

变电站自动化技术的未来发展(二)

——集成自动化、寿命周期成本

曾庆禹

(中国电力科学研究院, 北京 100085)

摘要: 讨论了变电站的高压设备智能化对其自动化的影响,介绍了变电站集成自动化系统的基本结构,分析了可靠性和经济效益,指出降低变电站寿命周期成本是发展高压和超高压变电站集成自动化系统最重要的推动力。

关键词: 变电站自动化; 保护; 控制; 集成; 可靠性; 寿命周期成本

中图分类号: TM 764

0 引言

文献[1]分析了电力市场对今后高压、超高压变电站自动化系统在功能、可靠性、经济性方面的新要求。随着高新技术的发展,不断开发出新的高压电气设备智能接口装置,对高压电气设备,特别是对高压开关设备进行监视和诊断,以提高变电站的运行可靠性。专用光纤通信技术的发展及其在变电站的应用,将在变电站内形成强大的数字高速公路,把各个智能装置连接起来,实现所有一次设备和二次设备信息在光纤信息网上交换^[2],形成高度集成的变电站自动化系统,将能进一步增加一次硬件设备的可用率和可靠性,降低整个变电站寿命周期成本(life cycle cost)。

1 高压设备技术与自动化

为简便起见,本文将变电站内所有的二次设备和技术都作为自动化系统的组成部分。这样,变电站自动化系统可分为 3 个层次,即过程级、间隔级和站级。变电站的集成自动化与常规相比,最重要的变化在过程级、间隔级和各级间的功能优化以及通信网络。在过程级主要是一次设备趋于智能化。

1.1 智能断路器

尽管基于 GTO 的无触点开关设备与有触点开关设备相比,对改善电网性能有无比优越性,但其价格昂贵,虽然已有样品在中、低压电网试用,但在高压、超高压领域应用将有长远的路程要走。因此,国际大电网组织(CIGRE)通过调查认为,在今后的一二十年内,SF₆ 断路器和 GIS 将继续是高压开关设备的最好型式^[3]。CIGRE 还对 SF₆ 断路器的可靠性

进行调查,结果表明在全部故障中,高压带电元件的故障占 21%,控制与辅助电路的故障占 29%,操作机构的故障占 43%,其他部件或元件的故障占 7%,说明 72%的故障是由开关设备的二次设备、机械缺陷引起的。为提高设备的可靠性和可用率,要发展新的二次技术。

高压断路器二次技术的发展趋势是用微机、电力电子技术和新型传感器建立新的断路器二次系统,开发新型智能断路器。其主要特点是:

a. 由微机控制、电力电子组成的执行单元,代替常规机械结构的辅助开关和辅助继电器。可按电压波形控制跳、合闸角度,精确控制跳、合闸过程的时间,减少暂态过电压幅值。

b. 开关设备的专用信息由装在开关设备内的微机直接处理,使开关装置能独立地执行其当地功能,而不依赖于变电站级的控制系统。

c. 新型传感器与微机相配合,独立采集运行数据,可早期检测设备缺陷和故障。

d. 连续自我检测和监视开关设备的一次和二次系统。在缺陷变为故障之前发出报警信号,以便采取措施,避免事故发生。

1.2 集成型智能开关设备

考虑 GIS 的运行经验,近来正在开发一种用于户外空气绝缘变电站的集成型智能开关设备。这种设备可完成变电站一个间隔内的所有功能,包括三相断路器、隔离开关和出线接地开关以及集成型电压电流转换器等。90 年代以来,普通的智能断路器以及一种插入式开关设备(PASS),已在德国、瑞典、法国等 110 kV 变电站投入试运行,取得了较好的运行经验。国外正在开发研究 500 kV 集成型智能开关设备。

1.3 数字光电压和光电流转换器

目前使用的常规电压互感器(TV)和电流互感器(TA)以电磁感应原理构成,输出分别为 100 V/110 V 和 5 A/1 A 模拟量。若用于数字装置,还需要进一步降低电压和电流值。

