

配电调度自动化馈线终端的设计与研究

詹 敏

(国网四川省电力公司绵阳供电公司, 四川 绵阳 621000)

摘 要 该研究旨在设计和研究配电调度自动化馈线终端单元 (FTU), 以提高电力系统的自动化控制水平。通过硬件和软件的开发, 实现了 FTU 的可靠性和可扩展性。同时对设计样机通进行实验和测试, 验证了 FTU 的就地保护功能, 确保了电力系统的可靠性和安全性。这一研究旨在为促进配电调度自动化系统的发展提供借鉴, 从而提高电网的可用性和效率, 减少操作风险, 为智能电力配送打下坚实的基础。

关键词 配电调度自动化; 馈线终端; 重合闸自动化; FTU 自动化; 电参测试原理

中图分类号: TM76

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)12-0019-03

本文致力于深入研究配电调度自动化馈线终端的设计, 涵盖了硬件和软件两个关键方面。在硬件设计方面, 我们将关注数据采集、处理、故障检测与隔离、通信等核心模块的功能和性能, 以确保系统的可靠性和高效性。在软件设计方面, 我们将构建一个模块化和分层的系统结构, 以提高系统的稳定性、可维护性和可扩展性。通过程序实验和测试, 我们将验证自动化馈线终端系统的可行性和稳定性, 确保其能够在实际电力系统中有效运行。

1 配电网自动化控制概述

1.1 基于重合闸自动化

重合闸自动化控制是电力系统中的一项关键技术, 有助于提升电力系统的可靠性, 降低故障影响。该技术通过监测、控制和协调电力系统的各个方面, 以确保电力供应的连续性和质量。

自动化重合闸控制系统配备了各种传感器和监测设备, 实时监测电力系统的状态。这些设备能够测量电压、电流、频率、相位等关键参数, 以便在出现问题时立即进行识别和响应。这种实时监测有助于及早发现电力系统中的故障和异常情况, 从而降低了事故发生的概率。

基于监测到的数据, 自动化控制系统能够自主地作出决策和控制操作。它可以自动打开或关闭重合闸, 调整发电机输出功率, 切换电源路径, 以保持电力系统的平衡和稳定。这种自动化决策不仅提高了响应速度, 还减少了对人工干预的依赖, 降低了操作失误的风险^[1]。

1.2 基于 FTU 自动化

基于 FTU 的自动化系统采用计算机通信作为运维

平台, 利用 FTU 终端对电力系统的各个参数进行采集和传输, 并且将数据输送到各个控制子站, 其结构如图 1 所示。在正常运行时, FTU 可以通过对分合闸分段器、断路器等设备实现配电系统的倒闸操作, 从而优化配电网。然而, 当出现故障时, 故障参数会通过 FTU 迅速传送到各个子站和主站, 控制站会对数据进行分析, 同时定位故障发生区域, 计算出最优解决方案^[2]。

智能配电系统的基本功能包括遥测、遥信、遥控和遥调, 遥测是其中最基础的功能, 主要通过 FTU 终端采集参数和分析来实现, 下面对常见 FTU 电参分析原理进行介绍。

傅里叶方法是一种高效计算离散傅里叶变换 (DFT) 的算法, 原理是对信号进行正弦和余弦进行分解, 以便更好地理解信号的频域特性^[3]。具体来说, DFT 的主要思想是将一个离散的、有限长度的时域信号 (通常是数字信号) 分解成一系列离散频率分量, 这些分量在频域中以离散的方式表示。DFT 的计算如式 (1) 所示。

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi \frac{kn}{N}} \quad (1)$$

其中频率检测采用 FIR 滤波器的输出来计算配电网的频率, 这一方法依赖于从滤波器输出中获得的信息, 用于推导并近似电网频率。具体来说, 我们利用这些滤波器输出结果, 进行了如式 (2) 的数学处理。

$$2 \sin(2\pi f T_s) = \frac{|X_1(n) - X_1(n-2)| + |X_2(n) - X_2(n-2)|}{|X_1(n-1)| + |X_2(n-1)|} \quad (2)$$

综上所述, 电参测试原理涉及遥测、傅里叶分析、FFT 以及频率检测等多个概念, 这些方法在电力系统监测和分析中具有重要作用, 有助于确保电网的稳定运行和电能质量。

