

上海超高压输变电公司 编



超高压输变电操作技能培训教材



变电所自动化与监控

(第三册)

liandiānsuǒ zìdòng huà yǔ jiān kōng



首套500kV超高压输变电
操作技能指定培训教材



依据规范编写、只讲操作
技能、突出岗位技能鉴定



全国500kV超高压输变电系统
安全操作和技能考核规范读本



全国各网省市超高压输变电企业
运行维护、检修试验等生产人员



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

超高压输变电操作技能培训教材

变电所自动化与监控 (第三册)

上海超高压输变电公司 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内容提要

随着电力系统输变电容量不断增大, 500kV 及以上超高压已成为输变电网络的主要电压等级。为了满足全国联网和西电东送的战略决策以及超高压交直流输变电建设和运行的需要, 根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求, 并结合 500kV 超高压输变电运行的实际情况, 上海超高压输变电公司在总结多年来超高压输变电运行经验和教育培训的基础上组织编写了《超高压输变电操作技能培训教材》(一套 7 册), 以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输变电发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的培训需要。

《变电所自动化与监控》是本套教材的第三册, 共分 8 章, 主要内容是: I/O 测控单元的数据采集, 介绍了直流模拟量的采集原理、交流模拟量的采集原理、数字量的采集原理、I/O 测控单元的采集原理; I/O 测控单元的控制功能, 介绍了遥控与遥控输出要求、控制输出接口、当地与远方控制的形式和类型、控制的闭锁条件、遥控的过程、同期控制功能及其实现过程; 网络现场总线与网络接口, 介绍了网络的概念、类型, 以及常规的网络协议、网络物理层, 对上海电网内变电所自动化与监控系统的几种网络连接方式逐一进行了介绍、比较; 数据库, 介绍了数据库的组成、数据仓库等概念, 对于数据库管理系统、数据库的分类情况及 SQL SERVER2000、REAL—BASE 数据库进行了介绍; 人机界面, 阐述了人机界面的功能, 以 RD-800 系统为例, 介绍了 RD-800 系统的一般操作、人机界面、画面工具、图元编辑器、作图软件包等; 报表制作, 以 RD-800 系统为例, 介绍了报表软件的启动及报表结构、报表的表体制作、报表数据的描述、报表表题的制作及其他; 验收测试, 阐述了验收内容、要求及方法, 对于部分项目还重点详细说明了其验收和测试方法; 常见故障诊断与处理, 分间隔层 RTU、I/O 单元部分、变电所层后台监控部分和数据库备份部分阐述了变电所自动化与监控系统常见的故障与处理方法。书中每章后均附有复习思考题, 供检验学习效果。

本书既可作为全国超高压输变电企业变电所自动化与监控系统的生产人员、技术人员和管理干部等新岗、上岗、转岗、再岗的岗位技能培训教材, 也可作为电力职业专科学校和电力大专院校的辅助课程教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

变电所自动化与监控/上海超高压输变电公司编.

北京: 中国电力出版社, 2006

超高压输变电操作技能培训教材

ISBN 7-5083-4065-5

I. 变... II. 上... III. ①变电所-自动化-技术培训-教材②变电所-监视控制-技术培训-教材 IV. TM63

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 003892 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2006 年 7 月第一版 2006 年 7 月北京第一次印刷
787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 13.25 印张 350 千字
印数 0001—3000 册 定价 22.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换)

序



当前, 由于全国联网和西电东送的国家战略决策以及超高压交直流输变电的迅速发展, 电力系统输变电容量不断增大, 电压等级逐步升高, 500kV 及以上超高压已成为输变电网络的主要电压等级。因此, 在 500kV 超高压输变电生产人员、技术人员和管理干部等的培训领域迫切需要一套完整而又贴近生产实际情况的超高压输变电操作技能培训教材, 以加快 500kV 超高压输变电各专业岗位技能和职业技能人才的培养步伐。

为此, 根据原国家电力公司、中国电力企业联合会、国家电网公司、中国南方电网有限责任公司等对超高压输变电岗位技能、职业技能等提出的培训要求, 从 2001 年开始, 在上海市电力公司的领导下, 上海超高压输变电公司组织了 500kV 超高压输变电各专业领域、多年运行经验的 30 多位技术人员和专家, 根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求, 并紧密结合 500kV 超高压输变电运行维护的实际情况, 精心编写了这套由七个专业组成的《超高压输变电操作技能培训教材》(一套 7 册), 以充分反映我国当前 500kV 超高压输变电实际运行技术水平和最新发展状况, 并以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输电网发展所需的队伍建设、岗位培训和技能鉴定的需要。

《超高压输变电操作技能培训教材》分册是: 第一册 变电运行; 第二册 变电设备检修; 第三册 变电所自动化与监控; 第四册 输电线路; 第五册 交直流电源与测量表计; 第六册 继电保护; 第七册 电力通信。

