

# 分布式安全稳定控制装置的发展现状及展望

袁 康, 陈 泓, 丁留宝

(国网电力科学研究院/南京南瑞集团公司, 江苏 南京 210003)

**摘 要:** 随着特高压电网建设和大区互联电网建设的不断发展, 电网对稳定控制装置的功能要求不断提高, 稳定控制装置已由早期的集中式配置转变为以分布式架构为主要配置模式。本文分析了分布式稳定控制装置的发展现状, 研究了目前分布式安全稳定控制装置的主要缺陷并提出了解决思路, 探讨了基于冗余配置的分布式安全稳定控制系统和基于嵌入式云计算的分布式安全稳定控制装置两种设计模型, 以及分布式稳定控制装置发展中的研究课题。

**关键词:** 安全稳定控制装置; 分布式; 健壮性

## 0 引言

电力系统稳定控制装置是为保障电网安全稳定运行而专门设计的一种专用自动控制装置, 通常被配置于电力系统稳定第二道防线和第三道防线中<sup>[1-2]</sup>。

早期的电力系统稳定控制装置主要用于电力系统稳定第三道防线中的频率电压紧急控制和失步解列等功能, 如南瑞稳定的DPY、UFV-2A/F等<sup>[3]</sup>。这类装置采集量比较少, 功能较为简单, 因此多采用集中式控制方式, 只配置了一个单片机作为控制器, 负责所有的采样、分析、计算、控制输出等, 所有的功能均由一个装置独立完成。

集中式配置实现简单, 成本低廉, 因此, 目前在第三道防线中仍有着广泛的应用, 如UFV-200A频率电压紧急控制装置和UFV-200F失步解列装置等<sup>[4]</sup>。

随着特高压电网建设和大区互联电网建设的不断发展, 电网结构日益复杂, 区域电网间的联系不断加强, 稳定控制装置的研究重点逐渐向第二道防线中的区域性安全稳定控制倾斜, 装置的功能日趋复杂, 对装置数据分析处理能力和通信能力的要求不断提高, 稳定控制装置开始由集中式配置向分布式配置模式转变, 并由单一的稳定控制装置向区域性分布式稳定控制系统发展。

本文分析了分布式稳定控制装置的发展现状, 并探讨了今后一段时期分布式稳定控制装置的发展方向。

## 1 分布式安全稳定控制装置的发展现状

随着稳定控制装置的应用焦点逐渐转向区域性安全稳定控制, 对装置的计算、控制和协调能力提出了新的要求, 装置的采集量剧增, 由原先几个元件发展到可能需要采集一个厂站中多个甚至所有元件的运行信息并加以分析, 甚至不仅仅局限于本地的采集数据, 而是需要综合多个厂站的信息进行逻辑判断。在这样的情况下, 原先的集中式稳定控制装置已经无法满足不断提高的要求, 分布式稳定控制装置逐渐成为电网用户和设备研制企业的研究重点。

分布式稳定控制装置的发展大致可分为两个阶段, 一是以总线技术为基础, 多CPU协同工作的集中分层式稳控装置; 二是目前主流的以光纤通信为基础, 真正实现空间分布的稳控装置。

### 1.1 集中分层式安全稳定控制装置

由于计算机技术、现场总线技术的发展, 使得多CPU同时并行工作成为可能, 这为稳定控制装置带来了一种新的设计架构——集中分层式。在这种架构下, 多个下位机(单元处理机)分别负责一个或几个元件的信息采集和基本的逻辑判断, 将结果通过数据总线发给上位机进行决策。典型的应用如南瑞稳定的FWK、FWK-300系列装置。这种模式已经具备了基本的分布式特点(多个CPU协同工作), 但由于数据总线的连接距离受限, 多个处理模块仍需处在一个插箱或屏柜内<sup>[5]</sup>。

