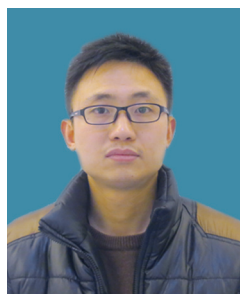


配电网智能台区一体化系统的应用

为了更好地推进配电网建设,提出在配电网中建设智能台区一体化系统的方案。首先介绍了基于能效管理系统智能台区的结构组成、系统功能以及应用创新等技术,重点研究了智能动态无功补偿配置技术在该智能系统的运用以及无功补偿容量的确定。然后,针对智能台区系统主站的控制架构以及通信技术方案进行说明。最后,结合具体的应用实例,从节能降耗以及资金经济效益等方面分析运行效果,总结智能台区建设在配电网运行中的可行性。

李 辉 吴光灿 雷 鹏 徐 伟/四川省电力公司泸州供电公司



李 辉/助理工程师

目前,越来越多的研究开始关注配电网的经济可靠运行。很多配电变压器实时监测系统、谐波分析系统以及无功补偿等自动化产品被采用,但这些装置功能大都比较单一,而且性能和使用效率不高,在某种程度上还需同时安装多种设备,使得配电网的管理较为不便。因此,无论从智能电网的建设还是用电的精细化管理,都需要进行数字化台区的建设。

基于能效管理系统的智能型综合配电网台区一体化系统是配电网建设的一种新趋势,主要是对配电变压器(含公用变压器、专用变压器)信息进行采集、控制、处理和实时监控,具有台区信息监测、集中抄表、电能质量监控、漏电保护监测管理、低压线损分析、台区异常进行报警和台区信息互动等功能。该系统不仅可以有效提高电能质量,降低线路损耗,还可以使供电公司及时了解配电网运行状况,从而为指定的经济安全运行方案以及考虑设备增容等问题提供了完整的科学依据。

关键词/Keywords

配电网·
智能系统·
无功补偿·
节能·

配电网智能台区一体化系统

智能配电系统作为一个复杂的、综合性能较高的系统性工程,本身包含众多设备和子系统,且各功能和子系统之间既独立又存在不同程度的关联,因此要求智能配电系统采用全面解决的方案,走系统集成的道路^[1]。

1. 系统结构

配电网智能台区一体化系统是由后台主站和现场设备(智能配电箱、智能配电变压器终端)组成。主站是对全局数据进行采集和汇总展示,子站则是对某一区域的数据进行集中采集后再与主站通信。智能低压配电箱完成对台区所有设备运行工况、数据信息的实时采集、存储和传输,后台主站对台区数据进行统计、分析和展示,实现配电台区的智能监控。

以县级为单位建立系统主站,以供电所为单位建立子站。主站部署于县供电企业监控中心机房,县供电企业和供电所的各级终端用户可以通过C/S、B/C两种模式实现操作和浏览功能,具体结构如图1所示。

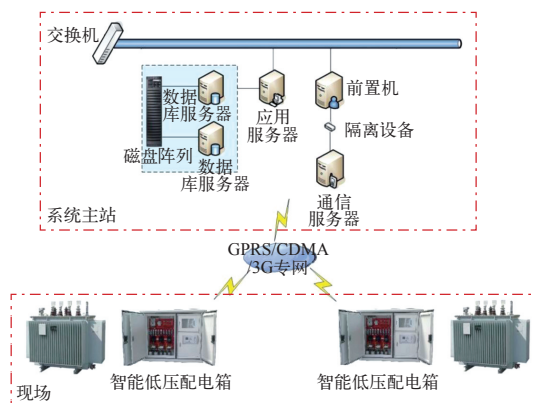


图1 智能一体化系统结构图

2. 系统功能

该系统通过对配电台区配电、用电的实时数据进行采集、存储和应用，并按信息化管理的要求，向电网管理层各应用子系统提供配电变压器级用户的运行及用电信息。

通信规约采用标准104规约，与现有自动化系统主要是通过网络接口。馈线自动化系统主要监控对象为10 kV线路自动化设备，而配电台区综合监控系统主要监控对象为配电变压器和低压线路设备运行状态。正常状态下馈线控制及数据监测系统可实现对各个运行电量参数（包括馈线上设备的各种电量）的远方测量、监视和设备状态的远方控制。当馈线发生相间短路故障或单相接地故障时，自动隔离和恢复系统可自动判断并隔离馈线故障段，自动隔离故障段并恢复非故障段的供电，可以采用自动重合器或者分段器，也可采用远方通信信道。

