数字化变电站继电保护系统设计

张迪 王海民

国网中卫供电公司 宁夏 中卫 755000

摘要：随着电力系统的快速发展，数字化变电站继电保护系统设计成为关键议题。本研究致力于设计一种基于IEC61850标准的数字化变电站继电保护系统，通过智能化一次设备与网络化二次设备的集成，实现高效数据采集与信息共享。设计重点包括硬件模块优化、软件算法实现及人机交互界面开发，旨在提高保护动作的快速性、选择性和可靠性，确保电网安全稳定运行，为电力系统智能化发展贡献力量。

关键词：数字化变电站；继电保护；系统设计

引言：随着科技的飞速发展，数字化变电站作为电力系统现代化的标志，其重要性日益凸显。继电保护作为变电站安全稳定运行的基石，其设计水平的提升对电力系统的整体性能有着决定性影响。本研究聚焦于数字化变电站继电保护系统的设计，旨在通过融合先进的信息技术和智能化理念，优化保护策略，提升故障响应速度及准确性，为构建安全、高效、智能的电力系统奠定坚实基础。

1 数字化变电站概述

1.1 数字化变电站的定义与特点

1.1.1 数字化变电站的基本概念

数字化变电站是利用现代信息技术、物联网技术和大数据分析技术对传统变电站进行升级改造的新型电力设施。它建立在IEC61850通信规范基础上，通过智能化一次设备（如电子式互感器、智能化开关等）和网络化二次设备的分层构建，实现了变电站内智能电气设备间的信息共享和互操作。

1.1.2 与传统变电站的区别和优势

数字化变电站与传统变电站相比，在多个方面展现出显著的优势。首先，在硬件构成上，数字化变电站采用了电子式互感器和智能化开关等设备，减少了二次电缆的敷设，提高了系统的可靠性和灵活性。其次，在数据传输和处理上，数字化变电站利用高速网络通信和大数据技术，实现了对电网运行状态的实时监测和分析，提高了电网的安全性和经济性。此外，数字化变电站还具备更强的自适应能力和容错能力，能够减少运行故障和事故发生的概率。

1.2 数字化变电站的构成

(1) 主要硬件组成部分。数字化变电站的主要硬件组成部分包括合并单元、交换机、智能终端等。合并单元负责将来自电子式互感器的数字信号进行同步合并处

理，为二次设备提供准确的数据。交换机则用于构建高速网络通信网络，实现设备间的信息共享和互操作。智能终端则负责执行控制命令，实现开关设备的智能化操作。(2) 系统结构。数字化变电站的系统结构通常分为站控层、间隔层和过程层。站控层主要负责变电站的监控和管理，包括数据采集、处理、存储和显示等功能。间隔层则位于站控层和过程层之间，负责实现设备间的通信和数据处理。过程层则主要由智能化一次设备组成，负责采集电网运行状态的数据并执行控制命令^[1]。

2 数字化变电站继电保护系统的基本原理

2.1 继电保护的作用与任务

(1) 继电保护在电力系统中的作用。继电保护是电力系统安全稳定运行的重要保障。在电力系统中，由于各种原因可能导致设备故障或异常运行状态，如短路、过载等。这些故障或异常状态如果不及时处理，可能会引发更严重的事故，甚至导致整个电力系统的崩溃。因此，继电保护装置的作用就是在设备发生故障或异常时，迅速、准确地切除故障元件，防止故障扩大，保护电力系统中的其他设备免受损害。(2) 继电保护装置的基本任务。继电保护装置的基本任务包括两个方面：一是自动、迅速、有选择性地切除故障元件，使故障设备免于继续遭受损害，并防止故障扩大；二是在设备出现异常运行状态时，及时发出信号，以便运行人员采取措施进行处理。此外，继电保护装置还应具备可靠性和灵敏性，确保在需要时能够准确动作，同时在正常运行时不应误动作。

2.2 数字化变电站继电保护系统的工作原理

(1) 数据采集与处理。数字化变电站继电保护系统通过电子式互感器采集电网运行状态的数据，如电压、电流等模拟量，并通过合并单元将这些模拟量转换为数字量。然后，这些数据被传输到继电保护装置中进行处

