

专题科技资料

变电站保护与控制综合自动化

Integrated Substation Protection and Control System

(译文汇编)

中国电机工程学会继电保护专委会翻印

编译前言

电力系统规模的扩大和社会信息的交流要求电力系统的控制和保护以及变电所的建设必须满足运行的可靠性、安全性、经济性和长期可用性。自七十年代末八十年代初期以来，世界上各工业发达国家如美、日、英、法、德、瑞典等都开展了将变电所数字控制和保护归并在一起的研究工作，即研制出一种集数字控制和继电保护技术于一体的系统。这项技术，很快引起了人们的关注。国际上一些重要的学术会议如国际大电网会议、国际供电会议、国际电力系统保护进展会议、国际电力系统控制、运行与管理发展会议都组织有关专家对该项技术发展过程中存在的若干问题进行了深入的研究与讨论，使该项技术历经约十年时间，即在八十年代末九十年代初，随着微处理机技术、信息传输技术的进一步发展而取得了重大进展。目前正在进一步发展过程中。

我国电力工业中对变电所控制与保护综合自动化技术的研究开发工作正在迅速起步。为使起点更高，南京自动化研究所技术信息室和江苏省电力局南京地区电力情报网共同组织编译了该本《变电所控制与保护综合自动化》专题资料，供内部研究参考。该资料前部分介绍近几年来各国专家在有关国际会议及刊物上发表的成熟技术经验及一些最新观点，后部分介绍美国电力研究院(EPRI)1989年11月作为最终报告提出的“变电所控制与保护工程：系统规范。”可以认为，该资料选材广泛、内容翔实、具有很强的实用性。可望对从事变电所控制与保护工作的科研、设计、开发、教学人员及管理 and 运行人员有一定的参考价值。

该资料由南京自动化研究所苏伯林、唐涛负责选题编审。参加编译工作的单位有南京自动化研究所、江苏省电力局调度所、南京电力自动化设备厂。资料在立题出版过程中，得到江苏省电力局科教处有关领导和江苏省电力中心试验研究所孙光照的大力支持，在此一并致谢。

由于编译出版时间仓促，译文中的错误疏漏之处在所难免，恳望阅读过本资料的专家学者提出批评指正。

编 者

1993年5月

目 录

以微处理机为基础的变电站保护和控制系统的设计准则	1 (路盛元译)
变电站自动化、保护和控制的系统设计	14 (张长银译)
中压变电站用标准化控制系统	22 (吴梅译)
变电站微型计算机综合保护、控制和监视系统	28 (贾观宝译)
采用分布控制和保护单元的一体化远方控制与保护系统	36 (苏伯林译)
保护与通信和控制的协调	47 (王开斌译)
中压变电所协调控制和保护概念的效益及其实现方法	55 (严国平译)
一体化的变电站控制与保护——ESKOM的协调式保护方法	62 (陆杏全译)
变电站控制与通信标准——综合化数字技术的应用	69 (上官福海译)
数据流控制——一体化系统的关键技术	79 (吴梅译)
用于一体化数字保护和控制系统的光纤实时网络	86 (王开斌译)
一体化控制与保护系统在用新的分布方式实现的EMS系统中的应用	97 (苏伯林译)
保护与控制的发展——集中与分散智能控制间的权衡	107 (黄健译)
电力系统保护和变电所控制的趋势、时机和问题	114 (贾观宝译)
德国西门子公司的变电站综合自动化系统	125 (唐涛等编译)
变电站控制与保护工程：系统规范	137 (吴银富等译)
第1部分：系统要求概述	140
1、安装	140
2、环境	140
3、运行人员	141
4、维护与测试	142
5、扩建、扩充和改造	142
6、设计	143
7、文献资料	145
8、可靠性	146
第2部分：功能	147
1、线路故障保护	147
2、变压器故障保护	151
3、母线故障保护	154
4、断路器失灵与失灵保护	155
5、自动切换排序	157
6、电压和无功潮流的就地控制	159
7、本地人机子系统	160
8、年总加表计	163