为了适应现代控制、保护、测量的要求,电压和电流互感器的发展趋势是:减少电压、电流变换次数,直接将高电压和大电流一次变换成微机装置所需要的数字输入信号或更弱的模拟输入量。这种新型电压、电流转换器可以由不同的原理构成。最具发展前途的将是:①以磁-光转换原理,即法拉第原理构成的数字光电流转换器(DOCT);②以电-光转换原理,如普克尔斯原理构成的数字光电压转换器(DOVT)。

DOCT 和 DOVT 的主要特点是体积小、不存在磁饱和问题、线性较好、可靠性高、能抗电磁干扰,并且能集成到一次设备中,因而可显著节省空间,降低制造成本。

从 90 年代以来,光电流和光电压转换器在荷兰、法国、德国等高压变电站投入试运行,并做了一系列对比试验,结果表明:其测量精度、性能等可与现在 TV 和 TA 相比拟。

1.4 智能电子装置

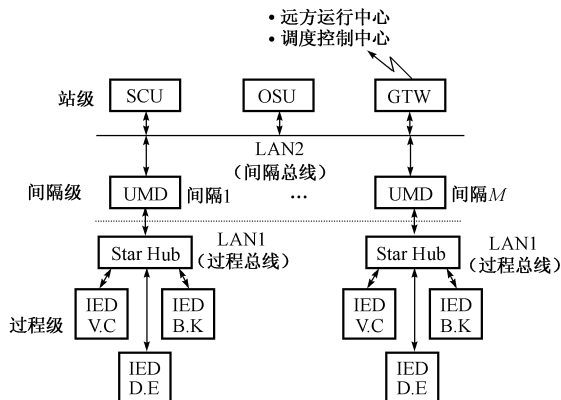
智能电子装置(IED)是一种将一次设备与二次系统连接起来的新型智能接口装置,可组合到一次设备中。其功能主要是:数据、信息采集的准备,控制信息输入,数据传输协议转换。它与光纤通信、先进的二次系统技术相结合将成为先进的变电站监视、控制和保护的基础。在具有这种智能电子装置的自动化系统中,目前所采用的电线连接将由高速光纤传输所代替,继电保护装置的出口辅助继电器和其他控制逻辑继电器都将由可编程逻辑控制功能模块所代替。

2 集成型自动化系统

所谓集成型自动化系统是将间隔的控制、保护、故障录波、事件记录和运行支持系统的数据处理等功能集成在一个统一的多功能数字装置内,间隔内部和间隔间以及间隔同站级间的通信用少量的光纤总线实现,取消传统的硬线连接(参见图 1)。

2.1 统一多功能装置

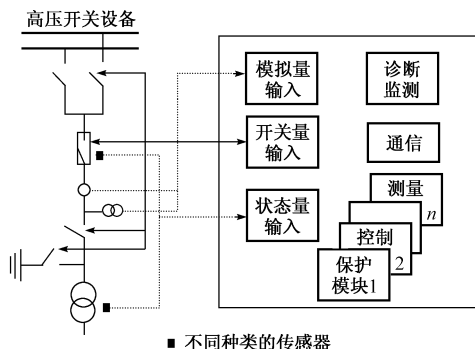
集成自动化系统相对于常规的自动化和协调型自动化系统来说,最大的变化在于间隔级构造了一个统一多功能装置。它将模块设计原理应用于装置的硬、软件设计,在一个统一的通用硬、软件平台上实现控制、保护等功能。统一多功能装置的基本功能结构如图 2 所示。



IED V.C 电压、电流互感器智能电子装置; IED B.K 断路器智能电子装置
IED D.E 隔离和接地开关智能电子装置; Star Hub 星形耦合器
LAN1 光纤局域网(过程总线); UMD 间隔统一多功能装置
LAN2 光纤局域网(间隔总线); SCU 站控单元
OSU 站运行支持单元; GTW 通信控制器