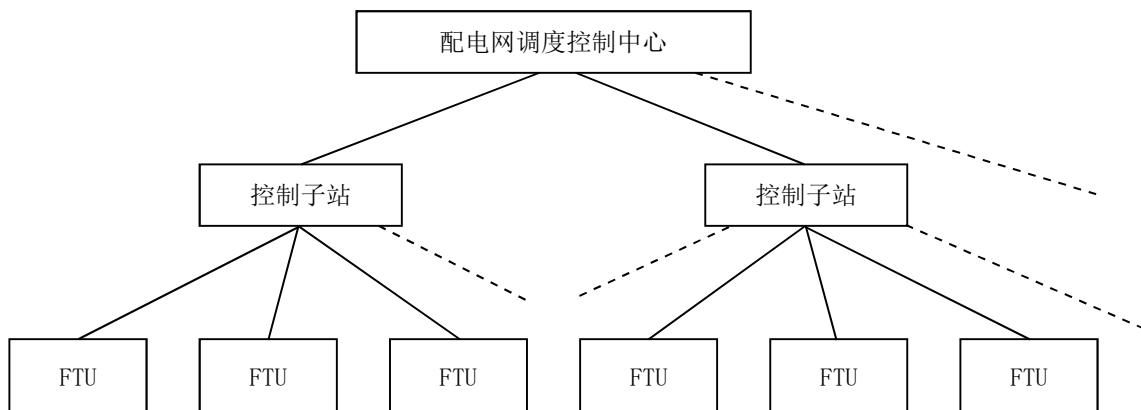


图1 基于FTU的自动化系统

2 硬件结构设计

硬件设备在智能终端装置中扮演着至关重要的角色，它们直接影响着智能终端系统的性能和功能。在本研究中，我们专注于设计配电网馈线终端单元(FTU)，这个核心硬件装置的设计决定了系统的可靠性和有效性。FTU是配电网自动化系统的关键组成部分，它负责采集馈线上的电压和电流数据，进行功率计算，实现开关分合闸操作，并提供多重功能，如开关位置检测、储能电气开关状态监测、信息处理以及独立故障处理等。

终端装置(FTU)的硬件结构在本研究中扮演着关键的角色，它是整个系统的核心组成部分。FTU的硬件结构包括液晶显示模块、通信模块、交流信号处理模块、开关量输入模块和开关量输出控制模块，每个模块都承担着特定的功能，共同协作以实现配电网的监测和控制。

1. 液晶显示模块：这个模块的主要任务是提供实时的信息展示功能。它可以显示配电网馈线系统的各种电气参数，包括电压、电流、功率等，同时还可以显示开关设备的状态和位置信息。通过液晶显示模块，用户可以方便地了解系统的运行状况。

2. 通信模块：通信模块具有双重通信功能。首先，它能够实现相邻的馈线终端之间的通信，这有助于协调不同终端之间的操作。其次，通信模块还能够实现配电网控制主站与馈线终端之间的通信，以便进行更高级别的监测和控制。

3. 交流信号处理模块：这个模块的主要任务是监控配电网的馈线。它采集了8路交流模拟信号，其中包括3路电压信号和5路电流信号。这些信号用于计算功率、检测谐波和监测电网的电气参数。电压信号可以从配电网馈线的PT(电压互感器)二次侧导入，而电流信号则从CT(电流互感器)二次侧导入。

4. 开关量输入模块：这个模块具备光电隔离功能，主要用于采集馈线柱上的开关设备的状态信息。它可以检测分合闸位置、储能情况等状态量，以便进行相应的控制和监测。

5. 开关量输出控制模块：类似于输入模块，输出控制模块也带有光电隔离功能。它用于对配电网柱上的开关进行分合闸和储能过程的控制。

3 软件设计

FTU(馈线终端单元)的软件系统整体结构设计体现了高度的模块化和分层思想，该系统由多个功能模块组成，每个模块负责不同的任务，协同工作以实现整个馈线终端单元的功能。

主程序是整个系统的核心，负责协调和调度各个模块的工作。主程序监测系统运行情况并进行分析与处理，同时生成相应的断路器分合闸指令。主程序还负责实时计算采集到的信息数值，确保系统能够及时响应各种事件。初始化模块用于系统的启动初始化，包括硬件设备的初始化和系统参数的设定。数据采集模块负责从配电网中采集电压和电流等模拟量信号，并将其转换为数字量信号，以便后续处理。这个模块是系统与外部世界连接的接口，保证了实时数据的获取。过流判断及分闸模块用于检测馈线上的电流是否超过设定的阈值，如果是，就生成相应的分闸指令，实现对故障电流的隔离。失压判断及合闸模块负责检测馈线上的电压是否低于设定的阈值，如果是，就生成合闸指令，以便在电压恢复正常时重新接通电路。重合闸模块实现了对断路器的合闸操作，确保在故障解除后能够迅速恢复电路的供电。通信模块负责与其他FTU之间的通信，通过CAN总线传输分闸、闭锁和重合闸指令。整体结构的设计保证了各个模块之间的相互独立性，使得系统更容易维护和扩展。同时，这