9、远方 SCADA 接口装置	164
10、联络线跳闸	168
11、减负载	169
12、并联电抗器保护	170
13、转接跳闸	171
14、控制和转接跳闸通道的监视	173
15、事件顺序记录	175
16、负载监控与失步保护	177
17、自动重合闸	179
18、断路器与刀闸的检测与控制	181
19、同步检测和同期合闸	183
20、示波	185
21、线路故障测距	186
22、数据记录	187
23、事故报警和指示	189
24、推理检测	191
25、变压器过载监视	192
26、自检	194

以微处理机为基础的变电站保护和控制 综合系统的设计准则

(美) J. S. Deliyannides E. A. Udren (西屋电气公司)

[摘要] 本文叙述电力研究院主持研制的执行变电站继电保护和控制功能的综合微处理机系统的设计要求和办法,文中概述了该系统的结构、硬件和软件设计、功能特性和经济问题。本文还列举了这个明显不同的办法必将对用户带来的许多重大益处。

引 言

用于电力系统变电站的保护和控制系统与大多数其他工业部门所用的控制系统相似。两种情况下,来自设备的大多数中间信息传统上都是通过许多线路从变换器传送到中央控制地区。那里(指中央控制地区)的表板上装满了仪表、手动控制开关和单独选择、安装和接线的自动控制成套设备。然而,近年来,制造厂综合利用了发展中的电子技术,已制造出逐渐改变这种控制方法的设备。这就是把信息转换成数字形式,在通向控制区的单个中断线路或通道上进行多路传输,然后由控制区的计算机记录数据,控制中间操作和向操作人员提供数据记录。促成这一转变的因素是如何以较低的安装费用实现更高级的性能的潜在要求。

变电站保护和控制任务的关键性的区别使得电力公司工程技术人员对直接采用这种设备的热情有所下降。使用这些新型的中间控制设备不能获得大多数重要的变电站功能所要求的速度,诸如继电保护装置这样的关键系统的不可靠性的后果是灾难性的,因而不能鼓励不加选择地使用通用器件。

为了利用这个新的技术,电力研究院一面致力于解决电力公司关心的具体问题,一面发起一个研制变电站保护和控制综合系统的计划,西屋电气公司的几个部门已集中人员和设备能力来产生一个综合微处理机、大规模集成电路、数字通讯、多路分层结构和应用软件方面的最新成果的设计方案来执行继电保护和其他重要的控制任务。

本文描述变电站保护和控制系统研制的要求、目标和设计方法。重点放在用户要求和实现这种系统的效用的准则及设计小组在下述的具体设计中是如何满足这些要求的。

变电站保护和控制要求

在设计输电变电站用的控制设备系统时首先要注意其某些与众不同的特点。因此,第一步是列出这些特点并考虑它们所包含的内容。

高级继电保护和控制的必要性

电力公司工程技术人员对保护和控制装置的首要要求也许对于大范围的电力系统效应的安全性和可信赖性。通过测量信号中的极细微的区别迅速辨别事件是许多功能所要求的。因此，目前安装在变电站的高级继电保护和控制装置是为了维护电力系统的总体可靠性。关于这些装置，还需有与其他变电站和电力公司控制中心相接的通讯设施。

集中控制功能的必要性

为了获得执行有效保护和控制功能所必需的辨别能力，若干高度精密的传感功能的响应方式必须协调一致，这就意味着来自开关站的一切信息必须收集在中央控制中心里。

长距离

典型的空气绝缘超高压变电站的实际大小也许是它最显著的特点。这样带来的后果是为进行信号传输和电力设备控制，电力公司必须在开关装置和控制中心之间的数百英尺甚至数千英尺距离内架设许多线路。