图 1 集成系统基本结构

Fig. 1 The basic structure of integrated system



■ 不同类型的传感器

图 2 多功能装置结构示意图

Fig. 2 Platform structure

统一多功能装置由几种不同类别的插入式硬件模块和在其内运行的软件模块组成。各模块之间用标准的总线连接。间隔级的各种功能由装在 CPU 中的软件模块所决定。装置内建立统一的数据库。各功能需要的数据和信息可从数据库直接得到,可实现数据共享,简化数据采集和变换。控制和保护等数字运算和逻辑运算可以分别由多个 CPU,也可以由单个 CPU 进行处理,这决定于要求集成的数量和功能集成度,一次和二次设备的状况,装置的寿命周期成本要求和运行人员的经验、工作习惯。硬件和软件模块在设计时要进行优化。优化的目标可以是:功能组合的灵活性好,功能的扩充性好,可靠性高,安装和调试简化,寿命周期成本最小。

间隔级集成数量和功能集成度应考虑的原则是:凡间隔级能执行的功能不应由站级来执行;凡是过程级能执行的决不由间隔级来处理。

对于常规的控制、保护来说,每增加一个新功

能,需要增加新的硬件装置和新的工程费用。因此,常规的控制、保护成本随功能的增多而增加。而对于集成的控制、保护来说,新的功能增加,仅仅需要增加一个新的软件模块,而无需增加新的硬件。因此,集成的控制、保护的成成本随功能的增多,几乎没有什么变化。

2.2 过程总线

过程总线是用于开关现场 IED 和统一多功能装置之间,以及 IED 相互之间的通信。保护和故障录波集成在统一多功能装置中,要求交流采样频率在千赫级,数据传送速度在 10 Mbit/s 以上。由于分布式的数据采集,控制和状态维修所需信息的增加,统一多功能装置与一次设备间的通信连接增加。据估计,对于一个半开关的接线方式,一个间隔内大约有 3 600 个信息连接。

光纤通信总线具有频带宽(100 MHz ~ 1 GHz)、传输速度快、能实现紧急数据传输的特点,可为集成自动化的实现提供安全、可靠的通信工具。除了技术优势外,它的价格水平正在下降。据悉,单芯塑胶光缆的价格已接近双绞线的水平,并有进一步降低的可能性。选择合适的总线结构,制定过程总线标准是先决条件^[4]。

3 可靠性

为了确保集成型自动化系统可靠性高于常规自动化系统,在其硬件和软件设计时应特别关注以下几个问题^[5]。

3.1 冗余度

在集成自动化系统中,为了提高主要功能的可靠性和可用率,必须利用冗余技术。它的应用可分为以下 3 个方面:

- a. 涉及随机事件,如装置缺陷的冗余;
- b. 在继电保护方面,利用不同原理的冗余;
- c. 适用于计划停运,如维修、软件变换的冗余。

间隔统一多功能装置集成了较多的功能,在设计时应按各功能响应时间要求进行分类,并确定优先级别。显然,继电保护、紧急控制等与保护相关的功能,需要响应速度快,处于最优先级别,决不能被非保护功能所闭锁。测量变量的计算、故障录波、事件记录,虽然与保护过程同时发生,但可以延时或闭锁,决不允许闭锁与保护相关的功能。为正常监视、控制所传输的数据也可以延时或闭锁,但决不允许闭锁与保护相关的功能。正常运行控制功能故障时不应该闭锁保护功能。系统的自我诊断和监视功能出现故障也不允许闭锁保护功能。

超高压线路主保护等应有不同动作原理的双重保护模块,2 个保护功能不允许同时失去。在没有双重保护的情况下,对于重要的保护功能应有备用的报警功能,使单一保护始终处于监视之下,不失去其功能。对于有特殊需要的变电站,也可考虑每个间隔装 2 套统一多功能装置,实现全冗余的保护与控制。这样,可靠性虽极大提高,但成本也增加了,在一般情况下,不应推荐这种方案。

