



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

农网变电运行 与维护

焦日升 焦俊驰 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



全国电力职业教育规划教材
职业教育电力技术类专业培训用书

农网变电运行 与维护

焦日升 焦俊驰 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为全国电力职业教育规划教材。

全书主要以 35、66 kV 的农网典型设计接线的变电站为模型,按照国家电网公司对农网变电运维岗位的有关规定和标准,按“目标驱动”的模式编写,直入主题。本书通过对农网变电运维岗位人员应重点掌握的智能变电站、变电站设备维护、变电站倒闸操作、变电站异常及事故处理四个方面的知识进行了翔实的分析和阐述,旨在提高农网变电运维岗位人员的技能水平,提升岗位能力。

本书主要作为电气运行人员与维护人员技能鉴定和提升岗位能力的专业培训用书,也可作为电力行业院校电力技术类及相关专业的教学用书。

图书在版编目(CIP)数据

农网变电运行与维护/焦日升,焦俊驰编著. —北京:中国电力出版社,2014.12

全国电力职业教育规划教材

ISBN 978-7-5123-6792-0

I. ①农… II. ①焦… ②焦… III. ①农村配电—变电所—电力系统运行—职业教育—教材 ②农村配电—变电所—电气设备—维修—职业教育—教材 IV. ①TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 272399 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 12 月第一版 2014 年 12 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 32 印张 784 千字

定价 80.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

本书编审委员会

主 任	刘玉春				
副 主 任	薛 凯				
委 员	李 欣	王秋波	徐宝库	徐志恒	
	甘言理	刘立强	于万祥	孙兴城	
	贾建夫	孙建民	高 伟	李 默	
	李井阳	李 森	李鸿博	李 刚	
	王大亮				
主 审	薛 凯				
副 主 审	李 欣	李宏伟	姜一涛		

前言

本书是根据国家电网公司“三集五大”体系建设要求和国家电网公司企业标准 Q/GDW 232—2008《国家电网公司生产技能人员职业能力培训规范》变电运行岗位相应知识及技能规定标准编写的一本变电运维岗位技能培训教材。在编写过程中得到了全国各网省电力公司有关专家、生产技术人员的大力支持与帮助。

本书从农网变电站的实际工作出发，通过对智能变电站、变电站设备维护、变电站倒闸操作、变电站异常及事故处理四个方面的知识进行了翔实的分析和阐述。本书解决了农网变电运维岗位人员急需有针对性的专用培训、技能鉴定教材的问题。通过“目标驱动”模式培训，可提高农网变电运维岗位人员的技能水平及胜任新型岗位的能力。

能够在相对最短的时间内，采用最为有效的培训模式使被培训者掌握必要的技术技能，是职业培训工作者一直探索的问题。编者通过多年的教学实践和调研发现，“目标驱动”模式培训受到了广大电力行业从业人员的广泛认同，并取得了良好的培训效果。

“目标驱动”的核心，在于要能够十分准确地对“是否达到了目标”进行判定。“达到了我们所期待的培训目标”是检验培训最终效果的“试金石”。

本书的特点：

- (1) 知识先进、理论联系实际，具有实用性和通用性的特点。
- (2) 图文并茂、内容丰富，具有可操作性强和适用广泛的特点。
- (3) 将所需知识、原理及相关规程、规定应用于不同的“目标驱动”之中，引导被培训者通过“目标驱动”培训模式直入主题，掌握和应用相关知识。
- (4) 可用于实际工作指导和培训，也可配合变电运维仿真系统进行自学和培训。