由于这套教材是针对岗位技能和职业技能培训而编写的, 因此在内容安排上突出了操作技能的特点, 除了专业原理和结构的讲解外, 更加侧重实际运用和运行操作的介绍, 在培训功能上具有较强的针对性和实用性, 既可作为超高压输变电岗位技能培训和职业技能鉴定的必读教材, 也可作为电力专业大专院校学生的课程教材, 尤其能为新进输变电企业的大中专毕业生尽快适应本职工作提供了帮助和学习教材。本书的编写出版得到了同行业技术专家和中国电力出版社的热情支持, 在此, 我谨代表编委会向他们表示衷心感谢。

上海超高压输变电公司总经理

沈兆新

2005 年 11 月

前 言



近年来,随着计算机技术、现代通信技术、电力系统分析以及智能化电器等多学科的飞速发展,变电所自动化与监控系统作为这些学科技术的综合应用,也在日新月异地发展着,并且一步步走向成熟。

随着电力系统输变电容量不断增大,220kV 和 500kV 及以上超高压变电所日益增多,以前的运行模式已不能满足电网发展的需要,目前上海的大部分 220kV 变电所均配置了自动化与监控系统,采用集控—受控模式,220kV 受控站无人值守,1 个集控站控制 8~10 个受控站,对于受控站设备的监控由自动化与监控系统来完成。这样一来,变电所自动化与监控系统所担负的责任越来越重。因此,培养一批熟悉变电所自动化与监控系统的运行和检修生产人员已是当务之急。

根据国家标准、行业标准和《电力行业职业技能鉴定规范》以及有关输变电运行岗位规范等的要求,并结合 220kV 和 500kV 超高压输变电运行的实际情况,上海超高压输变电公司在总结多年来超高压输变电运行经验和教育培训的基础上,组织编写了《超高压输变电操作技能培训教材》(第三册 变电所自动化与监控),以满足全国超高压输变电企业为适应超高压输变电发展所需的队伍建设、岗位培训的培训需要,教材以变电所自动化与监控系统的设备层次为基点,分别阐述间隔层、变电所层设备的接口、原理及应用,以突出学以致用和提高岗位技能为主要指导思想,注重实践应用。

《变电所自动化与监控》是本套教材的第三册,共分 8 章,主要内容是:第一章 I/O 测控单元数据采集、第二章 I/O 测控单元控制功能、第三章网络现场总线与网络接口、第四章数据库、第五章人机界面、第六章报表制作、第七章验收测试、第八章常见故障诊断与处理。书中每章后均附有复习思考题,供巩固、检验学习的效果用。

本书第一章由周红、龚正东编写,第二章由余波编写,第三~四章由周红编写,第五~六章由方文荣编写,第七章由余波、龚正东编写,第八章由马鹤年编写,全书由周红统稿并编排,邹俭审核。在本书的编写过程中,编者参考了有关资料和文献,已列于书后参考文献中,在此对资料和文献的编作者表示谢意。

变电所自动化与监控系统涉及到多个专业领域,而且这方面的技术还处于发展阶段,由于编者现场工作时间和理论水平有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2005 年 11 月

《超高压输变电操作技能培训教材》

编 审 委 员 会

主任委员： 沈兆新
副主任委员： 林 锋
编委人员： 陈海波 邹 俭 乔卫东 吴 钧 刘新平
徐伯成 周 红 戴春怡 金红核
主 编： 陈海波
主 审： 邹 俭
统 筹： 陶象雯
策划编辑： 杨元峰

● 第三册 变电所自动化与监控 ●

编 审 人 员

分册主编： 周 红
编 写： 周 红 余 波 马鹤年 方文荣 龚正东
审 核： 邹 俭
责任编辑： 刁晶华

目 录



序 前言

第一章 I/O 测控单元数据采集

1

第一节 直流模拟量采集原理	1
第二节 交流模拟量采集原理	2
第三节 数字量采集原理	4
第四节 I/O 测控单元采集原理	5
第五节 DF1725 测控单元维护使用	6
一、前面板说明 (6) 二、操作说明 (6)	
第六节 EP-IA2000 型分布式测控终端维护使用	9
一、测控单元 PCC 模块典型配置 (9) 二、功能实现 (10) 三、当地显示操作 (13)	
第七节 D25 测控单元维护使用	15
一、典型配置 (15) 二、功能检验 (23) 三、显示操作和功能测试 (26) 四、硬件说明 (28) 五、 软件说明 (33)	
复习思考题	35