智能低压配电箱（也称智能JP柜）是传统JP柜的升级，在现场设备信息统一采集的基础上，具备就地统计分析功能，并同时支持与多个系统后台通信，实现后台与就地设备信息间的双向交互。新型的智能配电变压器终端实现了由单一化功能向多功能化的转变，在TTU的基础上，增加了集中器户表采集、电能质量治理等多项功能，改变了以往配电变压器终端单一的工作模式，实现了集成工作模式。运行时将台区作为综合单元，以台区为单元搭建配电与用电环节的桥梁，形成用户互动，实现对用电环节的统一管理与集中监控。

因此，该一体化系统不仅具备配电台区信息监测、配电变压器实时监测、集中抄表、漏电保护监测、电能质量监测和负荷管理等信息采集及控制功能，同时满足用户对系统经济运行分析、供电可靠性分析和Web应用等高级扩展应用功能的需求。系统将采集到的各类数据自动生成各类数据报表和曲线图，为供电单位提供电能质量分析、经济运行分析、供电可靠性分析和参数越限分析，为配网运行管理和建设提供量化依据。

智能配电系统无功配置

1. 智能动态无功补偿技术

配电网无功补偿对电网经济运行起着很重要的作用，不仅可以提高供电设备的效益，降低功率损耗和电能损耗^[2]，还可提高供电电压质量，减少电能使用浪费，指导电能消耗合理分配，帮助用户进行节能规划并实现持续节能。

智能低压无功补偿方式主要包括固定补偿与动态补偿相结合、三相共补与分相补偿相结合、稳定补偿与快速补偿相结合以及分散补偿。目前，根据负载情况充分考虑经济性的共分结合补偿方式在新的经济条件下应用较为广泛。该系统同样采用动态无功补偿技术，三相共补原理具体结构如图2所示。

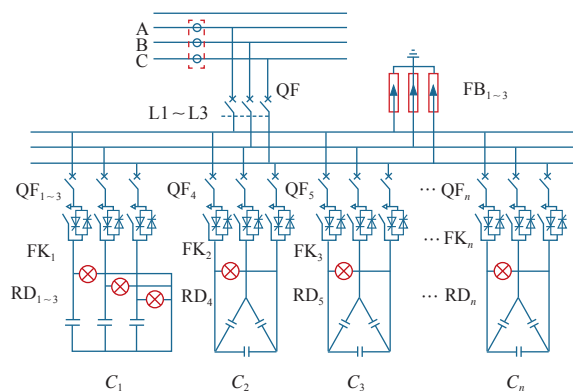


图2 三相补偿原理图

智能型无功补偿控制器运行时根据采集的数据使用VQC算法，主要是以无功功率为参考量，依据模糊控制理论智能选择电容器的组合。运行时采用智能控制理论自动及时地投切电容补偿，同时具备数据采集、通信和无功补偿等功能，通过后台软件将存储记录的数据以图表或报表的形式显示、打印，及时对电网系统实时监测补偿无功功率容量。根据配电系统三相中每一相无功功率的大小智能选择电容器组合，依据“取平补齐”的原则投入电网，从而实现电容器投切的智能控制。终端根据配置实施监测控制，进行17级准确控制，在治理无功的同时最大限度地延长无功补偿装置的使用寿命，同时还可以很好地实现

