

# 电力系统信息需求分类及其对通信网络的要求研究

辛建波, 段献忠

(华中科技大学电气与电子工程学院, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 随着电力市场的开放, 电力系统信息需求的不断提高, 信息量急剧增长。为了最大限度地发挥光纤通信的优势, 必须对电力系统的信息需求进行深入研究。针对电力企业不同应用领域对电力系统信息需求进行分类, 并且分别详细分析了变电站和控制中心的信息类型及其传输时间需求, 最后对通信网络提出了要求。

**关键词:** 信息需求分类; 传输时间需求; 通信网络

**中图分类号:** TM769 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2004)21-0021-05

## 0 引言

电力系统通信已成为并将继续在更大范围内成为电力系统运行及管理的必需工具, 不断发展强大的通信功能促使电力系统和相关行业以更有效的方式运行。随着光纤通信系统的引进, 窄带(100 bit/s 级)技术已在很大程度上被高速宽带(100 Mbit/s 级)通信技术所代替, 带宽比以往增加了 106 倍。但是这些增加的网络带宽资源, 应该被有效利用。如果电力系统的各类信息不是按“所需”, 而是按“好用”的标准, 一味地追求更好的性能, 那么这些现在闲置的网络资源不久将会被耗尽。因此, 现在电力系统通信领域的研究重点应该放在信息需求的分析上, 不仅可以为电力系统通信设计、规划提供一个参考标准, 而且能够为电力信息系统的网络性能管理提供依据。本文主要针对电力企业的不同应用领域, 将电力系统信息需求分为变电站的信息需求和电网控制中心的信息需求 2 大类; 并且分别详细分析了变电站和控制中心内的信息类型及其传输时间需求; 最后对通信网络提出了要求。类似的工作尚未见到文章发表, 文献 [1] 提出了一些电力系统通信分类模型, 文献 [2, 3] 则是根据控制中心的业

务类型分类, 而本文提出的新方法是综合企业应用领域的信息流和电力网络应用需求等因素考虑电力系统信息需求。

## 1 变电站的信息需求

### 1.1 信息流和传输时间需求

正在制订的变电站通信网络和系统国际标准 IEC 61850 按照变电站自动化系统所要完成的测量、控制和保护三大功能从逻辑上将系统分为 3 层, 即变电站层、间隔层和过程层, 并定义了 9 种逻辑接口模型<sup>[4]</sup>。该模型主要的组件和逻辑接口组成如图 1 所示。

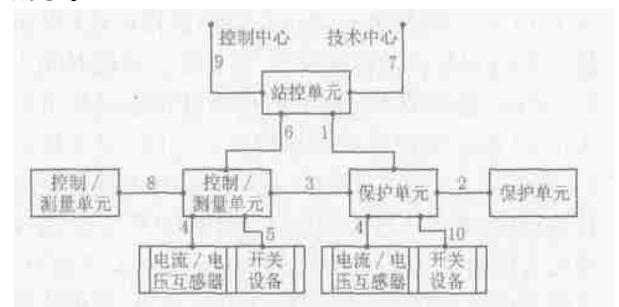


图 1 基于 IEC 61850 的逻辑接口模型

Fig. 1 Logical interface model based on IEC 61850

## Research and realization of fast fault calculation method in relay setting

YANG Xiong-ping, SHI Dong-yuan, YANG Zeng-li, DUAN Xian-zhong  
(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** In order to enhance the efficiency of relay coordination, fast calculation of faults in various operating modes of power network is a pivotal factor. This paper analyses the characteristics of relay coordination, presents a method based on impedance matrix to calculate a mass of faults considering the changes of operating modes of power network. By means of the rational selection of involved node muster and classified stockpile impedance matrix, the least modification impedance matrix and fast fault calculation are achieved. From the view of time-consuming, this paper analyses and compares the advantages and shortcomings of fault calculation method based on conductance matrix with that based on impedance matrix.