第二章 I/O 测控单元控制功能

36

第一节 遥控及其遥控输出要求	36
一、遥控输出要求 (36) 二、遥控继电器延时 (36)	
第二节 控制输出接口	36
一、综合监控模块 DF1721 遥控输出原理 (37) 二、综合监控模块 D25 遥控输出原理 (37)	
第三节 当地与远方控制	38
一、一级控制 (38) 二、二级控制 (38) 三、三级控制 (39)	
第四节 控制闭锁功能	39
一、微机五防闭锁 (39) 二、自动化系统逻辑闭锁 (39) 三、实例介绍 (39)	
第五节 控制闭锁条件	41
一、口令闭锁 (41) 二、远方/就地闭锁 (41) 三、逻辑闭锁 (41) 四、操作闭锁 (41) 五、挂牌 闭锁 (41)	
第六节 遥控过程	42
一、遥控步骤 (42) 二、遥控流程 (45)	
第七节 同期功能和同期合闸过程	45
一、同期原理 (45) 二、同期合闸过程 (49) 三、同步检测 (50)	

复习思考题	51
第三章 网络现场总线与网络接口	52
第一节 网络	52
一、按距离划分 (52) 二、按通信介质划分 (52) 三、按通信传播方式划分 (52) 四、按通信速率划分 (52) 五、按使用范围划分 (52) 六、按拓扑结构划分 (53)	
第二节 传输介质	53
一、双绞线 (54) 二、同轴电缆 (54) 三、光导纤维电缆 (55) 四、空间传输介质 (56)	
第三节 网络协议	57
一、计算机网络协议概念 (57) 二、网络功能分层 (57)	
第四节 网络物理层	60
一、物理层模型 (60) 二、物理层向数据链路提供服务 (61) 三、物理层协议 (62) 四、CCITT 建议 V.24/EIA RS-232-C 协议 (63) 五、CCITT 建议 X.21 协议 (64) 六、RS-232、RS-422、RS-485 数据接口比较 (65)	
第五节 变电所自动化与监控系统网络连接	65
一、变电所层网络 (66) 二、间隔层网络 (67)	
第六节 网络层、传输层和高层协议	68
一、网络层 (68) 二、传输层 (74) 三、表示层 (75) 四、应用层 (76)	
第七节 网络应用层协议	78
一、分布式数据库系统 (78) 二、网络操作系统 (79) 三、分布式操作系统 (80) 四、电子邮件 (81) 五、信息管理系统 (81) 六、数据处理服务 (81)	
复习思考题	82
第四章 数据库原理及其应用	83
第一节 数据库组成	83
一、计算机系统 (83) 二、数据库 (84) 三、数据库管理系统组成 (84)	
第二节 数据库	85
一、数据模型 (85) 二、关系数据库 (85) 三、结构化查询语言 (86) 四、关系数据规范化 (86)	
第三节 数据库管理系统	87
一、数据存取过程 (87) 二、数据库三层模式 (88) 三、数据独立性 (88) 四、数据 DBMS 管理 (89)	
第四节 数据库分类	89
一、传统数据库 (90) 二、多媒体数据库 (90) 三、面向对象数据库 (92) 四、分布式数据库 (93) 五、数据库应用系统设计 (94)	
第五节 数据库简介	95
一、MS SQL Server 2000 简介 (95) 二、ODBC 数据库引擎 (96) 三、ODBC 数据源配置 (97) 四、ODBC 接口应用 (101) 五、JDBC 数据库引擎 (101)	
第六节 RD-800 数据库介绍	102
一、数据库结构 (102) 二、REAL-BASE 分布式数据库 (103) 三、REAL-BASE 系统具有一定的开放性 (104) 四、数据库 REAL-BASE 系统结构 (105) 五、REAL-BASE 中数据库管理系统	

DBMS 功能 (105) 六、REAL-BASE 数据库访问策略 (106) 七、RD-800 系统中数据库分类和安排 (107)	
第七节 SCADA 数据库生成和结构	108
一、SCADA 数据库生成 (108) 二、SCADA 数据库结构 (108)	
复习思考题	126
第五章 人机界面	127
第一节 概述	127
第二节 人机界面功能	127
一、图形系统 (128) 二、图形层和平面 (128) 三、图元 (128) 四、内部连接 (128) 五、曲线和棒图 (128) 六、趋势显示 (128) 七、在线修改 (128) 八、报表系统 (128) 九、汉字 (129) 十、告警子系统 (129) 十一、安全子系统 (129)	
第三节 RD-800 系统一般操作	130
一、开机 (130) 二、关机 (131) 三、锁屏 (131) 四、进程管理 (131) 五、显示与修改系统时间 (131) 六、文件管理 (132) 七、查看系统资源占用情况 (132) 八、两个节点之间拷贝文件 (132)	
第四节 RD-800 人机界面	134
一、窗口组成 (134) 二、窗口基本操作 (135) 三、其他部件 (137) 四、文本输入 (138)	
第五节 RD-800 画面工具	139
一、画面调用窗口 (140) 二、画面操作按钮 (141) 三、画面区 (142)	
第六节 RD-800 图元编辑器	146
一、图元编辑器界面 (146) 二、图元编辑器使用方法 (147) 三、编辑已经形成图符 (148) 四、图元编辑器启动 (149)	
第七节 作图软件包	149
一、作图软件界面 (150) 二、图形操作 (151) 三、接线图制作 (153) 四、背景图制作 (159)	
复习思考题	164
第六章 报表制作	165
第一节 报表软件启动及报表结构	165
一、RD-800 报表软件启动 (165) 二、报表结构 (165) 三、文件操作 (165)	
第二节 报表表体制作	166
一、表体编辑 (166) 二、表格制作 (166) 三、文字编辑 (167)	
第三节 报表数据描述	168
一、数据描述定义 (168) 二、计算数据描述 (170) 三、数据描述修改 (171) 四、删除所有数据描述 (171)	
第四节 报表表题制作及其他	171
一、报表表题制作 (171) 二、模拟显示 (171) 三、定时打印报表 (172)	
复习思考题	172
第七章 验收测试	173
第一节 验收内容、要求及方法	173