通过教学培训实践证明：本书对变电运维专业从业人员技术、技能水平的迅速提高起到了很大的促进作用，具有较强的专业指导意义，得到了现场员工的广泛认可，认知度较高。

本书第一章由焦日升、焦俊驰编著，第二章～第四章由焦日升编著。

对本书中所引用的专业书籍、论文及设备装置说明书的相关作者和有关设备制造厂家致以衷心的感谢！

焦日升技能大师工作室

2014年12月

目 录

前言

第一章 智能变电站	1
第一节 智能变电站简介	1
【模块一】智能变电站认知	1
【模块二】智能变电站数据传输与监控	11
第二节 智能变电站应用	17
【模块一】智能变电站术语及告警信息	17
【模块二】智能变电站应用功能	21
第二章 变电站设备维护	31
第一节 变电站设备检修分类及管理	31
【模块一】变电站设备检修分类	31
【模块二】变电站设备基建、验收及启动阶段的管理	34
第二节 变电站设备巡视	36
【模块一】变电站设备巡视相关知识及要求	37
【模块二】变电站设备巡视检查	43
第三节 仪器、仪表的使用	60
【模块一】万用表的使用	61
【模块二】钳形电流表的使用	66
【模块三】绝缘电阻表的使用	67
【模块四】接地电阻测试仪的使用	70
【模块五】SF ₆ 气体检测	73
【模块六】红外热成像检测	76
【模块七】超声波检测	79
【模块八】介损(tan δ)测试	81
【模块九】超高频和超声波局放检测	84
第四节 变电设备验收	89
【模块一】变电站设备验收相关知识及要求	89
【模块二】变电站设备安装及大修验收	92
【模块三】变电站设备小修验收	105
【模块四】智能变电站验收	113
第三章 变电站倒闸操作	119
第一节 倒闸操作票填写注意事项及有关规定	119
第二节 线路及高压开关类设备操作	129

【模块一】线路及高压开关类设备停电操作	129
【模块二】线路及高压开关类设备送电操作	145
第三节 补偿设备操作	165
【模块一】低压电容器、电抗器停电操作	165
【模块二】低压电容器、电抗器送电操作	167
第四节 站用电、消弧线圈操作	171
【模块一】消弧线圈停电操作	172
【模块二】消弧线圈送电操作	173
【模块三】站用变压器停电操作	174
【模块四】站用变压器送电操作	179
第五节 有载（或无载）调压开关操作	191
【模块一】主变压器、消弧线圈有载调压开关操作	191
【模块二】变压器无载调压开关操作	193
第六节 备用、运行设备切换操作	200
第七节 电压互感器、避雷器操作	215
【模块一】电压互感器、避雷器停电操作	215
【模块二】电压互感器、避雷器送电操作	225
第八节 母线操作	234
【模块一】母线停电操作	234
【模块二】母线送电操作	240
第九节 主变压器操作	255
【模块一】主变压器停电操作	255
【模块二】主变压器送电操作	262
第四章 变电站异常及事故处理	272
第一节 变电站异常分析及处理	272
【模块一】隔离开关异常分析及处理	272
【模块二】断路器及 GIS 设备异常分析及处理	292
【模块三】电流互感器异常分析及处理	313
【模块四】电压互感器异常分析及处理	320
【模块五】避雷器异常分析及处理	332
【模块六】消弧线圈异常分析及处理	339
【模块七】电容器、电抗器异常分析及处理	351
【模块八】母线异常分析及处理	360
【模块九】电力电缆异常分析及处理	372
【模块十】变压器异常分析及处理	377
【模块十一】二次设备异常分析及处理	396
【模块十二】站用直流异常分析及处理	411
【模块十三】站用交流异常分析及处理	419
【模块十四】小电流接地系统异常分析及处理	422

第二节 变电站事故分析及处理	434
【模块一】事故处理原则及步骤	435
【模块二】线路事故分析及处理	436
【模块三】变压器事故分析及处理	452
【模块四】母线事故分析及处理	467
【模块五】断路器拒动事故分析及处理	478
【模块六】二次设备故障分析及处理	488
参考文献	501

智能变电站

第一节 智能变电站简介



培训目标

- (1) 掌握智能变电站体系结构和网络结构。
- (2) 了解智能变电站智能设备功能、特点及状态监测。
- (3) 了解智能变电站传输信息内容及特点。
- (4) 了解智能变电站监控系统的主要功能。

【模块一】 智能变电站认知

一、智能变电站与常规变电站

变电站是电力网络的节点，它连接线路，输送电能，担负着变换电压等级、汇集电流、分配电能、控制电流流向、调整电压等功能。变电站的智能化运行是实现智能电网的基础环节之一。

智能变电站采用先进、可靠、集成、环保的智能设备，以全站信息数字化、通信平台网络化，信息共享标准化为基本要求，不仅能自动完成信息采集、测量、控制、保护、计量和监测等常规功能，还能在线监测站内设备的运行状态，智能评估设备的检修周期，从而完成设备资产的全寿命周期管理。同时具备支持电网实时自动控制、智能调节、在线分析决策、协同互动等高级应用功能。