抗电磁干扰

电力装置产生的严重的瞬时电磁干扰会对可能安装在开关站的低电平信号电子系统构成威胁。即便所有这些电子装置都安装在控制中心，瞬时磁场在很长的线路上感应出的很大电压浪涌还是回过来传导给控制中心和各个电子器件的终端。

事件记录的必要性

控制或保护元件的操作对输电网络的安全有直接的影响。因此，用户有理由坚持增加设备来监视这些关键器件的性能和操作裕度。记录装置必须能自动捕捉对重要的瞬态事件（如故障，功率振荡和开关动作）的响应。某些事件的时间比例关系必须维持以毫秒计的分辩率。这样记录的瞬时信息用于进行事后分析，使操作实践和控制策略进一步产生适应性的变化。

无人操作的必要性

由于某些变电站地处遥远，在现场配备操作人员费用大和对于控制动作所需要的速度，导致设计和建造无固定人员操作的变电站。这当然意味着一切普通的控制活动必须自动完成，或按通过监控和数据采集系统采取行动的远方系统的操作人员的命令来执行。

鉴于向变电站现场派送维修人员既困难，花费又大，从而进一步要求尽可能减少继电器和控制设备的维修，最好是有某种自我判断的方法或进行外部监视，以便一旦真的出了毛病可向系统维修人员发出报警。最后，设备即使在丧失运行能力的情况下，应能在一定水平上继续维持直至救援人员到达为止。

系统控制的必要性

许多现代电力系统的运行比数年前大大接近稳定极限。因此，对系统进行全面的集中监视和控制是现代电力公司的主要做法。若来自系统周围的数据收集起来进行详细的分析和模拟，其结果会引出改善系统安全的重新配置或重新调整命令。

在变电站，系统控制功能的执行必须得到接口设备的支持。这种接口设备向控制中心提供分类的数据，并从主站接收和执行控制命令。

定期改动的必要性

大的输电变电站开始几乎都不是按其最终的配置方案设计和建造的。比较典型的做法是，开始仅作为几条线的结点，经过数年，逐步发展为具有许多连接各级电网的线路和变

压器的大结点。

变电站扩大的每一步都需要增加控制设备。然而，可以重新安排现存的母线，因此需要对现用的控制设备和继电器进行较大的重新配置。这些装置应灵活可变以使用最小的力量和费用进行这样的改变。

现行设计的缺点

以上各节考虑了变电站环境的特点，这些特点引出目前用户安装在变电站的各个具体保护和控制装置。这些装置是使用要求与现有的机电和电子技术能力折衷的产物。为明确了解最新的技术进步可能提供帮助的方法，本节考虑目前使用方法的缺陷和问题，现将突出的缺点列举如下：

布线繁多

向每个保护和控制装置或系统的每个输入都分别设有端子。每个输入和输出在安装与改动期间都是单个连接的。由于各个功能组件一般都不能共同输入或输出，现场信号控制回路必须用它们（指功能组件）连到每个装置上。例如，一个电流就可以连到安培表、示波器、用于监控和数据采集系统的一个以上转换器和若干继电器或继电保护系统上。开关站接点的数目加上长距离就反映了可观的安装费用。

为帮助改变这种状况，需要的是实现功能集成化以便使设备所需要的相互连接降到最低程度。另外，大量的信号线应由某些多路传输手段来代替，这样就只需要拉几条长的信号载波线路。最后，如果这些信号载波线能够承受目前开关操作时有损于连接的控制回路的涌流将是尤其有益的。

事件和波形记录的费用

从上节得出用户需要详细记录设备对瞬时事件的响应的理由。要想监视通常的保护和控制装置，就需要增加购买和安装设备，这种设备价格昂贵，维修困难，其本身就很容易出故障。而且，它只能与有限数目的点相连接，从而使设备监视成为只是估计何处将出现问题的而已。最后，示波器和事件记录器极少揭示某部件失灵的原因。

用户很希望出现组合式的综合监视设备的继电器和控制装置。他们想要一个能记录一切可能有关事件的系统，附加有关的模拟值和精确的时标。那些不产生控制响应的小事件的记录将表示是否有充分的安全裕度。