一、系统硬件验收 (173) 二、系统测试 (174) 三、通信转发 (175) 四、控制功能 (175) 五、事件顺序记录 (175) 六、事项及报警功能 (175) 七、事故追忆及反演功能 (176) 八、人机会话 (176) 九、系统对时功能 (176) 十、系统 UPS 电源功能 (176) 十一、系统运行监视 (176) 十二、权限设置 (176) 十三、保护管理功能 (177) 十四、遥测、遥信、遥控抽查 (177) 十五、图纸、资料、备品及调试报告检查 (177)	
第二节 部分项目验收测试方法	177
一、数字量测试 (177) 二、脉冲量测试 (178) 三、模拟量测试 (178) 四、同期功能测试 (180) 五、控制功能测试 (181)	
第三节 变电所自动化系统验收大纲范例	181
一、验收依据 (181) 二、验收标准大纲 (181)	
复习思考题	189
第八章 系统常见故障诊断与处理	190
第一节 RTU、I/O 单元部分	190
一、有关遥测常见问题 (190) 二、有关遥信常见问题 (192) 三、有关 SOE 常见问题 (193) 四、有关遥控常见问题 (193) 五、有关时钟常见问题 (195) 六、通信部分故障 (195)	
第二节 后台监控部分	195
一、基于 UNIX 系统主机启机 (195) 二、前置部分实时数据不刷新 (196) 三、备份参数库和备份、删除、恢复历史数据 (196) 四、系统运行速度慢和画面刷新慢 (196) 五、计算机不能正常启动 (196) 六、添加一块网卡 (196) 七、UNIX 机的硬件或操作系统异常 (197) 八、UNIX 系统根区满 (197) 九、SUN 机检查 CPU 负荷和虚存占用 (197) 十、主计算机数据显示错误及处理方法 (197) 十一、主计算机误报警或报警信息不打印的可能原因及处理方法 (197)	
第三节 数据库备份	198
一、南瑞 SD-6000 系统数据库备份 (198) 二、东方电子 DF-1800 系统数据库备份 (199) 三、南瑞 RD-800 系统数据库备份 (200)	
复习思考题	200
参考文献	201

第一章

I/O测控单元数据采集

变电所综合自动化的正常运转离不开准确的数据,包括遥测量、遥信量和交流量,这一过程通常都是由数据采集模块完成的。为了实现自动化装置的扩展性,大多数厂商都将采样模块从CPU逻辑部分中独立出来,形成具有特殊接口的各种插件,典型的有遥测量采集插件、遥信量采集插件、交流采样插件等。每一种独特的采样插件专长于对指定数据类型的采集,因此每一种采样插件都具有不同的工作原理。不同的生产厂商可能使用不同的采样插件名称,在采样数据的类型划分上也可能存在差异,但总体来说,自动化系统使用到的特定数据类型包括直流模拟量、交流模拟量、开关量和状态量,无论是哪个厂商的产品都必须采集上述所有数据类型。掌握这些特定数据类型的采样原理就掌握了I/O测控单元的数据采集原理。

第一节 直流模拟量采集原理

对于直流模拟量的采集,大多数产品中都是同交流模拟量一起并入模拟量采集模块,也有部分产品使用专用的遥测量插件对直流模拟量进行独立采样,如东方公司的DF1331的遥测量采集插件和惠安公司D25的直流模拟量采集卡。

直流模拟量采集插件一般提供16路模拟量输入接口,既可采集直流电压量,也可采集直流电流量,部分产品可以完成64个共地或32个不共地的电压或电流量的输入。

直流模拟量的采集特点如下:

- (1) 直流模拟量的转换精度:要求在 $\pm 0.1\%$ 以内。
- (2) 直流电压输入量程: $0 \sim \pm 5V$, 可采集范围: $0 \sim \pm 10V$ 。
- (3) 直流电流输入量程: $0 \sim 1mA$, $0 \sim 10mA$, $4 \sim 20mA$ 。
- (4) 采样率: 60次/s。
- (5) A/D分辨率: 12位加符号位,各通道独立、同时采样,具有较高的测量精度。
- (6) 转换速度约为: 650ms。