如图 1-1、图 1-2 所示，智能变电站能够完成比常规变电站范围更宽、层次更深、结

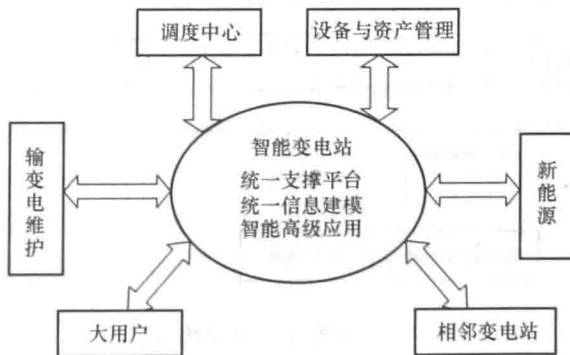


图 1-1 智能变电站概念示意图

构更为复杂的信息采集和信息处理,变电站内、站与调度、站与站之间、站与大用户和分布式能源的互动能力更强,信息的交换和融合更为方便快捷,控制手段更为灵活可靠。与常规变电站相比,智能变电站设备具有信息数字化、功能集成化、结构紧凑化、状态可视化等主要技术特征,符合易扩展、易升级、易改造、易维护的工业化应用要求。

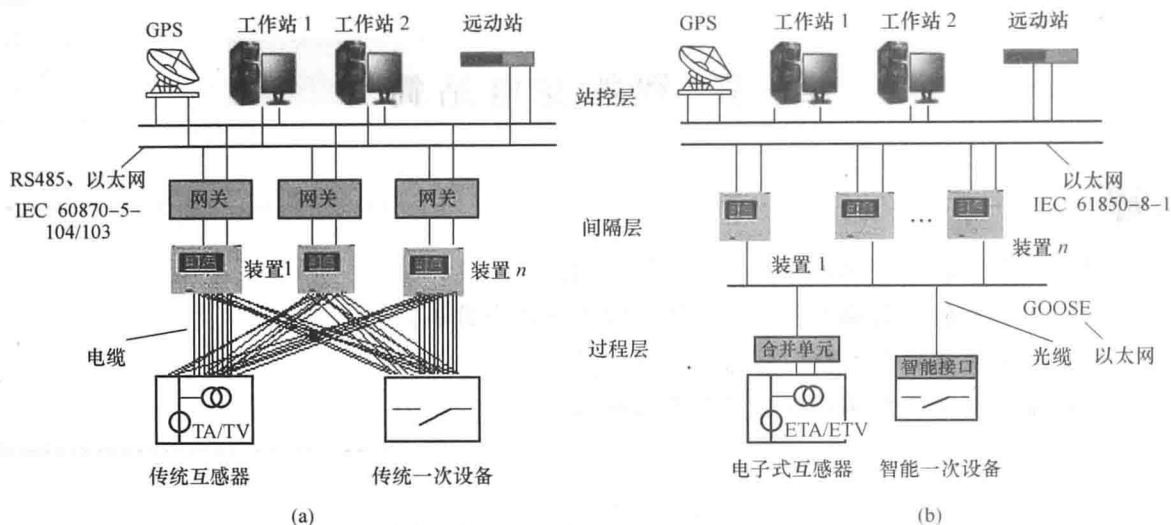


图 1-2 智能变电站与常规变电站结构对比图

(a) 传统变电站结构图; (b) 智能变电站结构图

二、智能变电站系统结构

如图 1-3 所示,智能变电站系统结构从逻辑上可以划分为三层,分别是站控层、间隔层和过程层。

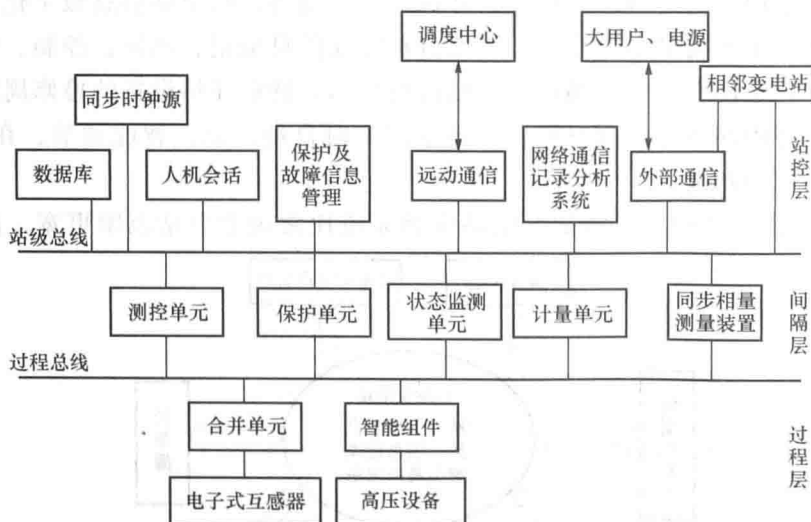


图 1-3 智能变电站系统结构

(1) 站控层。站控层包含自动化站级监视控制系统、站预控制、通信系统、对时系统等子系统,实现面向全站设备的监视、控制、告警及信息交互功能,完成数据采集和监视控制

(SCADA)、操作闭锁以及同步向量采集、电能量采集、保护信息管理等相关功能。

站控层功能高度集成,可在计算机或嵌入式装置中实现,也可分布在多台计算机或嵌入式装置中实现。

(2) 间隔层。间隔层设备一般指继电保护装置、系统测控装置、监视功能组的主智能电子装置等二次设备,实现使用一个间隔数据并且作用于该间隔一次设备的功能,即与各种远方输入/输出、传感器和控制器通信。