**Key words:** setting calculation; fault calculation; change of operating modes; conductance matrix; impedance matrix

基于 IEC 61850 的变电站自动化三层设备间的信息流可以通过图 1 所示的 10 种逻辑接口实现,其信息传输时间需求如表 1 所示。表 1 中的信息传输时间需求详见参考文献[5],该文献是由 IEEE 电力工程委员会变电站分会基于 IEC 61850 标准,组织编写的集成一体化变电站通信需求的技术报告。

表 1 通过变电站通信接口的信息传输时间需求  
Tab. 1 Time requirements of information transmission across substation communication interfaces

| 信息流            | 逻辑接口 | 时间需求 | 信息传输时间/ms |
|----------------|------|------|-----------|
| 站控单元—保护单元      | 1    | 低    | > 100     |
| 保护单元间的动作信息传输   |      | 高    | 2 ~ 10    |
| 保护单元间的数据传输     | 2    | 中    | 10 ~ 100  |
| 测控单元—保护单元      | 3    | 中    | 10 ~ 100  |
| CT/PT—各单元的采样信息 |      | 很高   | < 2       |
| 同步相量测量信息       | 4    | 中    | 10 ~ 100  |
| 测控单元—开关设备      | 5    | 低    | 100 ~ 250 |
| 站控单元—控制单元      | 6    | 低    | 100 ~ 250 |
| 站控单元—技术服务中心    | 7    | 低    | > 100     |
| 测控单元之间         | 8    | 中    | 10 ~ 100  |
| 站控单元—控制中心      | 9    | 低    | > 100     |
| 保护单元—开关设备      | 10   | 很高   | < 2       |

电流、电压互感器与保护、测控单元之间的实时电压电流采样值(对应接口 4)和保护单元发送到现场开关设备的保护信号(对应接口 10)的信息传输时间需求最紧急,信息传输时间小于 2 ms;另外,通过接口 4 传输的同步相量测量信息的传输时间可以大于 10 ms。保护单元之间的保护动作信息(对应接口 2)具有较高的传输速率,通常信息传输时间为 2 ~ 10 ms,而保护单元间的数据文件传输时间可以大于 10 ms。测控单元和保护单元之间(对应接口 3)、测控单元之间(对应接口 8)的信息流具有中速传输速率,通常信息传输时间为 10 - 100 ms。站控单元与控制中心和技术服务中心(对应接口 7 和 9)之间的信息,如“四通”信息、维护信息等,其传输速率较低,信息传输时间通常大于 100 ms。站控单元与保护单元、测控单元之间(对应接口 1 和 6)的信息流,该信息流在正常运行状态和故障状态下具有不同的特点。正常状态下,一般为周期性的定时传输或上层主机的召唤传输。故障状态下,主要包括断路器的变位信号、保护动作信息和事件顺序记录、由故障引起的电流、电压变化信息、故障录波文件等信息,其传输时间通常大于 100 ms。测控单元和现场开关设备之间(对应接口 5)的控制信息,其传输速率较低,信息传输时间通常大于 100 ms。

## 1.2 变电站内的信息类型和信息传输时间需求

随着电力系统通信需求的提高,未来的人机交互

互功能需要高质量的视频、音频数据流,要求传输速率大于 64 kbit/s<sup>[5]</sup>,信息传输时间通常小于 1 s。

未来的通信需求可能包括大量的准实时信息传输,例如智能传感器测量数据,电流差动保护的波形数据以及同步测量数据。

根据以上对变电站内的信息流的分析和未来的发展需求,可以将变电站内的信息分为以下几类:保护信息、监控信息、生产维护信息、文字处理信息、数据处理文件、程序文件、图像文件、音频和视频数据流等。在不同的信息交换地点,各种类型信息的传输时间需求有所不同<sup>[5]</sup>,如表 2 所示。