表 1 馈线 C 区段故障实验结果

	暂时性故障		永久性故障		实验次数	正确次数
	故障前	故障后	故障前	故障后		
FTU1	关	关	关	关	30	30
FTU2	关	关	关	关	30	30
FTU3	关	关	关	开	30	30
FTU4	开	开	开	开	30	30
FTU5	关	关	关	关	30	30

种模块化的设计方法也提高了系统的可靠性和灵活性,确保了 FTU 在不同的运行情况下都能够高效地工作。

4 实验分析

为了验证设计性能,对设计系统进行对应测试与分析,以验证 FTU 系统通过数据采集、数据处理、故障定位、对应故障区域恢复电力的能力。对故障处理的实验中还能够验证系统的逻辑性和精准性,以及数据采集和传输过程是否能够满足实时性要求,进一步确保设计系统的性能达到电力系统的指标要求^[4],具体实验过程如下。

4.1 程序调试

FTU 的电流故障处理流程中,首先进行程序初始化,然后针对执行分段开关功能的 FTU,进行电流值的比较。如果测得的电流有效值大于设定值,表明出现了过流现象,触发故障处理程序。对于暂时性故障,FTU 会执行分闸指令,并启动计时器。在分闸后,等待一段时间后执行重合闸操作,以便系统在故障解除后恢复正常运行。对于永久性故障,FTU 会执行跳闸闭锁指令,同时发送跳闸信号到出端,最终将分段开关保持在分闸状态。如果执行分段开关功能的 FTU 检测到过流信号并接收到出端 FTU 发送的分闸闭锁指令,分段开关将保持闭锁状态不变。

4.2 测试结果分析

通过使用 5 台 FTU 设备并将它们组网,我们进行了相关测试,以验证 FTU 是否具备就地保护功能。测试中我们建立了一个环网型馈线模型。在该模型中^[5],黑色圆圈代表分段开关,而白色圆圈代表联络开关。在正常情况下,分段开关是闭合的,联络开关是断开的。A、B、C、D 四个英文字母分别表示线路中不同 FTU 之间的馈线通电区段。

在模拟 C 区段发生故障的情况下,接收到这些输入信号后,各 FTU 立刻检测到馈线上的故障,并启动相应的故障处理程序。在 C 区段,第一个、第二个和第三个分段开关上的电流都处于过流状态。FTU2 检测

到故障信息后,向 FTU1 发送了分闸闭锁指令,导致 FTU1 对应的分段开关执行了分闸闭锁操作。同样地,FTU3 向 FTU2 发送了分闸闭锁指令,使 FTU2 对应的分段开关执行了分闸闭锁操作。此外,FTU4 检测到左侧电压失压状态,并向 FTU3 发送了分闸指令,导致 FTU3 对应的分段开关跳闸操作。在此过程中,C 区段的故障被成功隔离。

为此对模拟配电网进行永久性和暂时性两类 30 次重复实验,其结果如表 1 所示,通过结果表明系统具有良好的故障识别能力,符合配电网需求。

5 结语

通过深入研究和设计配电调度自动化馈线终端,本文为电力系统的现代化和智能化迈出了坚实的一步。在硬件方面,我们不仅关注了数据采集和处理的性能,还强调了故障检测和隔离的重要性,以提高电力系统的可靠性和安全性。在软件设计上,我们采用模块化和分层的方法,使系统更加稳定、易于维护和扩展。通过程序实验和测试,成功验证了系统的可靠性和稳定性,为电力系统的自动化调度提供了可靠的解决方案,这将有助于提高电力系统的运行效率、稳定性和可靠性。

参考文献:

- [1] 刘方,肖智超,王超. 配电自动化的主动配电网多目标调度模型与方法[J]. 重庆理工大学学报(自然科学),2021,35(08):190-198.
- [2] 傅代印. 配网调度管理实践及技术研究[J]. 南方农机,2019,50(18):162.
- [3] 周瑞蓉. 配电网调度自动化系统与继电保护[J]. 科学技术创新,2017(33):49-50.
- [4] 黄辉明. 配网调度在电网指挥系统中发挥的作用分析[J]. 科技资讯,2015,13(30):52-53.
- [5] 董伦. 配电自动化系统功能及其管理措施探讨[J]. 中国科技信息,2011(23):97.