故障和定期维修

常规的继电器和控制装置可能在没有任何迹象的情况下出现故障。因此，大多数电力公司都从事定期维修计划，每隔6个月至两年对设备进行试验和校验。执行这样的计划是很费钱的，仍然可能在故障发生以后很长时间还不能发现许多问题。另外，一些用户已经发现这种定期的人工检修也可能引起问题发生和出现由其本身引起的故障。

为了克服这些与故障有关的困难，设备必须有能自动和经常监视其执行功能能力的一些手段。这种自检方案不得长时间破坏正常的传感测量而延误关键的响应动作；设计中必须尽量减少为来回切换试验方式所用的容易发生故障的硬件。装置必须全面完整足以消除偶尔进行人工检查之外的一切措施的必要性；还必须确保校验及大量的功能执行。一旦某

种功能确实发生故障，必须立即发出一个远方报警以便派出维修人员。最后，如果电力系统出现了问题，在进行维修之前，装置必须尽可能以低性能或后备方式继续工作。

信息显示

目前在变电站中，有关控制设备操作瞬时信息的仅有的现成的局部显示设备是目标灯或指示灯和显示结点的示波图。所有其他的数据都失去了或存在瞬时事件记录器的磁带上，这种记录器需要专门的重放设备。信息是作为几个互不关联的记录发出的，因而使得复制不正确的或可疑的操作的任务难以完成。

如果设备本身能够产生全面的运行记录随后对它们进行滤波和组织，很快向变电站或远地的操作人员或工程技术人员提供显示，那末监视设备性能和了解对事件的响应的任务将会更加成功，耗时将会更少。一切重要事件，判据和响应应以单一、按时间顺序用英语显示的方法置放，并带有精确的时间分辨率。与操作不直接有关的数据应作为背景情况保存。

特性改进

大多数机电型或固态模拟继电器和控制设备所具有的动作特性充其量不过是设计人员所希望这些装置能达到的特性的近似值。经改进的设备更会从分析的角度来对待输入，使用更加精细的特性指标和判据准则，寻求数据中新的比例关系，并用更加尖端的逻辑元件以专门的方式处理例外的情况。

新的技术手段

前已研讨了现行保护和控制设备所不能实现的一系列有用的属性，现在来研究一下作为组件的硬件技术方面的最新成就，看这些新的手段能否提供所希望的性能将是有益的。下列各节概述了最近的技术进展，它们会有助于实现变电站保护和控制系统的最佳设计。

光纤通信

目前这种技术是以很细的玻璃或塑料纤维的形式产生低耗光波导而存在的。这些纤维加上适当的包层后装箱以便埋设在或拉向有通常接线伸展的地方。波导能够长距离载送宽带信号，衰减极小。光导纤维实际上不受电磁干扰涌流和暂态分量或各端点间接地电压差的影响。

微处理机

由于大规模集成技术的发展，使得集成电路制造厂目前能在一块单片上制造相当于5万个以上有源器件的复杂的逻辑电路，在改善密度的前景下，将来甚至会更多。现在已经有了单片完整的16位处理机，32位的处理机正处于设计的最后阶段，由于集成的规模增加，因此每单元功能的费用减少，每单元功能的可靠性也提高了。这种芯片式微处理机和组装在整体处理机板上的微处理机的可利用性使得配置大功率的多处理机分配系统经济可行。广为利用的16位处理机为保护算法需要的定点算术运行提供了足够的准确性。正在出现的新的微处理机将把浮点算术运算性能纳入处理机芯片内。

大规模集成电路

随着微处理机的问世，大量的大规模集成器件已经出现，它们可在小型的数字产品中

使用，这些器件包括通信接口处理机、输入—输出接口、大量的存贮器件如用于程序存贮的 PROM（可编程只读存贮器）、快速处理变化中数据的 RAM（随机存取存贮器）和长期大容量读写存贮的磁泡存贮器。