三相不平衡和谐波的治理。

此外,该智能台区安装的无功补偿装置主要功能优势包括以下方面。

1) 提供了多种控制方式。用户可根据自己的电网状况选用合适的控制方式,达到最佳的节能降损效果。

2) 该装置率先在国内实现了分级和多级投切,使得高压线路的无功补偿更加精细。

3) 采用真空接触器投切电容器。该真空接触器的触头由特殊材料制成,特别适合控制容性电流。

4) 控制部分独立安装,使用更安全,大屏幕中文显示器,方便用户使用。

5) 电容器设有完备的安全放电措施,断电后5 s内可将电容器残压降至50 V以下。

6) 可通过RS 232/RS 485通信接口或无线通信模块实现近距离有线或无线方式采集装置的运行数据和信息,及对装置进行遥控操作和参数设定。

7) 可以通过无线通信模块、GPRS和CDMA等通信方式实现远程数据信息的收集与控制或遥测控制。

2. 开关投切技术

无功补偿成套装置通常用在配电线路上,通过实时跟踪线路无功变化自动投入或退出电力电容器组,从而对线路无功进行自动补偿和优化线路无功配置,实现降损节能和改善电网供电质量的目的。

通常是在补偿电容前方加装复合开关,复合开关采用过零投切的方式,即电压为零的时候投入电容器进行补偿,电流为零时切断补偿。过零投切时不会造成电容器和电路中的电压差或者电压叠加,避免产生投切的涌流,同时减小了功率的损耗,延长了无功补偿装置的寿命和减小了对其他用电设备的冲击^[3]。另外,电流过零点切除也不会造成拉弧等各种因大电流造成的危害。两组自动投切原理如图3所示。

无功补偿器智能投切时,对电压限制条件和投切延时做出了要求。限制电压时以无功功率

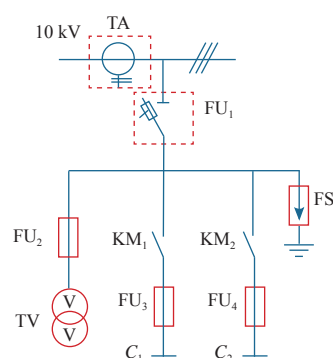


图3 两组自动投切原理图

为投切门限值,根据现场运行需求分别设定过电压、欠电压的保护值以及禁投(低谷高电压)、禁切(高峰低电压)电压值;延时时间则既要满足快速跟踪无功补偿也可支持动态稳定,根据需要设置电容投切动作时间的间隔,其中快速跟踪补偿时间间隔为零。

3. 补偿容量确定

补偿容量可以根据负荷的最大功率、补偿前的功率因数及要求补偿后达到的功率因数确定,补偿容量可用下式计算确定

$$Q = \alpha P (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (1)$$

式中, Q 为所需补偿的总无功功率; α 为平均负荷系数,取0.7~0.8; P 为用户最大负荷; $\tan \varphi_1$ 、 $\tan \varphi_2$ 分别为补偿前和补偿后平均功率因数角。

补偿后,线路前端功率因数提高,电流减小。线电流减小幅度由功率因数 $\cos \varphi$ 补偿大小而定,有即

$$I = P / (1.732U \cos \varphi) \quad (2)$$

电容器补偿前线路电压损耗为

$$\Delta U_1 = (PR + QX) / U_n \quad (3)$$

若保持有功功率恒定,线路的电阻和电抗是定值,无功功率越小,则电压质量就越高。当安装容量为 Q_2 的并联补偿装置后,线路的电压损耗为

$$\Delta U_2 = [PR + (Q_2 - Q_1)X] / U_n \quad (4)$$

式中, P 为线路传输的有功功率; Q 为线路传输的无功功率; U_n 为线路额定电压; R 和 X 为线路电阻和电抗。此时,线路中的功率损耗降低率为

$$\Delta P\% = [1 - 2(\cos \varphi_1 / \cos \varphi_2)] \times 100\% \quad (5)$$

系统设备与通信方案

智能台区建设要硬件设备和软件设备相结合；硬件方面，要安装无功补偿、谐波治理和智能变压器等先进设备，改善台区建设基础；软件方面，要遵循电力基础理论和实践经验，同时利用先进的通信技术和计算机技术。