为实现模拟量输入部分与CPU逻辑部分的完全隔离,保障系统免受干扰,直流模拟量的采集使用光隔离差分输入方式。直流量输入后经保护、滤波、放大后送至A/D转换装置,在EPLD逻辑控制下进行转换。转换后的数据送至CPU进行处理。

直流模拟量输入基本原理,如图1-1所示。

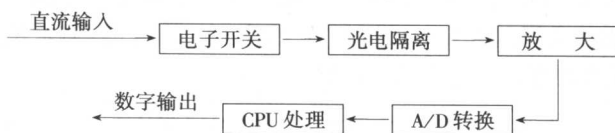


图 1-1 直流模拟量输入基本原理图

通过上述处理，模拟量输入部分与逻辑部分完全隔离，防止了干扰。一般情况下，采用的采样单元、插件均有自校准电路和防零漂功能以长期保证精度，同时各模块均配有维护用串行口，可以独立进行工作和调试、维修。各模块均采用了可靠的上电复位和掉电保持电路，保证所有数据在断电后可恢复，对于一些特别重要的现场参数，又单独存放在 EEPROM 中，以防止意外的损失和丢失。

变电所自动化与监控系统采集的直流模拟量分别有：所用电系统的电压、电流；所内直流系统的电压、电流；主变压器的温度等量。对于这些量，一般先采用电压、电流、温度等变送器将这些电压、电流、温度等值转换成 $0 \sim \pm 5V$ 、 $0 \sim \pm 10V$ 、 $0 \sim 1mA$ 、 $0 \sim 10mA$ 、 $4 \sim 20mA$ 等量的输出值，此后再输入直流模拟量的采样模块进行处理。

第二节 交流模拟量采集原理

类似于直流模拟量的采集模块，交流模拟量采集模块也可由独立的插件或板卡单独完成，如东方公司 DF1331 的交流采样插件等。

交流模拟量通常是直接从 TA 和 TV 输入的，一般可连接 15~32 个经变压器隔离的交流模拟量，既可以是电压量，也可以是电流量。交流模拟量的采集特点为：

- (1) 采样速率：64 次/周波。
- (2) 谐波分析采样速率：128 次/周波（部分提供谐波分析功能的产品）。
- (3) A/D 分辨率：12 位加符号位，各通道独立，同时采样，具有互感器的变差和相差补偿功能。
- (4) 测量精度如下：
 - 交流电流： $\pm 0.2\%$ ；
 - 交流电压： $\pm 0.2\%$ ；
 - 有功功率、无功功率： $\pm 0.5\%$ ；
 - 功率因数： $\pm 1.0\%$ ；
 - 积分电量： $\pm 1.0\%$ ；
 - 频率： $\pm 0.02Hz$ ；
 - 谐波分析： $\pm 2.0\%$ （部分提供谐波分析功能的产品）。
- (5) 测量范围如下：
 - 交流电流： $0 \sim 6A$ ；
 - 交流电压： $40 \sim 120V$ 。
- (6) 输入范围如下：
 - 交流电流：额定值 I_N 为 $5A$ ($1A$)，允许 $1.2I_N$ 连续输入；
 - 交流电压：额定值 U_N 为 $100V$ ，允许 $1.2U_N$ 连续输入；
 - 交流电流、电压频率： $45 \sim 65Hz$ 。

电力现场二次回路的电流、电压信号，经小 TA、TV 变换为弱电电流信号后，在 EPLD 控制下，多路 AD 同时对电压、电流进行自动采样。采样的数据送给 CPU 进行处理，采样和计算同时进行。TV、TA 的差异所造成的相角误差由 EPLD 进行了硬件校正，保证了遥测量长期运行时的精度。

交流模拟量输入基本原理，如图 1-2 所示。

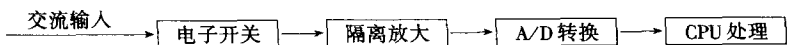


图 1-2 交流模拟量输入基本原理

由于交流电在自动化系统中的广泛运用，自动化系统对交流测量数据的计算也尤为重要。

正如我们所知，系统接入自动化装置的交流电量只有交流电流和交流电压量，这就决定了功率、功率因数等其他的绝大部分测量值都是经由对电流、电压采集量的计算来完成的。那么对于每周波 64 个采样点的数值型数据是如何通过计算得到的呢？在这里以东方公司的 DF1725 综合监控模块为例加以说明。

根据周期分量有效值计算的定义，可以很方便地得到电流、电压量的有效值如下：

线路电流有效值
$$I = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N i_j^2}$$

式中， N 为每个周波采样点个数，正常采样为 64 点/周波，用于谐波分析为 128 点/周波； i_j 为第 j 个离散采样点。

线路电压有效值
$$U = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j^2}$$

而线路的有功功率可由电流、电压的离散采样点直接得出如下

线路有功功率
$$P = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j \cdot i_j$$

又因为
$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi = 3 U_\varphi I_\varphi \cos \varphi$$