显示装置

虽然这些装置不是最近的发展，但它们代表着与通常变电站保护和控制所用的显示不同的一种技术。显示装置包括彩色 CRT，带键盘控制作为操作人员人机联系的一种手段。在此范围内，还可包括低价串行接口打字机。

以上叙述的新技术为上一节所述的许多缺点提供了经济的解决办法。例如，光纤在有电磁干扰的情况下便于进行信号的高速多路传输。微处理机为变电站内大量的保护端子提供了复杂保护算法的高速执行所需要的计算能力。大规模集成保证处理机提供了经济的通信接口和很大的存贮容量，而无须移动部件。最后，彩色 CRT 显示技术提供显示有关一个操作台的许多装置和事件的摘要和有组织的信息。

系统结构

如上所述，使用要求和目前做法有关的问题以好几种方式影响着系统的结构。具体地说，影响总体结构的准则因素有数据流量和取决于设计的可靠性、可维护性和冗余度等因素的系统可利用性。对于这些因素的考虑如下所述。

数据流

图 1 代表在数据源和数据流及控制信号的基础上看变电站的一种方式。大量的数据产生于开关站，开关站的电流互感器和电容电压器件传感测量出电力系统电压和电流的瞬时值。这些数据必须数字化然后从有干扰的开关站发送至有某种防干扰措施的控制室，在那里经过处理确定故障状态是否存在，采取适当的控制行动。传送到控制室的数据量是很大的，而发回开关站的控制信号的数目比较小。另有一条数据通道出人控制室。这种通道通向一个或多个远方主站，电力系统操作人员从这些主站监视和控制变电站设备的操作，保护工程技术人员也从这些主站监视故障情况，流向这些地方的数据量要比从开关站发往控制室的数据量少得多，所收到的控制信号的数目也很小。

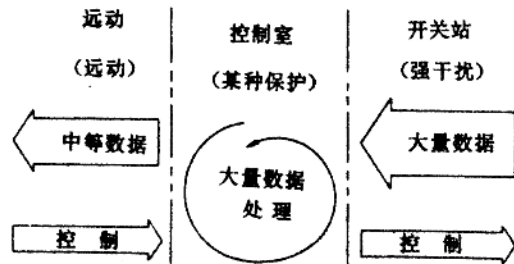


图 1 变电站中的数据流

根据这种数据流的分布情况提出了如图 2 所示的分层结构安排。在这个分层结构的顶端是一台中心站计算机，其功能包括监视、调整、分析和根据短期和档案数据作出报告。在

这一层上需要大量的存贮信息。幸好这一层上的数据流量不大,因此,需要的总计算容量即使对于大站也是实用的。分层结构的下一层是由几个分散的微处理机组构成的。在这一层,由根据直接数据操作的程序执行保护功能。分层结构的最低层由若干数据采集单元组成,分布于整个开关站,执行对电力系统信号进行同步取样和状态指示器的功能,并启动动力装置的控制回路。在分层结构的各层之间是接口,其带宽必须与上述数据量要求相适应。

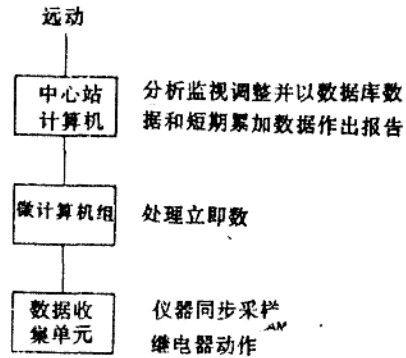


图2 变电所功能的分层结构

系统可利用性

系统可利用性和安全性对于保护工程技术人员是最重要的系统要求。影响可利用性的因素有硬件可靠性、用户检测和维修故障部件的能力和备用设备的使用。安全性也受影响于硬件和程序编入计算机算法的逻辑元件的冗余度。