3.2 自我诊断和监视

常规的继电保护功能需要人工定期校验。保护装置在两个校验间隔时间内的可用状态是未知的或随机的,在两次校验之间出现故障,只有功能失效或下一次校验才能发现。如果这期间电力系统发生故障,保护将不动作。因此,具有自诊断和监视功能的变电站集成自动化系统有比常规系统更高的可靠性和可用率^[6]。为达到高的可靠性和可用率,过程级、间隔级和站级 3 个层次应有完善的自我诊断和监视功能,并且其覆盖率应达到 80% 以上。其主要要求是:

a. 连续对开关设备的操作系统、跳闸电路进行自检;配置新型传感器监视一次设备状况,及时发现开关设备的一次和二次系统故障隐患并报警。

b. 站级系统和间隔统一多功能装置配备自我诊断和监视功能,连续在线检测可能导致不正确动作的缺陷,并报警。

c. 站控系统周期查询间隔级和过程级的自检功能,以确认自我诊断和监视功能是否正常和保护功能的可用性。

3.3 维修与软件升级

集成型自动化系统的维修和试验可能会更复杂。因此,在软件设计时,应做到功能模块化,每个功能或模块必须能全部在线测试;在系统内提供允许在线试验的功能和设备。

在系统调试或在系统运行时经常需要进行应用软件的升级或修改,如增加新功能,现有功能的校核等。因此,要开发在线修改技术,要在集成型自动化系统,特别是间隔级统一多功能装置建立双数据库,一个用于运行,另一个用于自由修改和校验。

4 经济效益

推动变电站向集成型自动化发展的最主要因素是降低整个变电站寿命周期成本。

4.1 寿命周期成本

变电站的寿命周期成本指变电站整个经济寿命周期内所支付的总费用,它包括一次投资、运行和维

修费以及故障引起中断供电的损失。寿命周期成本(L_{CC})的表达式如下:

$$L_{CC} = I_C + O_C + M_C + F_C \quad (1)$$

其中 I_C 为一次投资成本,包括购买设备和安装调试费; O_C, M_C, F_C 分别是变电站系统调试后算起,整个经济运行期间所支付的运行成本、维修成本和故障引起中断供电的损失成本。中断供电的损失成本是变电站可靠性、可用率的经济描述。

变电站自动化系统的设计目标应是优化各项成本,使自动化系统的寿命周期成本最小,同时对整个变电站寿命周期成本的降低贡献最大。集成型自动化系统正是根据上述设计原则构成的既有高可靠性又有高经济性的自动化系统。

集成型自动化系统可大大减少二次设备和电缆的数量。装置内部采用插入式硬件和软件功能模块设计,它们与一次设备的连接采用智能电子装置(IED)和星形光纤局域网。这样,系统的调试工作绝大部分可在制造厂内进行,而不在现场,从而缩短建设时间。这些将导致自动化系统一次投资成本和调试时间明显低于常规系统。功能集成度越高,一次投资成本降低越多。

集成型自动化系统可实现整个系统的实时自我诊断和监视,及时发现硬件和软件可能导致功能失灵的缺陷,及时报警和修理。采用双数据库等技术以及插入式硬件和软件功能模块设计,可实现在线快速维修。这样,不仅可提高可靠性,减少故障和维修停电损失,而且明显减少运行和维修成本。

4.2 经济效益

变电站自动化的经济效益反映在整个变电站寿命周期成本的减少和送电能力提高而产生的经济效益。自动化产生的经济效益(E_B)可表示为:

$$E_B = \Delta L_{CC} + \Delta PI_{CU} \quad (2)$$

$$\Delta I_{CC} = \Delta I_C + \Delta O_C + \Delta M_C + \Delta F_C \quad (3)$$

式中 ΔP 为因实现自动化而提高的送电能力; I_{CU} 为单位千瓦电能的一次投资; ΔL_{CC} 为因自动化而产生的寿命周期成本减少值。

它可以改写为如下公式:

$$\Delta L_{CC} = \Delta I_C + \sum_{i=0}^n (\Delta o_{ci} + \Delta m_{ci} + \Delta f_{ci}) \left(\frac{1}{1+r} \right)^i \quad (4)$$

式中 $\Delta o_{ci}, \Delta m_{ci}, \Delta f_{ci}$ 分别为变电站调试后第 i 年的运行、维修和中断供电损失成本的差值; r 为现值折现率; n 为经济寿命(年)。