(3) 过程层。过程层包括变压器、断路器、隔离开关、电流/电压互感器等一次设备及其所属的智能组件以及独立的智能电子装置。

三、智能变电站网络结构和作用

1. 网络结构

变电站网络在逻辑上由站控层网络、间隔层网络、过程层网络组成。

站控层网络是指间隔层设备和站控层设备之间的网络,实现站控层内部以及站控层与间隔层之间的数据传输。

间隔层网络是指用于间隔层设备之间的通信,与站控层网络相连。

过程层网络是指间隔层设备和过程层设备之间的网络,实现间隔层设备与过程层设备之间的数据传输。

全站的通信网络应采用高速工业以太网组成,传输带宽应大于或等于 100Mb/s,部分中心交换机之间的连接宜采用 1000Mb/s 数据端口互联。

以 110kV 及以下变电站网络结构为例,其变电站自动化系统可采用三层设备两层网络结构,也可采用三层设备一层网络结构。

(1) 110kV 及以下变电站站控层网络。

- 1) 网络结构拓扑宜采用单星型。
- 2) 站控层网络采用 100Mb/s 或更高速度的工业以太网。
- 3) 站控层网络可传输 MMS 报文和 GOOSE 报文。
- 4) 站控层交换机连接数据通信网关机、监控主机、综合应用服务器、数据服务器等设备。

(2) 110kV 及以下变电站间隔层网络。

- 1) 间隔层网络连接站控层网络,采用星型结构。
- 2) 间隔层网络采用 100Mb/s 或更高速度的工业以太网。
- 3) 间隔层交换机连接间隔内的保护、测控和其他智能电子设备,用于间隔内信息交换。
- 4) 宜通过划分虚拟局域网(VLAN)将网络分隔成不同的逻辑网段。

(3) 110kV 及以下变电站过程层网络。

过程层网络是间隔层设备和过程层设备之间的网络,实现间隔层设备与过程层设备之间的数据传输。全站的通信网络应采用高速工业以太网组成,传输带宽应大于或等于 100Mb/s,部分中心交换机之间的连接宜采用 1000Mb/s 数据端口互联。过程层网络包括 GOOSE 网和 SV 网,分别要求:

1) GOOSE 网。

a. 采用 100Mb/s 或更高速度的工业以太网。

b. 用于间隔层和过程层设备之间的数据交换。

c. 过程层 GOOSE 报文应采用网络方式传输, 网络结构拓扑宜采用星型。

d. 110(66)kV 宜配置双网。35kV 及以下若采用户内开关柜保护测控下放布置时, 宜不设置独立的 GOOSE 网络, GOOSE 报文可通过站控层网络传输。若采用户外敞开式配电装置保护测控集中布置时, 可设置独立的 GOOSE 网络。主变压器各侧宜配置双网。

e. 保护装置与本间隔的智能终端设备之间采用点对点通信方式。

f. GOOSE 网络宜多间隔共用交换机。

2) SV 网 (过程层采样值网络)。

a. 宜采用网络方式传输, 通信协议宜采用 DL/T 860.92 或 IEC 61850-9-2 标准。采用 100Mb/s 或更高速度的工业以太网。

b. 用于间隔层和过程层设备之间的采样值传输。

c. 对于网络方式, 网络结构拓扑宜采用星型, 宜按照双网配置。

d. 保护装置以点对点方式接入 SV 数据。35kV 及以下若采用户内开关柜保护测控下放布置时, 可采用点对点连接方式。若采用户外敞开式配电装置保护测控集中布置时, 可采用点对点或网络连接方式。

e. 采样值网络宜多间隔共用交换机。

2. 网络作用

通过智能变电站站控层网络、过程层网络物理联系, 逻辑上实现了智能变电站三个层次的应用功能: 数据采集和统一存储、数据消息总线和统一访问接口、五类应用功能 (运行监视、操作与控制、信息综合分析与智能告警、运行管理、辅助应用)。

四、智能设备

1. 智能组件

对一次设备进行测量、控制、保护、计量、检测等一个或多个二次设备的集合。安装于宿主旁, 承担与宿主设备相关测量、控制和监控等功能。智能组件还可集成相关继电保护功能, 智能组件内部及外部均支持网络通信。智能组件的结构与通信示意图如图 1-4 所示。