理。处理过程包括对数据的滤波、变换、计算等,以提取故障特征信息。(2)故障判断与切除机制。在数据处理的基础上,数字化变电站继电保护系统利用预设的算法和判据对故障进行判断。如果判断为故障状态,则立即启动切除机制,通过控制智能终端等设备切除故障元件。切除机制的设计需要确保动作的迅速性和选择性,以最大程度地减少故障对电力系统的影响。同时,数字化变电站继电保护系统还应具备自适应能力,能够根据电网运行状态的变化自动调整保护参数和策略。

3 数字化变电站继电保护系统的硬件设计

3.1 系统硬件模块介绍

3.1.1 处理器模块

处理器模块是继电保护系统的核心,负责处理和分析来自数据采集模块的数据,以及执行保护算法。在数字化变电站中,常选用高性能的数字信号处理器(DSP)作为处理器模块的核心。DSP具有强大的计算能力和高速的数据处理能力,能够实时处理大量的电网数据,并实现复杂的保护算法^[2]。此外,DSP还具有低功耗、高可靠性等优点,非常适合于应用在电力系统中。在选择DSP处理器时,需要考虑其处理能力、功耗、封装形式、成本以及软件支持等多个因素。例如,某些DSP处理器可能具有更高的处理速度,但功耗也可能相应增加。因此,在选择时需要权衡这些因素,以满足系统的性能需求。

3.1.2 数据采集模块

数据采集模块负责采集电网中的电压和电流等模拟信号,并将其转换为数字信号以供处理器模块处理。该模块通常包括电压和电流采集电路,这些电路能够精确地测量电网中的电压和电流值,并将其转换为适合数字处理的格式。在设计数据采集电路时,需要考虑电路的精度、线性度、抗干扰能力等关键因素。例如,为了提高采集精度,可以采用高精度的电阻、电容等元件,并采用差分输入方式来减少共模干扰。此外,为了保护电路免受高压、大电流等异常情况的损坏,还需要在电路中加入必要的保护元件。

3.1.3 其他关键模块

除了处理器模块和数据采集模块外,数字化变电站继电保护系统还包括电源模块、串口通信模块、存储器模块、开关量输入输出模块以及人机对话模块等。电源模块负责为整个系统提供稳定的电源供应,确保系统在各种工况下都能正常工作。串口通信模块用于实现与上位机或其他设备的通信,以传输数据或接收控制命令。存储器模块用于存储保护参数、故障记录等信息,以便后续分析和处理。开关量输入输出模块用于实现与外部

设备的连接和控制,如跳闸、合闸等操作。人机对话模块则提供了友好的用户界面,方便运行人员进行参数设置、故障查询等操作。

3.2 硬件结构优化设计

3.2.1 硬件模块的连接与通信

硬件模块之间的连接和通信是系统正常工作的基础。在设计时,需要采用可靠的连接方式,如插接式连接器、印制电路板等,以确保模块之间的稳定连接。同时,还需要采用适当的通信协议和接口标准,以实现模块之间的有效通信。例如,可以采用RS-485、CAN总线等通信协议来实现模块之间的数据传输。为了提高通信的可靠性和实时性,可以采用冗余配置和容错技术。例如,在通信链路上设置冗余通道,当主通道出现故障时,可以自动切换到备用通道继续传输数据^[3]。此外,还可以采用校验码、重传机制等技术来确保数据的正确传输。

3.2.2 硬件可靠性设计与冗余配置

硬件可靠性是数字化变电站继电保护系统的重要性能指标之一。为了提高系统的可靠性,需要采用多种可靠性设计技术。例如,可以采用降额设计来减少元件的应力,提高元件的寿命;采用热设计来降低系统的温度,提高系统的稳定性;采用电磁兼容设计来减少电磁干扰对系统的影响等。此外,还可以采用冗余配置来提高系统的可靠性。冗余配置是指在系统中设置多个相同功能的模块或部件,当其中一个模块或部件出现故障时,可以由其他模块或部件继续承担其功能。例如,在数据采集模块中设置冗余通道,当主通道出现故障时,可以由备用通道继续采集数据。在处理器模块中设置冗余处理器,当主处理器出现故障时,可以由备用处理器继续执行保护算法等。通过冗余配置,可以大大提高系统的可靠性和容错能力。

4 数字化变电站继电保护系统的软件设计

4.1 软件系统总体架构

4.1.1 主程序流程图设计

主程序流程图是软件设计的核心,它定义了系统的运行逻辑和流程。在数字化变电站继电保护系统中,主程序通常包括初始化、数据采集、数据处理、故障判断、保护动作执行以及通信等模块。初始化模块负责配置系统参数、初始化硬件接口和软件变量等。数据采集模块通过数据采集模块获取电力系统的实时数据。数据处理模块对采集到的数据进行滤波、转换和计算,提取故障特征。故障判断模块根据预设的算法和判据,对处理后的数据进行故障识别。一旦识别到故障,保护动作执行模块将立即启动相应的保护策略,如跳闸、隔离

