

d_{\max} 表示节点之间距离的最大值, 当节点之间的距离继续增大时, 两节点间无法实现信号接收, 便不能通信, 因此 d_{\max} 也接近于节点的通信半径 R , 本文中, 近似的看成 $d_{\max} = R$, 利用公式 (6) 则可以估算出 $e(i, j)$ 的距离:

$$d_{ijEST} = R \frac{P_{ij} - \Pi_0}{P_{\min} - \Pi_0} \quad (7)$$

利用上式, 便可以近似地估算出变电站所有节点间的距离, 但这种方法还存在一定的误差。通过利用这些估计距离作为约束条件, 将定位问题转化为二次约束问题, 利用规划的方法对其进行求解, 提高对变电站中故障节点定位的准确性, 从而完成大型变电站分布式自动化检修系统软件设计。

3 实验及结果分析

为证明本文提出的基于 RSSI 的大型变电站分布式自动化检修系统设计方法的可行性, 进行一次实验。在网络环境下搭

建变电站检修实验平台。通过观察本文所提方法设计的大型变电站分布式自动化检修系统的整体有效性，从而完成实验。

3.1 实验步骤

本文中，利用专业的设备将变电站分布俄式自动化检修系统与实验所用变电站进行连接，通过分析试验结果，从而完成大型变电站分布式自动化检修系统设计实验。具体实验步骤如下：

1) 首先对比不同方法设计的自动化检修系统对变电站中不同设备检修耗时 (min)，为保证实验的准确性，对变电站中每一设备检修进行了 50 次实验，计算耗时平均值作为该方法设备检修耗时；

2) 对比 3 种方法设计的分布式自动化检修系统对大型变电站进行检修结果。

3.2 实验结果分析

变电站中不同设备检修耗时 (s) 对比，对比结果如表 1 所示。

表 1 变电站中不同设备检修耗时对比

设备编号	本文方法 /min	文献[10]方法/min	文献[9]方法/min	文献[8]方法/min
1	2.7	3.1	3.5	3.9
2	4.9	5.7	6.3	7.0
3	8.7	10.2	9.6	11.1
4	8.1	9.3	9.5	10.1
5	7.2	8.9	8.5	9.4
6	13.9	15.6	17.8	19.2
7	45.2	52.8	51.6	55.6
8	7.3	9.7	11.3	13.7

通过表 1 可知，本文所提方法设计的分布式自动化检修系统检修耗时较短，由于本文采用了 RSSI 技术，可以准确快速的对变电站中故障设备进行定位，从而提高了检修的效率。

然后对比 3 种方法设计的分布式自动化检修系统对大型变电站进行检修结果，对比结果如图 4 所示。

通过图 4 可以看出，本文方法设计的分布式自动化检修系统进行检修后，电流的信噪比波动较小，因此本文方法检修后变电站电流稳定，说明本文方法设计的系统检修结果较好。综上所述，本文所提方法设计的分布式自动化检修系统检修速度快，效果好，具有良好的使用价值。

4 结束语

随着国家电网建设事业的发展，由于变电站在电网建设中发挥着重要作用，对其的重视程度正不断加深，由于变电站中存在对人体危害性较强的电磁场，人工对变电站进行检修会给检修人员的身体带来不利影响，变电站分布式自动化检修系统应运而生。针对当前检修系统存在的检修效率低的问题，提出一种基于 RSSI 的大型变电站分布式自动化检修系统设计方法，通过实验证明，所提方法设计的自动化检修系统检修效率较高，但还存在着运行能耗大的问题，需要后续研究此课题的专家学者解决。

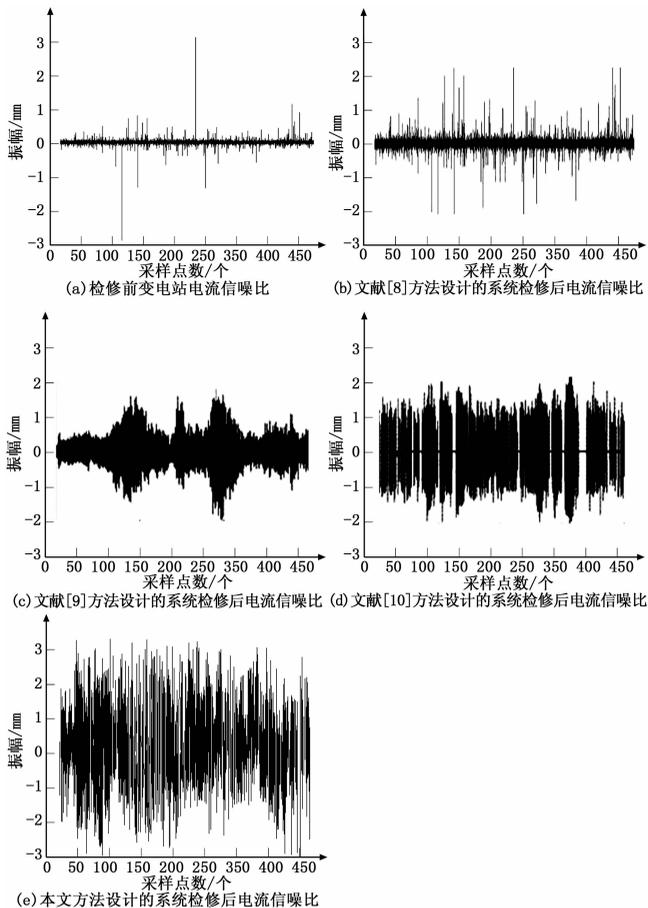


图 4 3 种方法设计的系统检修效果

参考文献：

- [1] 张宏钊, 黄荣辉, 姚森敬, 等. 对嵌入式系统的电力设备紫外监测系统设计的分析 [J]. 电子设计工程, 2016, 24 (11): 112-114.
- [2] 谭营军, 王爱强, 李翠霞. 基于多传感器动态信号采集水温检测系统设计 [J]. 计算机仿真, 2015, 32 (6): 233-236.
- [3] 张 辉, 李建军, 王佳熙, 等. 电机设备运行参数远程监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2015, 23 (10): 3395-3397.
- [4] 吴明会, 张宇波. 棉花异性纤维在线检测系统研究与实现 [J]. 科学技术与工程, 2016, 16 (20): 212-217.
- [5] 赵益波, 阮玮琪, 蒋 祎, 等. 基于锁定放大原理的微弱信号检测系统设计 [J]. 科技通报, 2016, 32 (10): 175-179.
- [6] 沈 灏, 俞效焱, 王 勇. 制造企业设备维修管理信息系统的设计与开发 [J]. 机械设计与制造, 2015 (4): 253-254.
- [7] 郭丽娟, 陶松梅, 张 炜. 兼顾供电可靠性和 LCC 的变电站主设备检修策略优化方法 [J]. 电力系统自动化, 2016, 40 (15): 99-105.
- [8] 高 强. WEB 的煤矿设备维修管理系统设计 [J]. 煤炭技术, 2015, 34 (4): 258-260.
- [9] 王 豪, 程远楚, 刘子韬, 等. 基于 Virttools 的水轮机虚拟检修系统 [J]. 水电能源科学, 2015, 33 (11): 155-158.
- [10] 邢 彪, 曹军海, 宋太亮, 等. 基于 Agent 的维修保障仿真系统设计与实现 [J]. 系统仿真学报, 2017, 29 (1): 129-135.