1. 系统设备

系统主站的硬件设备主要包括服务器、工作站和网络设备等，系统结构可根据用户需求、业务数据量和系统安全性等因素考虑双网、单网结构。主站的物理构架、技术构架、功能构架和数据构架等实现统一规划设计，采用面向服务的架构（SOA）和J2EE多层技术架构，支持已有业务系统的灵活接入，解决电力信息孤岛所引发的问题，整合已有信息资源，为更深入的决策分析和数据挖掘奠定技术和数据基础。

智能低压配电箱以Q/GDW 614—2011《农网智能型低压配电箱功能规范和技术条件》为设计依据，按照电气接线要求，将低压开关设备、计量和测量设备装置、智能配变终端、保护电气及辅助设备组装在封闭箱体内部，具有计量、测量、控制、保护、电能分配、无功补偿和滤波等集成功能的设备。该系统中智能配电箱内的电器元件选用国内最新设备。

智能配变终端是智能台区系统的核心设备，负责对配电变压器、进出线开关、剩余电流动作保护器及智能电能表等设备运行信息和用户用电信息进行采集，完成配电变压器计量总表监测、动态无功补偿等功能。该系统中采用MS2630智能配电变压器终端，也完全符合Q/GDW 614—2011《农网智能型低压配电箱功能规范和技术条件》要求。

2. 系统通信方案

智能配电系统是一种利用自动化信息能效管理工具，同时是集动力能源过程监控、能源信息管理和能源调度为一体的综合信息监控平台^[4]。该系统采用分层分布结构和开放式结构设计，主要分为系统应用层、网络通信层和现场数据采集

层，主要面向节能服务公司、农电部和供电所等三类用户，系统架构如图4所示。考虑到目前配电台区数量大且分布较广，而具备光纤通信条件的很少，台区与子站的通信仍以无线传输方式为主，智能配电变压器终端的通信模块分为远程通信模块和本地通信模块。

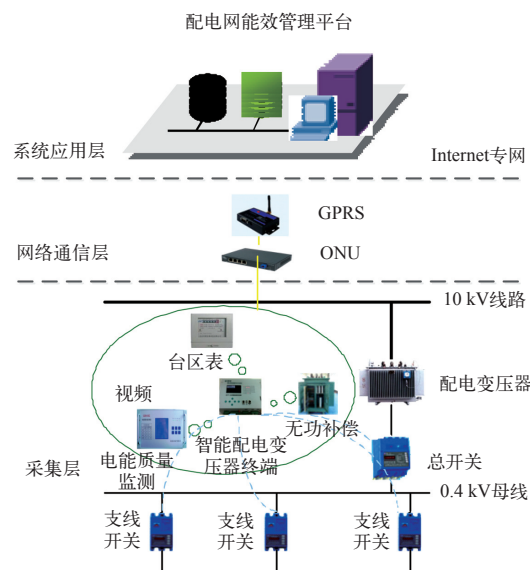


图4 智能台区系统架构图

智能低压配电箱支持GPRS/GSM、以太网和无线专网（230 MHz）等多种通信方式与主站通信，通信规约支持Q/GDW 376.1—2009《电力用户用电信息采集系统通信协议：主站与采集终端通信协议》、IEC 60870-5-101/104远动规约和Q/GDW 130负控规约等。配电变压器终端支持GPRS/GSM、以太网、电力线载波、WiFi和RS 232/RS 485等多种通信方式，同时支持http协议和远程telnet访问方式。上行通信协议支持IEC 60870-5-101/104、Q/GDW 376.1及其扩展协议，下行通信协议支持Q/GDW 376.1、MODBUS、IEC 60870-5-101和IEC 60870-5-102等通信协议。

对于未安装集中器、采集器，未采集低压用户用电信息的情况，智能配电变压器终端支持载波微波无线方式抄表，统一采集配电台区的配电和用电信息。另外，还可根据需求选择与其他系统进行数据交换，通过WEBSERCICE、中间