表 2 信息传输时间需求

Tab. 2 Time requirements of information delivery

| 信息类型      | 变电站内  | 变电站外      |
|-----------|-------|-----------|
| 保护信息,高速   | 4 ms  | 8 ~ 12 ms |
| 监控信息,中速   | 16 ms | 1 s       |
| 生产维护信息,低速 | 1 s   | 10 s      |
| 文字处理信息    | 2 s   | 10 s      |
| 数据处理文件    | 10 s  | 30 s      |
| 程序文件      | 60 s  | 10 min    |
| 图像文件      | 10 s  | 60 s      |
| 视频和音频数据流  | 1 s   | 1 s       |

## 2 电网控制中心的信息需求

电网控制中心的应用分类和信息流如表 3 所示。电网控制中心的信息需求通常可分为控制中心与变电站/发电厂的信息需求、电网控制中心间、控制中心与企业/电力用户间的信息需求。

### 2.1 控制中心与变电站/发电厂间的信息需求

此类信息可以分为:生产控制类实时信息和维护、管理准实时信息 2 类。

#### 2.1.1 生产控制类实时信息

此类信息是指维持电力系统实时运行的信息,具有传输信息量少、实时性强的特点,它可分为电网运行实时信息和实时调度语音信息 2 类。

电网运行实时信息按信息类型分为控制信息和监视信息。电力系统控制信息包括以下几个方面:电力系统安全稳定控制信号、广域预防电压崩溃控制信号、切负荷信号、AGC 控制信号、SCADA 控制和保护设定值信号。

广域稳定控制系统可以监视和控制电力系统的暂态运行情况,预测可能出现的电力系统失稳或崩溃,并在暂态故障造成无可挽回的破坏之前通过适当的控制策略来进行突发事件控制。为了确保电力系统广域稳定控制系统能够正常运行,必须保证信息传输的时延小于 20 ms<sup>[6]</sup>。

电网控制中心的 SCADA 系统向变电站/电厂下发的控制命令、升降命令、继电保护设备的定值修改命令的传输是随机的,信息传输的周期较长,传输时间要求是秒级。

电力系统监视实时信息包括:系统动态行为实时信息、SCADA 周期性实时信息、SCADA 突发事件产生的信息。

电网发生扰动时,广域测量系统 WAMS (wide area measurement system) 利用相量测量单元 (PMU) 在变电站/发电厂采集得到的电气相量值,通过高速信息网络传输到系统控制中心,其传输时间要求小于 20 ms<sup>[6]</sup>。

电网控制中心为了监视变电站的正常运行,变电站需要周期性的传输各种测量值(例如母线电压、电流、有功功率、无功功率、零序电流、频率、功率因数、各次电压谐波、各次电流谐波值),信息传输周期为秒级,信息传输时间可以大于等于 1 s。

为了监视变电站的电气设备的安全运行所需要的信息,例如变压器、隔离开关、避雷器等的状态监视信息、变电站的防火、保安所需的运行信息。

在电网发生事故的情况下,需要快速响应的信息,例如事故时断路器的位置信息,这类信息要求传输的优先级最高,传输的时延最小。发生事件后,断路器信息到达控制中心的时间小于 2 s。