2. 智能高压设备

一次设备与其智能组件的有机结合体, 两者共同组成一台 (套) 完整的智能设备。具有测量数字化、控制网络化、状态可视化、功能一体化和信息互动化特征的高压设备, 如图 1-5 所示。

(1) 智能变压器: 变压器本体, 内置或外置于变压器本体的传感器和控制器, 实现对变压器测量、控制、计量、监测和保护的智能组件。

(2) 断路器和组合电器: 对于敞开式开关设备, 一个智能组件隶属于一个断路器间隔, 包括断路器及与其相关的隔离开关、接地开关、快速接地开关等。对于高压组合电器设备, 还包括相关的电流电压互感器。

(3) 智能断路器: 具有较高性能的开关设备和控制设备, 配有电子设备、传感器和执行器, 不仅具有开关设备的基本功能, 还具有附加功能, 尤其在监测和诊断方面。其主要功能是: 实现重合闸的智能操作。分合闸相角控制, 实现断路器选项合闸和同步判断。

断路器和组合电器的智能化主要包括测量、控制、计量、状态监测和保护。

3. 电子式互感器

电子式互感器由连接到传输系统和二次转换器的一个或多个电流或电压传感器组成, 用

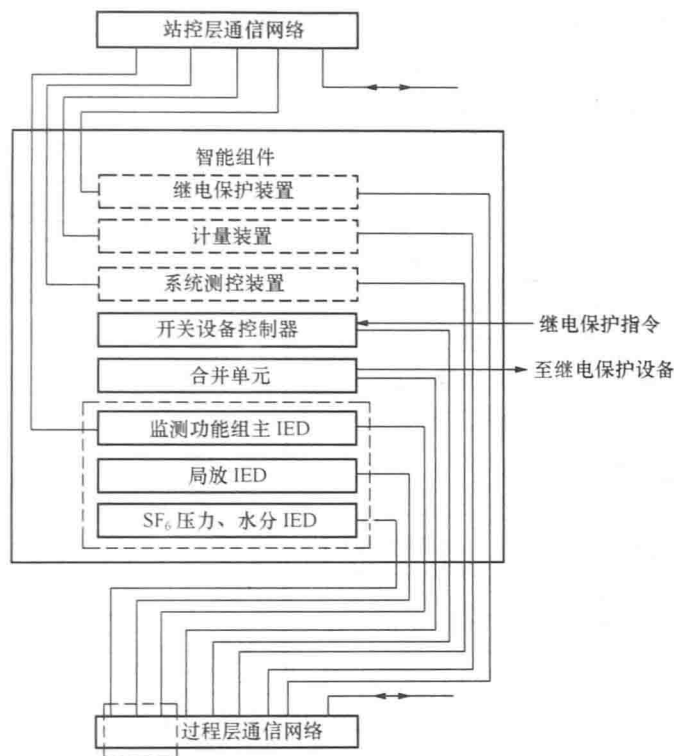


图 1-4 智能组件的结构与通信示意图

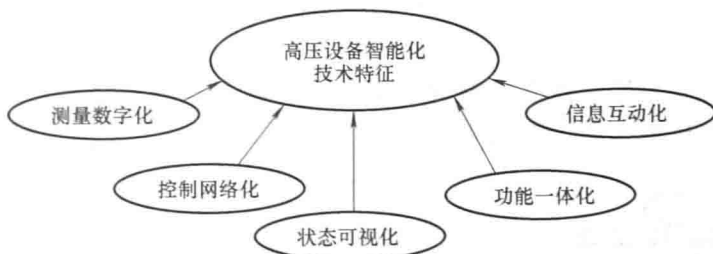


图 1-5 高压设备智能化技术特征

于传输正比于被测量的量，供测量仪器、仪表和继电保护或控制装置。

(1) 电子式互感器的通用结构如图 1-6 所示，P1、P2 是一次输入端，S1、S2 是电压模拟量的二次输出端，数字输出与过程层的合并单元对接。

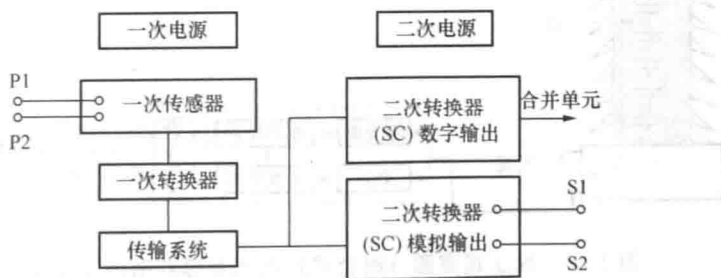


图 1-6 电子式互感器的通用结构

(2) 电子式互感器的分类如图 1-7 所示。按一次传感部分是否需要供电划分为有源式电子互感器和无源式电子互感器。按应用场合划分为 GIS 结构的电子互感器、AIS 结构（独立式）电子互感器、直流用电子式互感器。