我们已将常规继电器的可靠性与数字系统作了比较。虽然这种研究受到资料丰富的现场数据有限的可利用性的妨碍,研究结果表明新的设备设计和制造时必须十分注意平衡现行继电器的硬件可靠性。即使由于电路集成的规模增大而使可靠性预期会有相当大的提高,我们仍然相信系统可利用性的真正改善将来自其它因素,如通过自检进行自动检错,提高设备的可维护性及子系统的冗余度等。

有关数字继电器连接监视自身的操作和检测性能减退或功能完全失灵的能力是得到广泛承认的。在使用通常继电器的情况下,功能失灵可能直至某种扰动引起误跳闸或拒跳闸之后才被注意到。而数字继电器则不同,它们能够对功能失误立即发出指示。在故障检测和维修跳闸的间隔期间,闭锁输出,只有当冗余的后备系统投入运行后才能起始跳闸。

数字继电器的维修时间因自判断程序而减到最少。可维护性受到配置情况的极大影响。在各个子系统中间尤其在主子系统与后备子系统之间的独立程度愈高,可维护性就愈大。与此相反,由于为通过共用元件来提高经济效益而将子系统相互连接起来,可维护性反而降低了。

冗余度

有关冗余度的必要性及其对系统可利用性的影响前已讨论过了。可能有不同等级的冗余度。完全冗余后备的方法很象目前所用的方法。后备系统可以是同样的系统,也可以是设计不同的系统(即,数字继电器为主,常规继电器作为备用)。用这种方法可获得极高的可利用性,因为只有当主保护和后备保护同时发生故障和在其中一个修复之前发生故障时才会有不受保护的继电保护区。冗余度稍差但经济效益好的方案是采用故障接管式后备保护。在这个方案中,每个保护子系统所需的数据也传入通常处于闭置状态的一个后备子系统。当一个保护子系统硬件故障被检测到时,发生故障子系统的功能就由后备子系统接管。它的缺点是在第一个子系统修复之前,对第二个保护子系统的故障没有后备。冗余

度的另一方面是使用多极变换器。在目前的保护方案中,每个冗余保护系统都是与本身的信号源相连接的。例如,如图 3a 所示,同一地的 4 台电流互感器向多个地区的主继电器和后备继电器提供冗余信号。图 3b 表示如果保护子系统能以固定方式共用输入数据,如何尽可能减少变换器的冗余度。注意对于每个保护区仍然有两个数据来源。

配置的基本规则

对硬件费用的考虑仅仅导致一个具有最少硬件的结构。然而,还有其它一些因素间接影响费用。例如,模块结构,重

新配置的方便程度和软件特点等对系统总费用的影响可能比硬件费用大得多。因此,有必要进行综合分析减少系统的总费用。

对于许多考虑了上述准则的配置方案都做了这样的分析。某些通用的配置的基本规则和希望选择的配置方案就是从这种分析研究中得到的。通用的基本规则是:

- 分层结构有三层;
- 在低层需要快速通道,顶端需要慢速通道;
- 保护子系统之间需要进行偶尔的但最优先权通信;
- 保护功能应能独立执行;
- 功能处理机按组配置;
- 数据采集单元放在开关站;
- 所用数据采集单元的地址和数目应有灵活性;
- 应能灵活选用后备的方法。