表 3 电网控制中心应用分类和信息流

Tab.3 Application classifications and information flows of power control center

| 分类     | 电力应用  | 传输信息内容  | 信息流                |
|--------|---|---|--------------------|
| 电力系统运行 | 调度电话  | 负荷调度、开关操作   | 所有站点               |
|        | 视频会议  | 音频、视频数据流  |                    |
|        | 会议电话  | 工作安排  | 控制中心之间             |
|        | 控制中心间的远程通信  | 测量信息、气象信息、运行状态、输电线路负荷、负荷/发电量报表  |                    |
|        | SCADA/EMS/ACC、广域测量系统(WAMS)、稳定控制系统、电压控制系统、紧急负荷系统、电量计费系统、故障管理系统、发电报价系统、远程仿真培训系统 | 遥测、遥信、遥控、遥调、负荷频率控制信息、电压控制信息、稳定控制信息、切负荷信息、同步相量测量信息、电量信息、保护监视信息、发电报价信息、音频、视频流 | 控制中心—大型发电厂/变电站     |
|        | SCADA   | 遥测、遥信、遥控、遥调、保护监视信息  | 控制中心—小型发电厂/无人值守变电站 |
|        | DAS/DMS   | 遥测、遥信、遥控、遥调   | 控制中心—配电变电站         |
| 设备管理   | 视频会议  | 音频、视频数据流  | 控制中心—企业            |
|        | 应用服务系统  | 系统实时运行状态  | 控制中心—发电厂/电力用户      |
|        | 行政电话  | 个人电话  | 所有站点               |
|        | 变电站远程图像监控   | 图像监控信息  | 控制中心—无人值守变电站       |
| 行政管理   | 网络管理系统  | 传输设备的信息   | 控制中心—变电站           |
|        | 资产管理系统、设备诊断/维护系统  | 设备维护、设备诊断信息   |                    |
| 行政管理   | 信息管理系统、办公自动化系统等   | 数据文件、文字、图像传真、电子邮件等  | 所有站点               |

在正常电网操作时所引起的开关量状态变化。例如操作断路器、隔离开关,自动装置和继电保护装置的投入和退出以及保护和自动装置的运行方式改变。

实时调度语音信息的目的是对有疑问的开关操作进行确认,开关操作指导和负荷调度。

### 2.1.2 电力系统维护、生产管理信息

除实时信息外,需要更详细的信息以支持在电力系统干扰中对所发生的事情进行描述,此类信息为准实时信息,它包括:设备维护诊断信息;资产管

理信息;电能量计量和结算信息;变电站远程图像监控信息;保护监视信息(例如当地事件顺序记录、保护动作信息、故障录波信息、电网扰动记录、电网振荡记录);教育和培训等信息。

变电站中的智能电子设备将设备诊断信息以声音、高质量静态图像和视频等形式传输到电力系统诊断中心。此时有大量的信息需要传输,传输时间可以大于 60 s。

电网发生故障后记录下来事件顺序记录、故障录波、扰动记录的信息,具有数据量大、传输时占

用网络的时间长等特点。并且这些信息主要供故障后的分析用,因此信息传输的优先级比较低,不需要立即传输。偶尔有超过 1 Mbytes 的数据文件需要传输,传输时间为秒级。

电网发生扰动时,WAMS 利用 PMU 将扰动数据以同步采样的方法采集下来,然后将这些故障发生时记录下来的带时标的扰动数据通过电力通信网络传输到电网控制中心的动态数据库中。

电能量计量和结算信息的传输周期较长(如为 5 min 或更长);变电站远程图像监控信息传输量较大,信息传输时间较小。

基于广域网的变电站远程仿真培训系统中教员和学员之间或者多个学员之间需要传输大量的实时视频、音频流,信息传输时间小于 1 s,通常采用不需要确认的 UDP 传输协议<sup>[7]</sup>。

## 2.2 控制中心间或控制中心与用户间信息传输

### 2.2.1 电网控制中心之间的信息传输

它的信息传输要求较宽松,需要传输的信息类型较多,可以是数据文件、文字、表格等,信息传输时间一般为 5 ~ 60 min<sup>[8]</sup>。另外,控制中心之间还需要通过调度电话进行开关操作指导以及电力负荷调度。

### 2.2.2 电网控制中心与企业/电力用户间的信息传输

控制中心与企业销售、采购以及会计部门的信息传输,中心与外部的联系以及与电力用户之间的联系。需要传输的信息包括:测量信息、气象信息、系统运行状态、输电线路负荷、电能交易合同的历史数据、电网运行报表、调度电话、行政电话、视频会议、传真、电子邮件等。