### 1.2 空间分布式安全稳定控制装置

近年来,保护小室结构在许多厂站、尤其是高电压等级变电站得到了广泛应用。在小室布置的厂站中,各电压等级的元件二次回路分布在不同小室中,而稳控装置往往需要同时采集多个电压等级的元件信息,这给集中分层式稳定控制装置的接线带来了巨大的不便,大大增加了装置的安装成本。随着现代通信技术的发展,各种高速通信手段的引入使得分布式稳定控制装置得到了越来越多的应用,如南瑞稳定的SCS-500E、南瑞继保的RCS-992A稳控装置等<sup>[6-7]</sup>。分布式稳定控制装置使用光纤、LVDS等传输介质替代了集中分层式稳定控制装置中的数据总线,使得上、下位机之间的通信距离大大增加,不仅可以有效解决小室布置的厂站接线问题,还可以根据实际需要,将上、下位机分别安装在不同厂站,配置灵活性大大提高。同时,通过改造数据采集单元的设计,还可以方便地将原有的装置升级,以适应数字化变电站的应用需要。典型的分布式稳控装置结构如图1。

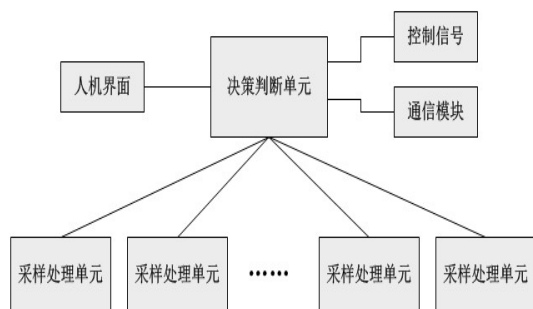


图1 分布式稳定控制装置结构图

### 1.3 分布式安全稳定控制系统

随着特高压电网、大区互联电网、远距离直流输电的不断发展,单靠一套稳定控制装置远远无法满足保护整个电网安全稳定运行的需要,必须将多套装置通过通信网络联系在一起,组成分布式稳定控制系统,依靠协同控制保障电网安全。目前的锦苏直流送端电网安控系统、江苏EACCS协调防御系统正是分布式稳定控制系统的典型应用。分布式稳定控制系统一般由主站、子站、执行站组成,其典型配置如图2。从宏观来看,分布式稳控系统可以被认为就是一整套广域的分布式稳控装置,其主站相当于上位机,子站、执行站相当于下位机。

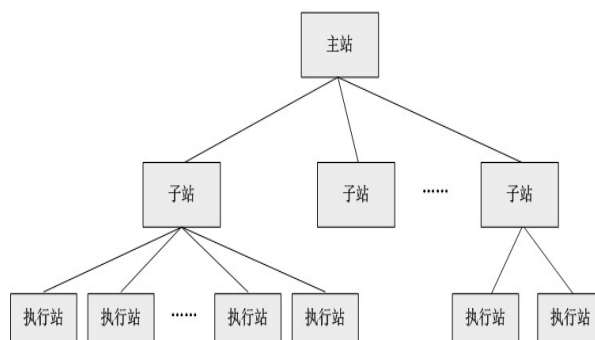


图2 分布式稳定控制系统结构图

## 2 分布式安全稳定控制装置的展望

与集中式稳定控制装置相比,分布式稳定控制装置配置更加灵活,功能更加强大。我国的电网建设正处在一个高速发展的时期,电网对稳定控制的要求必将越来越高,在可预见的相当一段时间里,分布式稳定控制装置必将是稳控装置的主要发展方向。

### 2.1 目前分布式安全稳定控制装置的主要缺陷

目前,分布式稳定控制装置(系统)存在的根本问题是对上位机(主站)过分依赖,由此导致了两个主要缺陷:上位机(主站)任务量过于繁重和装置(系统)的健壮性不够。

#### 2.1.1 上位机(主站)任务量过于繁重

由于各下位机(子站、执行站)收集的信息都需要汇总至上位机(主站),对于一个较为庞大的系统而言,上位机(主站)需要处理的信息量众多,任务过于繁重,可能超出其处理极限。以下是针对这一问题的几种解决方案:

1) 由分布式采集向分布式判断发展。现有的分布式稳定控制装置(系统)中,下位机(子站、执行站)主要负责数据采集、计算和部分基本的逻辑判断工作,大量的决策判断都集中在上位机(主站)进行处理。如果将仅需本地数据或需要少量外部数据的逻辑功能下放至下位机(子站)处理,则可以减轻上位机(主站)的处理压力。

2) 引入分布式计算技术。随着计算机技术的不断发展,多核技术、多CPU分布式计算技术、分布式操作系统技术得到了快速的发展和應用,嵌入式多核CPU已开始应用于工业控制领域。随着这些技术的逐渐成熟,如果将其引入分布式稳定控制装置的设计中,将能够极大地提高上位机(主站)的处

理能力。另一种方法是,采取适当的分布式算法,将上位机(主站)的计算工作分配至下位机(子站)处理,以均衡整体的工作负荷。

### 2.1.2 装置(系统)的健壮性不够

分布式稳定控制装置(系统)对通信的依赖性极高。如图 1、图 2 所示,目前的系统主要采用的都是星形架构,这种架构的优点是结构简单、通信延时较少,但一旦上位机(主站)出现通信故障,将导致整个系统陷入瘫痪,系统的健壮性较差。

解决系统健壮性问题的直接手段是采用冗余配置,包括设备冗余和通道冗余,从而最大程度地避免由于系统中某一点的故障而导致整个系统功能的崩溃。

另外,合理划分系统的功能分布,将涉及范围仅限于子站系统内的功能模块放在子站中实现,在主站退出运行时将整个系统划分为若干子系统独立运行,尽可能保留系统的控制功能,这也是提高健壮性的途径之一。

## 2.2 分布式安全稳定控制装置(系统)的设计模型

以下提出了两种分布式稳定控制装置(系统)设计模型:

### 2.2.1 基于冗余配置的分布式安全稳定控制系统

基于冗余配置的分布式安全稳定控制系统设计主要需要考虑两方面的内容:即设备的冗余配置和通道的冗余配置。

对于设备的冗余配置,目前采用较多的一种解决方案是双系统配置+系统间数据交换,即双星形架构。图 3 是一个主站、子站、执行站均双套配置,主站双套间数据交互的系统结构图。根据实际应用的需要,可灵活设置各级别设备的冗余配置方案和数据交互方案。这种方法保留了原先结构简单、通信延时少的优点,同时增强了系统的健壮性,当所有设备双套配置并进行双套间数据交互式,能保证整个系统在 N-1 和不同位置 N-2 故障时仍能够正常运行。

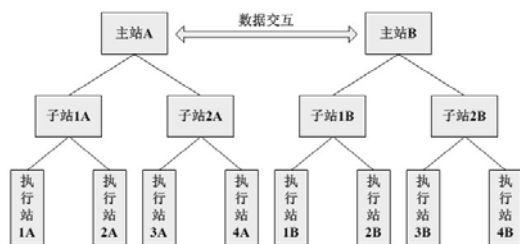


图 3 基于设备冗余的分布式安全稳定控制系统

对于通道的冗余配置,参考通信网络中的系统拓扑结构,分布式稳定控制装置的通道可以采用环网结构进行配置,这样,每一条通道可以保证有 2 条路由可以使用,在链路故障情况下可以自动切换。当稳控装置双套配置时,两站之间最多可以有 4 条通信链路,能够承受 N-3 的链路故障。

### 2.2.2 基于嵌入式云计算的分布式安全稳定控制装置

随着计算机技术的不断发展,云计算已经成为了 IT 行业的热点。近年来,IT 行业内开始将云计算的应用研究进一步扩展,提出了嵌入式云计算的概念。所谓云计算,其精髓在于将一组相同的设备汇集起来,采用虚拟化技术统一管理。随着嵌入式设备的不断进步和网络通信技术的发展,基于嵌入式云计算的分布式稳定控制装置也将成为可能。

在传统的分布式安全稳定控制装置设计中,下位机通常负责一个或几个元件的电气量及部分开关量信号的采集,并在此基础上进行基本的数据计算和逻辑判断。由于嵌入式技术的发展,下位机的工作任务占用的处理器资源比重已经大幅下降,而在目前的设计中,剩余的处理能力基本都处于闲置状态,没有被充分利用。