因此线路功率因数如下

两表法
$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{3} UI}$$

三表法
$$\cos \varphi = \frac{P}{3 UI}$$

对于三相四线制系统，以上为每一相各分量的计算过程，得到 A、B、C 三相各自的有功功率（ P_A 、 P_B 、 P_C ）、无功功率（ Q_A 、 Q_B 、 Q_C ）后，把三者相加，得到整条线路的有功功率和无功功率为

$$P_3 = P_A + P_B + P_C$$

$$Q_3 = Q_A + Q_B + Q_C$$

三相三线制系统整条线路的有功功率和无功功率分别为

$$P_3 = P_{AB} + P_{CB}$$

$$Q_3 = Q_{AB} + Q_{CB}$$

有功电量、无功电量的计算采用对有功功率、无功功率进行积分的方式进行。

当电力系统的电压或电流中含有谐波分量时，各量都可以表示为各次谐波分量的叠加

$$d(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} D_n \sin(n\omega t + \varphi_n)$$

利用傅里叶变换，对每周波采样点数为 N 的离散采样系统， n 次谐波（电压或电流）的有效值、实部有效值、虚部有效值和相位分别为

$$D_n = \sqrt{D_{Rn}^2 + D_{In}^2}$$

$$D_{Rn} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=1}^N d_k \sin nk \frac{2\pi}{N}$$

$$D_{In} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{k=1}^N d_k \cos nk \frac{2\pi}{N}$$

$$\theta_n = \arctan \frac{D_{In}}{D_{Rn}}$$

式中, d_k 为一个基波周期内的第 k 个采样值, 由以上的计算可以得到各次谐波的有效值和相位。

电力系统中, 通常用某次谐波幅值相对于基波幅值的百分数来反映该谐波的含量为

$$D_n \% = \frac{D_n}{D_1} \times 100 \%$$

总谐波畸变反映总的谐波含量为

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N D_k^2}}{U_1} \times 100 \% = \sqrt{\sum_{n=2}^N (D_k \%)^2}$$

基波正序、负序、零序分量和三相不平衡度计算如下。

相角测量中常用到的三相电压的正序分量的相角。算出各相的基波分量后, 与之对应的序分量如下

$$\text{正序分量} \quad \bar{X}_1 = \frac{1}{3} (\bar{X}_A + \alpha \bar{X}_B + \alpha^2 \bar{X}_C)$$

$$\text{负序分量} \quad \bar{X}_2 = \frac{1}{3} (\bar{X}_A + \alpha^2 \bar{X}_B + \alpha \bar{X}_C)$$

$$\text{零序分量} \quad \bar{X}_0 = \frac{1}{3} (\bar{X}_A + \bar{X}_B + \bar{X}_C)$$

$$\text{三相不平衡度} \quad \epsilon = \frac{|\bar{X}_2|}{|\bar{X}_1|} \times 100 \%$$

其中 $\alpha = e^{j120^\circ}$

通过以上原理计算, 可以看出: 通过对交流电流量和交流电压量的计算, 可以得到绝大多数所需的数据, 甚至包括谐波数据在内。

通过上述处理, 模拟量输入部分与逻辑部分完全隔离, 防止了干扰。一般情况下, 采用的采样单元、插件, 均采用精密元器件, 均有自校准电路和防零漂功能, 以长期保证运行时精度的稳定性, 同时各模块均配有维护用串行口, 可以独立进行工作和精度校验。模块上的各互感器单元可互换, 应用较为灵活。各模块均采用了可靠的上电复位和断电保持电路, 保证所有数据在断电后可恢复, 对于一些特别重要的现场参数, 又单独存放在 EEPROM 中, 以防止意外的损失和丢失。

变电所自动化与监控系统采集的交流模拟量分别为线路、母线、主变压器各侧的电流、电压、有功功率、无功功率、频率等值。这些量通常是由 TV、TA 的测量级引入, 输入模块后通过模拟开关用比较高的采样频率采样, 使其变成离散的采样点, 然后送 A/D 转换芯片进行模数转换, 得到各点的幅值后再经 CPU 处理 (快速富氏变换)。频率值一般从电压采样量中取。对于分段、母联、断路器的同期点, 可以利用这些模块同时采集多个电压的功能, 分别采集两段母线、线路与母线、线路与主变压器侧、母线与主变压器侧等不同回路上的电压, 同时进行采样、计算、比较, 进行同期判断。

第三节 数字量采集原理

数字量数据一般包括开关量、状态量。为保障系统的可靠运行, 保证系统免受干扰和雷击的影响, 数字量输入端都必须使用光电隔离元件, 使其输入部分与 CPU 逻辑有效隔离。通常数字量输入可设为遥信输入, 基本配置 32 个, 现许多设备可达到 64 个或 96 个, 并且一般都具有事件顺序记录功能, 相关要求如下:

(1) 每个数字量输入端都必须经过滤波、抗浪涌电流、光电隔离等保护措施。

- (2) 事件顺序时标准确度： $< 1\text{ms}$ ，不同板之间： $< 2\text{ms}$ 。
- (3) 数字量输入与机壳间绝缘强度： 500V DC 。
- (4) 耐浪涌电压： 1200V 。

数字量输入基本原理，如图 1-3 所示。

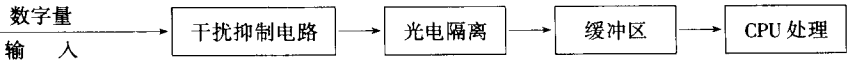


图 1-3 数字量输入基本原理

通过上述处理，数字量输入部分与逻辑部分完全隔离，防止了干扰。一般情况下，采用的采样单元、插件均有遥信在线取反，每个遥信消颤时间可在（0 ~ 6000ms）之间任意设定的功能，软、硬件的抗干扰措施能有效抑制瞬间干扰，并能有效过滤信号误报。同时各模块均配有维护用串行口，可以独立进行工作和调试、维修。各模块均采用了可靠的上电复位和断电保持电路，保证所有数据在断电后可恢复，对于一些特别重要的现场参数，又单独存放在 EEPROM 中，以防止意外的损失和丢失。

变电所自动化与监控系统的数字量采集模块一般用于采集断路器、隔离开关的位置信号，接地开关的位置信号，远方/就地控制切换开关的位置信号，有载调压变压器分接头的位置信号，集控站、受控站遥控方式切换信号，继电保护及自动装置动作信号，继电保护及自动装置异常状态信号，主要设备故障、异常信号，控制回路异常信号，特殊形式的数字量输入信号（BCD 码），直流系统对地绝缘信号，事故总信号，变电所大门、消防及保安信号，消弧线圈挡位及其自动调节装置故障信号，通道或通信装置故障信号，UPS 及自动化装置故障信号，充油电缆告警信号。所有数字量一般均采用无源节点方式输入。信号具有事件顺序记录（SOE）功能，时标由采样模块标明，逐级上送。

第四节 I/O 测控单元采集原理

在实际的产品中，大多数的自动化综合监控模块都是由电源单元、互感器单元、中央处理器单元、交流采样单元、直流采样单元、数字量采集单元、数字量输出单元、键盘显示单元、通信单元等几部分构成，并没有把模拟量、数字量等各种不同类型的数据采集功能完全独立出来，而是共用 CPU 单元，仅将输入回路和 A/D 转换等元件独立使用，如图 1-4 所示。

这就使得装置中的各种元件资源得到更合理的利用，有效降低生产成本，同时也不会影响综合自动化系统的可靠、稳定运行的要求。这样一来，各综合监控模块主要包括的软件模块有：A/D 采样模块，频率测量模块，功率测量模块，交流电流，电压测量模块，谐波，不平衡度测量模块，电能测量模块，遥信，电量采集模块，遥控输出处理模块，键盘显示模块，直流电压，电流模块，串口通信模块，总线通信模块，系数及相角校准模块，EEPROM 存储模块等。这些软件模块，均采用可靠成熟的交流采样算法，具有硬件时序逻辑控制双 AD 对电流、电压同时进行采样，由 EPLD 控制 AD 的采样时间，实现对相角误差进行矫正，能够满足电力系统电气量的实时测量要求。

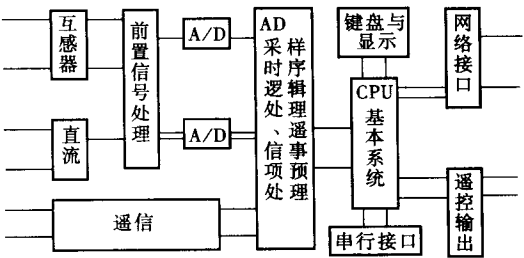


图 1-4 DF1725 综合监控模块系统组成逻辑框图

目前上海投运的自动化监控系统以采用分布式结构，按每一个电气间隔单元配置一测控单元为配置原则进行配置。回路结构较为清晰，易于维护管理。所有实时数据的采集在间隔控制层由 I/O 测控单元完成，通过现场总线以及以太网传到站级控制层的主计算机进行处理，检测出事件、故障、状态、变位信号及模拟量正常、越限信息等，包括进行数字滤波、有效性检查、工程量转换、故障判别、信号触点抖动消除等各种预处理，实时更新数据库。

第五节 DF1725 测控单元维护使用

一、前面板说明

模块前面板的上侧有 11 个显示灯用以显示模块的运行状态，中间有液晶显示器 320X240 图形点阵液晶，下面为 9 个按键，可通过键盘和液晶观察模块运行的各种测量数据，并对模块进行各种设置和当地操作。现将各部分分别定义如下。