表 4 信息传输需求

Tab. 4 Requirements of information transmission

| 信息类型       | 传输时间     | 协议      |
|------------|----------|---------|
| 紧急稳定信号     | 20 ms    | UDP/ IP |
| 广域相量测量信息   | 20 ms    | TCP/ IP |
| AGC 控制信号   | 1 - 10 s | TCP/ IP |
| SCADA 监控信息 | 1 - 3 s  | TCP/ IP |
| 设备诊断信息     | 60 s     | TCP/ IP |
| 系统运行历史记录   | 60 s     | TCP/ IP |
| 电量信息       | 5 min    | TCP/ IP |
| 文本/ 报表     | 10 s     | TCP/ IP |
| 数据处理文件     | 5 min    | TCP/ IP |
| 程序文件       | 10 min   | TCP/ IP |
| 图像文件       | 60 s     | TCP/ IP |
| 视频和音频数据流   | 1 s      | UDP/ IP |
| IP 电话      | 150 ms   | TCP/ IP |

## 2.3 控制中心内的信息类型及传输时间需求

电网控制中心内的信息可以分为以下几类:紧急控制信号(暂态稳定、频率控制、电压控制)、广域相量测量信息、AGC 控制信号、SCADA 监控信息、生产管理信息(如设备诊断信息、系统运行历史记录、电量信息)、文本/ 报表信息、数据处理信息、程序文件、图像文件、音频和视频数据流等。以上各类信息对传输时间的要求差别较大,如表 4 所示。

## 3 电力系统信息对通信网络的要求

变电站和电网控制中心内的信息传输具有不同的优先级,其传输时间要求也不同,因此对通信网络也应有传输优先级的要求。为了确保在电力系统通信网络上信息传输的可靠性,对通信网络的传输的信息完整性有一定的要求,另外,对传输网络的紧急程度和安全性都有要求,具体如表 5 所示。

1) 优先级。通信网络应该能支持四个优先传输等级:保留、高、中、低。用户可以根据需要选择其中的任一等级。在相关通信协议的参考模型的应用层和传输层中,这些优先等级应该能够支持,低优先级的信息可以被高优先级的信息中断。

表 5 通信网络的要求

Tab. 5 Needs to communication network

| 信息类型          | 优先级 | 紧急程度 | 安全性 | 完整性 |
|---------------|-----|------|-----|-----|
| 保护信息,高速       | 高   | 中    | 高   | 高   |
| 紧急控制信息,高速     | 高   | 中    | 高   | 高   |
| 相量测量信息,高速     | 高   | 高    | 高   | 高   |
| SCADA 控制信息,中速 | 中   | 高    | 高   | 高   |
| SCADA 监视信息,中速 | 中   | 中    | 高   | 高   |
| 生产管理信息,低速     | 低   | 低    | 中   | 高   |
| 文本            | 低   | 低    | 中   | 中   |
| 数据处理文件        | 低   | 中    | 高   | 高   |
| 程序文件          | 低   | 高    | 高   | 高   |
| 图像文件          | 中   | 低    | 高   | 低   |
| 视频、音频流        | 低   | 低    | 低   | 低   |
| IP 电话         | 中   | 低    | 中   | 中   |

2) 紧急程度。通信网络需要支持三个信息传输紧急性等级:相当紧急、比较紧急、不紧急,电力网络应用可以根据需要选择相应的级别。相当紧急是指双方需要对信息传输的正确性进行确认,并且当信息传输失败时,立即自动重新传输;比较紧急只是记录信息传输失败原因,并不重传;不紧急是指可以接受信息传输失败,并且不需要采取任何行动。

3) 安全性。通信安全是指对偶然或故意进入非授权通信网络的行为具有的免疫能力,通信网络应该支持三个安全等级:高、中、低。高安全等级是指只有预先定义和通过了身份确认的用户才能接入网络;中级安全等级是指符合某个简单准则的用户可以进入网络;不安全是指对进入网络的用户没有任何限制。