等。通信模块则负责与其他设备或上位机进行数据传输和指令接收。

4.1.2 数据处理与算法实现

数据处理与算法实现是软件设计的关键部分。在数字化变电站继电保护系统中，常用的数据处理方法包括数字滤波、傅里叶变换、小波分析等，这些方法能够提取出电力系统中的故障特征信息。算法实现方面，需要根据具体的保护原理和保护对象，设计相应的保护算法。例如，过电流保护算法需要实时监测电流值，并与预设的阈值进行比较；差动保护算法则需要计算两侧电流的差值，并根据差值的大小判断是否发生故障。算法的设计需要充分考虑电力系统的特性和故障特征，以确保保护的准确性和可靠性^[4]。

4.2 软件可靠性设计

4.2.1 抗干扰措施与错误处理

抗干扰措施主要包括硬件层面的滤波、屏蔽和接地等，以及软件层面的数字滤波、异常处理等。在软件设计中，可以采用看门狗定时器、软件陷阱等技术来捕获和处理异常事件，防止系统崩溃或进入不可预知的状态。错误处理方面，需要设计完善的错误处理机制，对可能发生的错误进行分类和处理。例如，对于数据采集错误，可以采用数据校验、重传等措施；对于算法计算错误，可以采用冗余计算、结果验证等方法。

4.2.2 自检程序与故障报警功能

自检程序是软件可靠性设计的重要组成部分。通过定期或不定期地执行自检程序，可以检测系统各模块的运行状态，及时发现并处理潜在的故障。自检程序的设计需要覆盖系统的所有关键模块和接口，确保无遗漏。故障报警功能则是在检测到故障时，及时向运行人员发出报警信号，以便采取相应措施进行处理。故障报警信息应包含故障类型、故障位置、故障时间等关键信息，以便运行人员快速定位和处理故障。

4.3 人机交互界面设计

4.3.1 人机对话模块的功能与实现

人机对话模块是数字化变电站继电保护系统的核心组件，负责指令接收与状态信息显示。其功能涵盖参数

设置、故障查询及历史记录查看。参数设置允许运行人员调整保护定值、采样频率等，故障查询提供系统故障与报警记录，历史记录则助力趋势分析与故障诊断。在实现层面，人机对话模块采用图形用户界面（GUI）技术，打造直观、易用的操作界面。界面布局合理，功能分区清晰，常用功能醒目，便于快速访问。同时，支持界面定制，满足个性化操作需求。

4.3.2 用户操作界面与操作流程设计

用户操作界面与流程设计以人性化为核心，追求用户体验与操作效率的双提升。界面设计简洁明了，易于导航，使运行人员能够轻松上手。操作流程设计清晰直观，易于理解，确保操作准确无误。为实现这一目标，我们采取以下措施：一是界面布局优化，通过科学设计，将关键信息和常用功能置于显眼位置，同时运用颜色、字体等视觉元素，增强可读性；二是操作流程简化，精简步骤，减少冗余，提供明确操作提示，加速操作进程；三是支持多语言切换，满足不同国家和地区用户的需求，提高系统可用性，同时也促进了国际间的技术交流与合作。

结束语

综上所述，数字化变电站继电保护系统的设计是现代电力系统安全稳定运行的重要保障。本研究通过深入的理论分析与技术创新，实现了继电保护的智能化、高效化与网络化，显著提升了电力系统的故障检测与处理能力。未来，我们将继续致力于优化系统设计，推动数字化变电站技术的不断发展，为电力行业的智能化转型和可持续发展贡献更多力量。

参考文献

- [1]苏雄.数字化变电站继电保护适应性探讨[J].现代工业经济和信息化,2023,(03):31-32.
- [2]赫嘉楠.数字化变电站继电保护系统运行状态实时跟踪研究[J].微型电脑应用,2022,(09):84-85.
- [3]谢健,陈昕.基于证据理论的数字化变电站继电保护容错方法[J].光源与照明,2022,(15):141-142.
- [4]申丽圆.数字化变电站继电保护及自动化系统设计[J].科海故事博览,2021,(06):67-68.