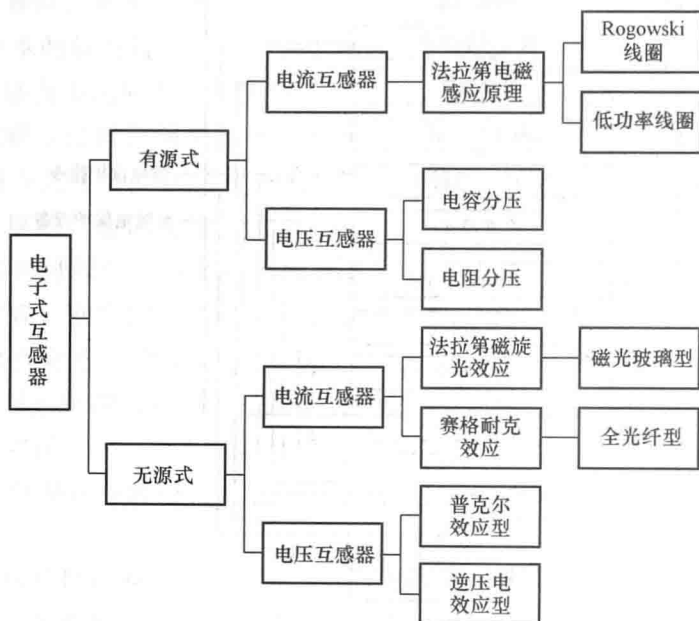


图 1-7 电子式互感器的分类

(3) 有源电子式互感器。独立式有源（组合式）电子互感器结构及工作原理如图 1-8 所示，有源电子式互感器具备以下几个特点：

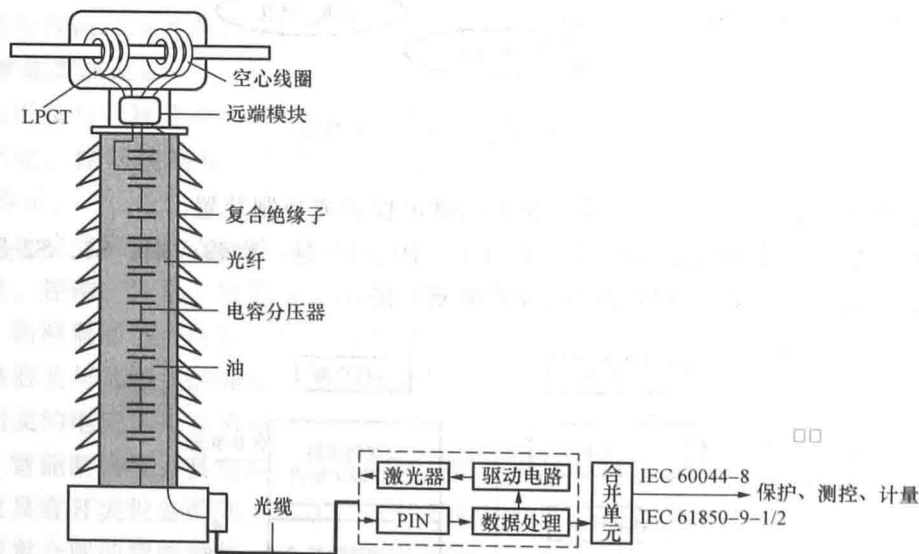


图 1-8 独立式有源（组合式）电子互感器结构及工作原理

1) 利用电磁感应等原理感应被测信号。

TA: 空心线圈 (RC); 低功率线圈 (LPCT)。

TV: 分压原理: 电容、电感、电阻。

2) 传感头部分具有需用电源的电子电路。

3) 利用光纤传输数字信号。

4) 独立式、GIS 式。

(4) 无源电子互感器。无源电子互感器结构及工作原理如图 1-9 所示, 无源电子式互感器与有源式电子互感器相比, 无源式电子互感器的传感模块利用光学原理, 由纯光学器件构成, 不含电子电路, 有着有源式无法比拟的电磁兼容性能。