库、数据中心、文件方式、API方式、ODBC和OPC SERVER等多种方式实现与其他业务之间的交换,提供与GIS系统、企业一体化信息管理平台、营销管理业务应用、配电自动化系统、调度自动化系统和MIS系统等的数据通信接口。

实例应用

以2014年某地实际应用为例,对有关台区进行相应的智能化一体化改造建设并采集实际运行数据。计算分析结果如下表所示。

表 补偿效果分析表

台区名称	平均有功功率/kW	平均无功功率/kvar	功率因数	待补偿电容/kvar	补偿方案	补偿后线路电压降低值/V	补偿后变压器电流降低值/A	补偿后线路功率损耗降低率 (%)
8队-公用变压器50 kV·A	9.71	7.084	0.80	3.133	加装5 kvar电容器	2.55	2.73	27.71
14队-公用变压器50 kV·A	21.543	14.783	0.82	7.893	加装10 kvar电容器	6.439	5.462	25.495
14队-公用变压器200 kV·A	12.749	8.637	0.85	4.783	加装10 kvar电容器	3.092	2.398	19.944

对智能一体化系统的节能降耗效果进行分析。根据国家标准GB/T 12497—2006《三相异步电动机经济运行》中的相关规定可知, KQ 为无功经济当量并根据具体情况而定:电动机直连的发电机母线, $KQ=0.02\sim 0.04$;二次变压, $KQ=0.05\sim 0.07$;三次变压, $KQ=0.08\sim 0.10$ 。

对线路进行无功补偿时,设定补偿容量为 C ,年度运行时间为 T ,电价为 A ,装置总金额为 M ,此时,节约电费 X 为

$$X=C \cdot KQ \cdot T \cdot A \quad (6)$$

投资回收期 Y 为

$$Y=M/P \times 12 \quad (7)$$

1) 在10 kV线路上进行无功补偿时,其无功经济当量为 $0.05\sim 0.07$,在此处取 0.05 ,装置总金额为8万元。因此,当10 kV线路无功补偿容量为800 kvar时,可计算为 $X_1=800 \times 0.05 \times 24 \times 365 \times 80\% \times 0.45$ 元=126 144元, $Y_1=(80\,000 \div 126\,144 \times 12)$ 月 ≈ 8 月。

可以看出装置在8个月可收回成本,装置使用寿命10年左右。

2) 在0.4 kV侧进行无功补偿时,其无功经济当量为 $0.08\sim 0.10$,此处该值取为 0.1 ,无功补偿装置金额为1.5万元。故当0.4 kV侧无功补偿容量为10 kvar时,并假设补偿装置的投入率约为80%。此时,通过计算: $X_2=10 \times 0.1 \times 24 \times 365 \times 80\% \times 0.45$ 元=3 153.6元, $Y_2=(15\,000 \div 3\,153.6 \times 12)$ 月 ≈ 57 月。

同样,此时可知装置在57个月可收回成本,使用寿命可达10年。

结束语

配电网中的智能台区一体化系统主要采用智能动态无功补偿方式来解决低功率因数问题,同时结合能效管理系统使得配电台区具备现场总线管理与控制以及实时通信等功能。通过配置和运用智能台区一体化系统,可以有效地统计和分析各个台区的实时运行数据,更加直观地掌握配电网的运行状态,同时对配电网的节能降耗以及经济运行也起到了积极的作用。因此,该系统的提出与应用有利于提高配电网的自动化和经济可靠运行,更是对实现切实的量化管理和建设具有指导性意义。

参考文献

- [1] 邓玲慧,王志新,沈剑鸣,等.智能配电技术及其应用[J].电网与清洁能源,2012,28(3):10-15.
- [2] 王庆,李韬滔,刘英健,等.智能综合配电箱的设计和应用[J].低压电器,2012(23):32-36.
- [3] 段悦芬.配电系统中智能低压无功补偿技术的研究[J].低压电器,2011(7):53-55.
- [4] 徐香香,肖欣欣,李升.能效管理系统的设计及其在工业设计中的应用[J].南京工程学院学报:自然科学版,2013,11(2):67-72.

(收稿日期:2014-07-01) EA