如果自动化系统的寿命周期成本(L_{CCA})满足下式:

$$L_{CCA} < \Delta L_{CC} + \Delta PI_{CU} \quad (5)$$

则可以说,产生了正的经济效益,否则产生负的经济效益。

集成自动化可期望产生更大的正的经济效益。采用智能开关装置,可取消常规断路器必备的合闸电阻。合闸电阻的价格相当于单个断路器。光-电流、光-电压转换器体积小,成本低,可帮助减少一次设备投资。统一多功能装置体积小,容易安装在紧靠一次设备现场,节省空间,大大减少土建投资成本。星形结构光纤局域网作为通信系统,可减少可观的电缆和光缆。这些将明显降低变电站的一次投资成本。

一次设备以预期维修和可靠性为中心,将避免不必要的维修,延长设备寿命,减少维护工作量和维修成本。对一次设备,特别是对线路、变压器的送电能力的实时监视,可提高其输电能力,推迟一次设备的替换和扩建,同样产生重要的经济效益。

一次设备和整个自动化系统的自我诊断和监视,可明显提高变电站及相关电网的可靠性,从而减少因系统故障造成的中断供电损失成本。

集成自动化可为运行和维护提供综合、有效的信息,更容易实现远方维修和远方运行控制,实现变电站无人值班。这样,可显著减少运行成本。

总之,通过全集成自动化、变电站紧凑布置和一次设备的集成,变电站的一次投资可减少 20% 以上,寿命周期成本可降低 25% 以上,户外空气绝缘变电站的占地面积可减少 30% 以上。

5 结论和建议

为了获得最大的效益,变电站的监视、保护、控制、量测和通信等功能必须集成到一个系统中去,即形成集成型自动化系统。

集成型自动化系统严格遵守硬件特别是软件设计原则,充分发挥微机自检的特有功能,建立完善的综合自我诊断和监视、报警系统,能确保与继电保护相关的功能优先动作,做到整个系统的高可靠性和高可用率。

降低高压、超高压变电站的寿命周期成本是研制和推广变电站集成型自动化系统的最重要的推动力。按照降低变电站寿命周期成本的要求出发,电力应用部门和研制部门的专家应就集成自动化系统的共性问题,如一次和二次设备接口、多用途的光纤通信、与变电站设计相关的问题等进行深入研究,促进集成型变电站自动化系统迅速发展。

参 考 文 献

- 1 曾庆禹(Zeng Qingyu). 变电站自动化技术的未来发展(一)——电力市场、协调型自动化(The Development of Substation Automation in the Near Future; Part one Deregulated Power Market and Coordination Automation). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 2000, 24(18)
- 2 Jonsson L R. The New Paradigm in Station Automation. In: CIGRE Session. Paris: 1998. 34~105
- 3 Ress V, Tippmann M. Innovative Switching Devices for Medium and High Voltage Networks Application of Sensor-Technology, Field-And Service Experiences. In:

CIGRE Session. Paris: 1998. 13~113

- 4 Winmmer W. Fundamental Consideration on User-Configurable Multifunctional Numerical Protection. In: CIGRE Session. Paris: 1996. 34~202
- 5 Chuck Newton. Protocol Choices for the Substation. Transmission & Distribution World, 2000
- 6 The Future Substation: a Reflective Approach. In: CIGRE SC23 Session. Paris: 1996. 23~207

曾庆禹,男,咨询委员,教授级高级工程师,主要从事电力系统运行与控制、电网互联、变电站自动化、电力市场等方面的研究。

THE DEVELOPMENT OF SUBSTATION AUTOMATION IN THE NEAR FUTURE

Part Two Integrated Automation. Life Cycle Costs

Zeng Qingyu

(Electric Power Research Institute, Beijing 100085, China)

Abstract: The influence of intelligent HV equipment on the substation automation is discussed. The basic configuration of integrated automation system for high voltage (HV) and extra-high voltage (EHV) substations is proposed, and its reliability and economy are also analyzed. It is pointed out that the dominant driving force in developing the integrated automation for HV and EHV substations is to reduce the life cycle costs of substation.

Keywords: substation automation; protective relaying; control; integration; reliability; life cycle cost