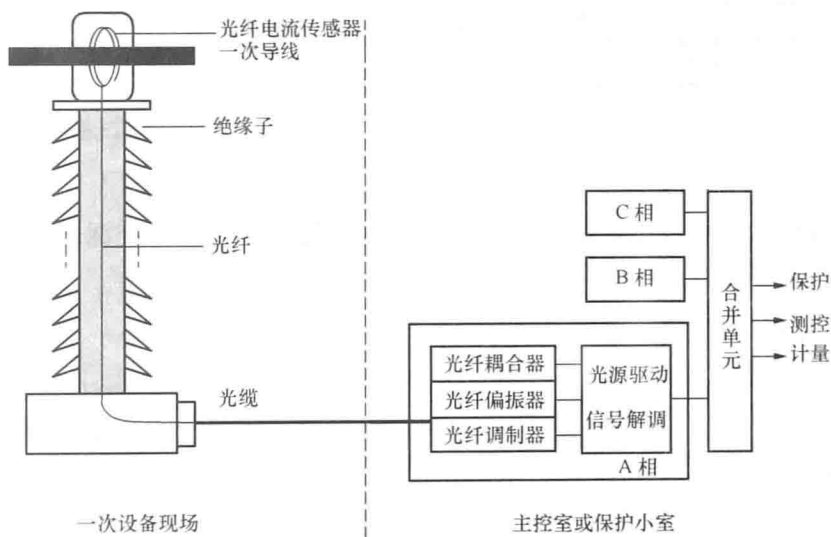


图 1-9 无源电子互感器结构及工作原理

无源电子式互感器具备以下几个特点:

1) 利用光纤传输传感信号。

2) 传感头部分不需电子电路及其电源。

3) 独立安装的互感器的理想解决方案。

4) Faraday 磁光效应 (电流互感器)。

5) Pockels 电光效应 (电压互感器)。

4. 合并单元

合并单元用以对来自二次转换器的电流和/或电压数据进行时间相关组合的物理单元。

合并单元可以是互感器的一个组成件, 也可以是一个分立单元。

合并单元对来自远端模块的各相电流电压信号进行同步, 并转发给二次设备。如图 1-10 所示。

5. 一体化站用电源系统

将站用交流、直流、UPS、通信电源系统统一设计、生产:

(1) 建立电源系统监控统一平台, 与自动化系统集成, 实现统一智能监控, 进而实现状态检修。

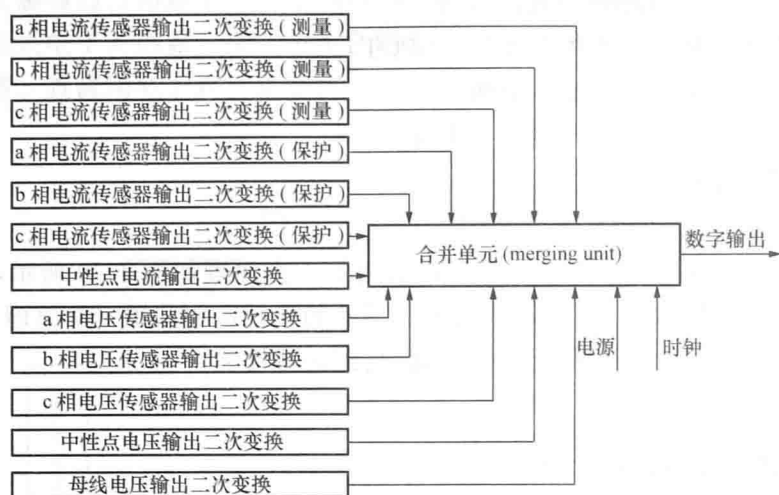


图 1-10 互感器与合并单元关系逻辑框图

(2) 智能监控除常规范围外，还包括蓄电池容量监测，交流系统漏电监测，所有进线、馈线回路监控，电源回路的程序化操作、联锁、协调联动等。

交直流一体化站用电源系统示意图如图 1-11 所示。

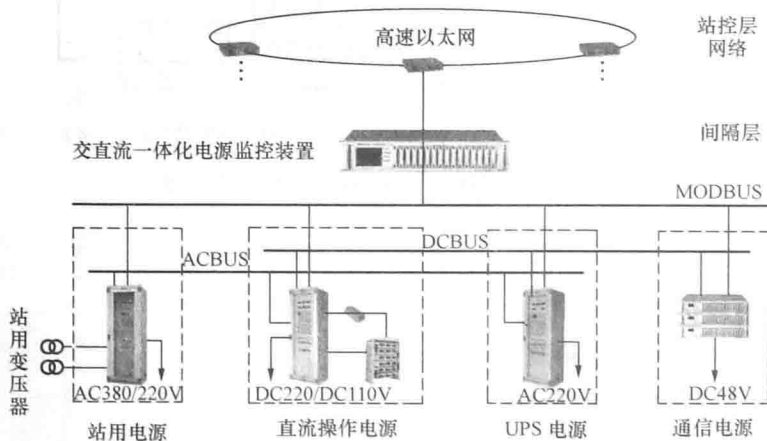


图 1-11 交直流一体化站用电源系统示意图

五、设备状态监测

通过传感器、计算机、通信网络等技术，获取设备的各种特征参量并结合专家系统分析，及早发现设备潜在故障。

例如：监测主变压器油中溶解气体、油中水分，铁芯接地电流，UHF 变压器局放检测等。监测 GIS、断路器 SF₆ 气室微水、压力、温度、设备局部放电等。监测断路器分合闸时间、速度、分合闸线圈电流，储能电机工作状态（工作时的直流电流、电压波形），操作次数（含偷跳），开断电流加权值统计等。监测避雷器泄漏电流、动作次数等。监测组合型电

子式互感器电流、电压信号数字化。

1. GIS 一、二次设备的状态监测

GIS 一、二次设备的状态监测示意图如图 1-12 所示, 其智能组件柜功能如下:

(1) 智能单元: 完成开关、隔离开关等分合控制功能。

(2) 合并单元: 负责接入套管 CT (电子式互感器或传统互感器)。

(3) 通用检测单元: 负责接入温度、压力、液位等通用接口的信号, 及瓦斯等非电量信号; 此通用检测单元可作为监测功能组主 IED。

(4) 专业检测单元: 针对油中溶解气体、油中水分, 铁芯接地电流, UHF 变压器局放检测, TMB 高压套管绝缘在线监测等专业性较强, 数据分析较为复杂的监测项目; 各专业检测单元装置物理独立。如果专业检测单元输出信号不符合 IEC 61850 标准, 则需要经过通用检测单元来建模和转换, 此通用检测单元功能可由监测功能组主 IED 完成。

(5) 智能组件通过间隔数据单元实现与系统层的 IEC 61850 通信。

(6) 智能组件通过过程层数据单元实现智能组件之间的 IEC 61850 通信。

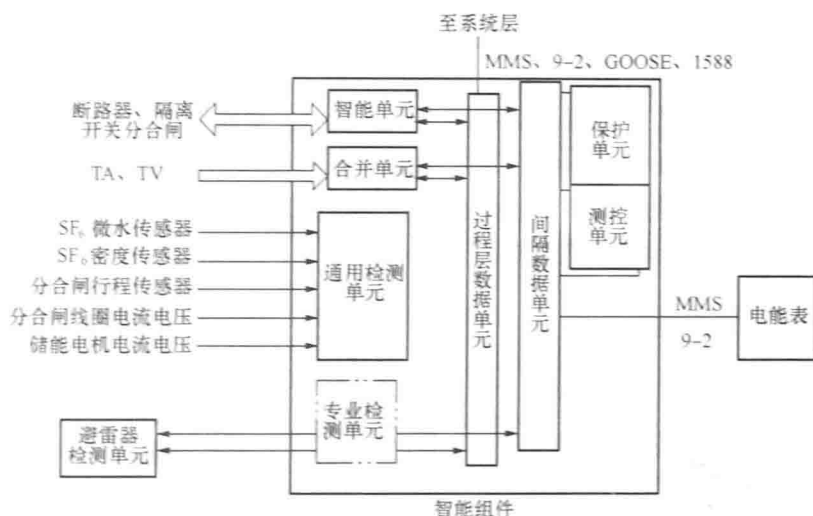


图 1-12 GIS 一、二次设备的状态监测示意图

2. 智能变压器状态监测

智能变压器一、二次设备的状态监测示意图如图 1-13 所示, 其智能组件柜功能如下:

(1) 智能单元: 完成冷却器、有载分接开关等控制功能。

(2) 合并单元: 负责接入套管 CT (电子式互感器或传统互感器)。

(3) 通用检测单元: 负责检测接入温度、压力、液位等通用接口的信号, 及气体等非电量信号; 此通用检测单元可作为监测功能组主 IED。

(4) 专业检测单元: 针对油中溶解气体、油中水分, 铁芯接地电流, UHF 变压器局放检测, TMB 高压套管绝缘在线监测等专业性较强, 数据分析较为复杂的监测项目; 各专业检测单元装置物理独立。如果专业检测单元输出信号不符合 IEC 61850 标准, 则需要经过通用检测单元来建模和转换, 此通用检测单元功能可由监测功能组主 IED 完成。

(5) 智能组件通过间隔数据单元实现与系统层的 IEC 61850 通信。