1. 状态显示灯部分

- “电源”——指示电源正常接入；
- “运行”——系统运行时均匀闪烁；
- “FDK”——FDK 网络收发灯，红黄双色灯，两色分别代表收发状态；
- “CAN”——CAN 网络收发灯，红黄双色灯，两色分别代表收发状态；
- “串口 1”——维护用串口收发灯，红黄双色灯，两色分别代表收发状态；
- “串口 2”——通信用串口收发灯，红黄双色灯，两色分别代表收发状态；
- “合信号”——灯亮表示断路器处于合闸位置；
- “分信号”——灯亮表示断路器处于分闸位置。

2. 按键定义

- “←”——用于液晶操作时，将光标右移一格；
- “↑”——用于液晶操作时，将光标上移一格；
- “↓”——用于液晶操作时，将光标下移一格；
- “→”——用于液晶操作时，将光标左移一格；
- “+”——用于液晶操作时，或将光标指示处的数值加 1；
- “-”——用于液晶操作时，或将光标指示处的数值减 1；
- “确认”——液晶操作时，确认光标所选择的操作；
- “取消”——用于液晶操作时，返回到上一级菜单或操作状态；
- “复位”——用于使系统复位。

3. 液晶

DF1725 综合监控模块配有液晶显示器，以方便使用操作，其主界面如图 1-5 所示。它包括 8 项功能，可以查看实时遥测数据，实时遥信数据，实时电量数据，可以操作遥控和同期，可以查看事项记录，可以修改板号和时间。

二、操作说明

在主界面下，首先用上下左右键选择您想要做的操作，反显项（黑底白字）是您当前所选的项；然后按回车键确认，进行您所选的操作。例如，先用上下左右键选择“2. 遥测”，再按回车键，则进入查看实时遥测状态。下面详细说明各项操作。

(1) 先选择“1. 遥信”，再按回车键，进入查看实时遥信状态。如图 1-6 所示，每页显示 32 个遥信。用上下键翻页，按取消键返回主界面。

DF1725 综合监控模块		
板号: 2		
1. 遥信	2. 遥测	3. 电量
4. 遥控	5. 同期	6. 事项记录
7. 板号	8. 时间	
烟台东方电子集团电自部 15:05:18		

图 1-5 综合监控模块

实 时 遥 信							
序号	状态	序号	状态	序号	状态	序号	状态
1	分	9	分	17	分	25	分
2	分	10	分	18	分	26	分
3	分	11	分	19	分	27	分
4	分	12	分	20	分	28	分
5	分	13	分	21	分	29	分
6	分	14	分	22	分	30	分
7	分	15	分	23	分	31	分
8	分	16	分	24	分	32	分
操作提示: 上下键翻页, 取消键返回							

图 1-6 实时遥信

(2) 先选择“2. 遥测”，再按回车键，进入查看实时遥测状态。每页显示 1 个回路的所有遥测量和三个直流量。但不只一个回路时，用上下键翻页选择回路，按取消键返回主界面。两表法和三表法略有不同，如图 1-7 所示。

实 时 遥 测					
回路 1: 两表法					
U_{ab}	1000	U_{bc}	1000	I_a	1000
I_c	1000	P_{ab}	1000	P_{bc}	1000
P_z	2000	Q_{ab}	1000	Q_{bc}	1000
Q_z	2000	cos	1000		
直流: 1.1000 2.1000 3.1000					
操作提示: 上下键翻页, 取消键返回					

(a)

实 时 遥 测					
回路 1: 三表法					
U_a	1000	U_b	1000	U_c	1000
I_a	1000	I_b	1000	I_c	1000
P_a	1000	P_b	1000	P_c	1000
Q_a	1000	Q_b	1000	Q_c	1000
P_z	3000	Q_z	3000	cos	1000
直流: 1.1000 2.1000 3.1000					
操作提示: 上下键翻页, 取消键返回					

(b)

图 1-7 实时遥测

(a) 两表法; (b) 三表法

(3) 先选择“3. 电量”，再按回车键，进入查看实时电量状态，如图 1-8 所示，按取消键返回主界面。

(4) 先选择“4. 遥控”，再按回车键，进入遥控操作台，如图 1-9 所示。

实 时 电 量	
回路 1	
回路 2	
操作提示: 按取消键返回	

图 1-8 实时电能

遥 控 操 作 台	
一、遥控号:	1
二、性质:	1. 合闸 2. 分闸 3. 无
三、动作:	1. 预置 2. 执行 3. 撤消
	4. 直接执行
操作提示:	
用上下键在一、二、三之间切换	
切换到一时, 用左右键修改遥控号	
切换到二时, 用左右键选择性质	
切换到三时, 用左右键选择动作	

图 1-9 遥控操作