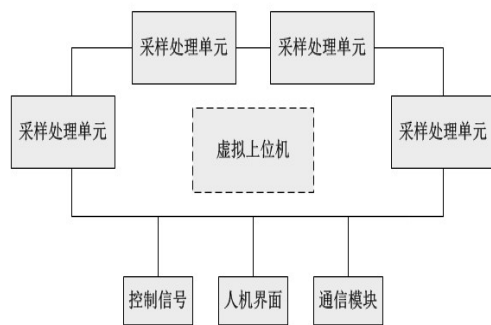


图 4 基于嵌入式云计算的分布式稳定控制装置模型

图 4 中提出了一种基于嵌入式云计算的分布式稳定控制装置设计方案,将 N 个采样处理单元组成环网,利用云计算技术虚拟出一个上位机,根据装置设计功能的复杂程度,上位机功能可以由某个下位机独立完成,也可以由多个下位机协作完成。这样,既充分利用了现有下位机的处理能力,同时降低了装置过分依赖单个上位机的风险。

## 2.3 发展中面临的主要课题

1) 分布式算法。分布式算法是分布式系统设计的灵魂,要根据稳定控制装置的特殊性质和实际情

况选择适当的分布式算法是分布式稳定控制装置发展中的重要课题。

2) 数据可靠性。稳定控制装置在电网运行中扮演着重要的角色, 保证稳定控制装置的运行可靠性对保障电网稳定运行至关重要。数据通信是分布式稳定控制装置的基础, 要保证稳定控制装置可靠运行, 必须保证通信数据的可靠性。分布式系统中如何保证通信数据的实时性和多套装置冗余配置时的数据一致性将是一个亟待解决的问题。

3) 健壮性。分布式系统的重要特点就是系统的健壮性远好于集中式系统。在分布式稳定控制装置设计中, 当系统中有装置退出时尽可能保证系统正常运行是分布式系统健壮性的重要体现。

### 3 结束语

随着电网建设的发展, 分布式稳定控制装置将得到更加广泛的应用。依靠不断更新的计算机技术、分布式技术和不断完善的稳定控制装置设计理念, 未来的分布式稳定控制装置将朝着更加智能化的方向发展, 健壮性和适应性必将大幅提高。

#### 参考文献:

- [1] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (一) 从孤立防线到综合防御[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(1): 8-16.
- [2] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架: (三) 各道防线内部的优化和不同防线之间的协调[J]. 电力系统自动化,

2006, 30(3): 1-10.

- [3] 齐悦文, 李滨, 韩建中. UFV—2 型安全自动装置在我省电网的应用[J]. 山西电力技术, 1997, 17(3): 31-35.
- [4] 邵俊松, 陈涵, 曹一中, 等. UFV-200 系列安全稳定控制装置[J]. 电力系统自动化, 2006, 30(24): 84-87.
- [5] 宋锦海, 李雪明, 姬长安, 等. 安全稳定控制装置的发展现状及展望[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(23): 91-96.
- [6] 宋锦海, 余文杰, 宣筱青, 等. 适应特高压互联电网的SCS-500E 安全稳定控制平台研制[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(5): 91-95.
- [7] 高亮, 金华峰, 宗洪良, 等. RCS-992A 系列分布式区域安全稳定控制装置[J]. 电力设备, 2004, 5(5): 73-76.
- [8] 方勇杰, 戴永荣, 李 雷, 等. OPS-1 在线预决策的暂态稳定控制系统[J]. 电力系统自动化, 2000, 24(3): 56-59.

#### 作者简介:

袁 康 (1982-), 男, 山东龙口人, 工程师, 主要研究方向: 电力系统安全稳定控制, E-mail: yuankang@sgepri.sgcc.com.cn;

陈 涵 (1978-), 男, 黑龙江双鸭山人, 工程师, 主要研究方向: 电力系统安全稳定控制;

丁留宝 (1982-), 男, 江苏泰兴人, 工程师, 主要研究方向: 电力系统安全稳定控制