4) 完整性。信息完整性是指对偶然或故意的干扰导致信息传输错误的免疫能力,其关键指标是残余差错概率。通信网络应该支持三个等级的免疫能力:高、中、低。高级数据完整性是指具有极小的信息传输输出错概率,中级数据完整性由于信息本身的冗余特性,可以容忍信息传输错误;低级数据完整性是指对信息传输错误造成的损失容易接受。

#### 4 结语

本文对电力系统信息需求分类、变电站和电网控制中心的信息类型及其传输时间需求以及对通信网络的要求等问题进行了较深入的研究,该研究将对电力系统远程通信设计和规划产生重要的指导参考作用,为网络环境下电力信息系统性能评估和仿真工作提供了一个比较详细的依据。当然其相关结论可能在不久的将来会发生变化,例如信息传输时间需求可能会更严格,由于电力市场环境下在新的地点建立输电系统的可能性较小,一般来说,电网公司希望通过现有电网传送更多电力,使得目前输电系统运行更接近稳定极限。这就要求有更先进的基于网络的电力系统控制系统,其信息传输时间的需求可能会更加苛刻。另外,宽带通信技术的应用,必将导致控制中心结构的变化,由于越来越多的工作可通过远程操作来完成,控制中心的数量将不断减少,因而电力信息系统对通信网络的要求将越来越高。

#### 参考文献:

- [1] Ericsson G. Communication Utilization in Power System Control: A State-of-the-practice Description [A]. IEEE Power Soc Summer Meeting. Berlin (Germany) :1997.
- [2] Ericsson G. Classification of Power System Communication Needs and Requirements: Experiences from Cases Studies at Swedish National Grid [J]. IEEE Trans on Power Systems, 2002, 17(2) : 345-348.
- [3] 辛耀中, 卢长燕 (XIN Yao-zhong, LU Chang-yan). 电力系统数据网络技术体制分析 (Analysis Data Network Technology Architecture for Power System) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2000, 24 (21) : 1-6 .
- [4] IEC 61850, Communication Networks and Systems in Substations[S].
- [5] IEEE TR P1525-2003, Draft IEEE Technical Report on Substation Integrated Protection, Control and Data Acquisition Communication Requirements[Z]. 2003.
- [6] 崔沅, 程林, 等 (CUI Yuan, CHENG Lin, et al). 应用ATM网络实现电力系统远程实时监控 (Implementation of Remote Real-time Supervisory Control with ATM Networks) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(14) : 50-54.
- [7] 杨丹, 吴斌, 等 (YANG Dan, WU Bin, et al). 基于广域网的变电站仿真系统 (A WAN-based Substation Simulation Systems) [J]. 电力系统自动化 (Automation of Electric Power Systems), 2002, 26(10) : 50-54.
- [8] Kato K, Dabbaghchi I, et al. Real-time Data Exchange for On-line Security Assessment [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1992, 7 (3) : 1322-1328.

收稿日期: 2004-03-08; 修回日期: 2004-05-25

作者简介:

辛建波(1970-),男,博士研究生,研究方向为电力信息网络控制理论; E-mail: mandyzhuhai@163.com

段献忠(1966-),男,教授,博士生导师,研究方向为电力系统分析、FACTS及信息技术在电力系统中的应用。

### A study of information requirements classification of power system and needs to communication network

XIN Jiann bo, DUAN Xianzhong

(School of Electrical and Electronic Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** With the development of power market open environment and the higher information requirement of electric utilities, the information requirement is sharply increased. In order to take advantage of fiberoptics communication, the information requirements of power system must be fully studied. In this paper, an approach of various information requirements classification is presented first according to electric utilities area, and then the information types and the time requirements of various information transmission in substation and control center are traversed respectively, finally the needs to communication network are introduced.

**Key words:** information requirements classification; transmission time requirement; communication network