由该工程项目研究人员找到将这些所希望的特性很好地结合起来的配置方案如图 4 所示,将在下一节予以说明。

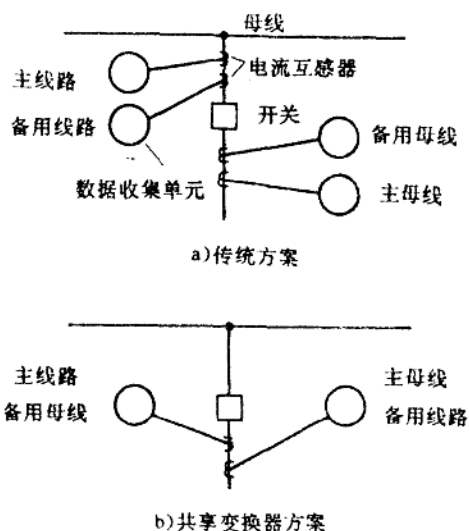


图 3 变换器冗余度

硬件说明

图 4 所示的配置方案是由 3 层的分层结构组成的。在最低层是开关站中许多数据采集单元中的一个,它以每电力系统周波 16 次的速率对电流、电压和动力装置的接点状态的瞬时值进行取样。对于为控制断路器和其它器件所需的数字输出该单元也有准备措施。一个 1MHz 的串接连线把数据采集单元连到分层结构的下一层(保护微处理机组)上。保护逻辑

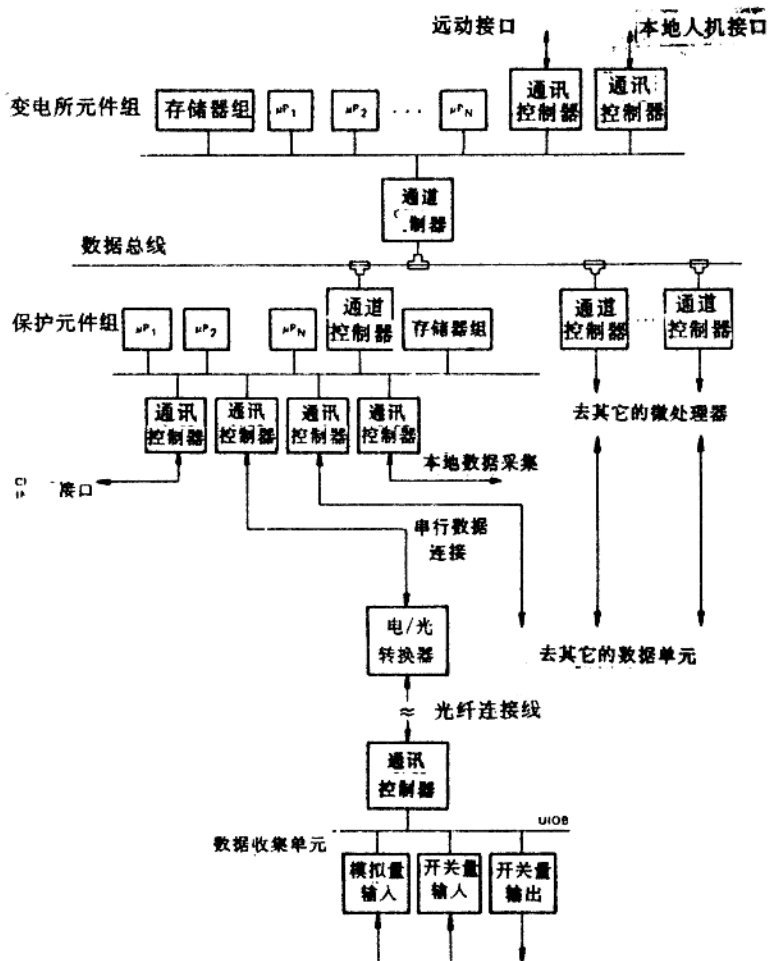


图 4 系统配置

运算和计算就在这一层利用从数据采集单元收到的瞬时电流和电压取样进行。当某一特定的继电器程序区内出现了故障时，就通过串接连线和数据采集单元向断路器发出跳闸信号。分层结构的第 3 层（在顶端）是变电站的微处理机组。这一层有系统数据库，人一机接口系统和与远方 SCADA（监视与数据采集）主站的接口。每个保护组都通过串行数据通道与变电站组和其他保护组相连接。保护组充当数据集中装置，把大量的瞬时取样转换成稳定

的有效值供变电站处理机组使用。在下列各节，对三个层次上的设备将予以更详细的叙述，然后说明系统的总操作方法。

数据采集单元 (DAU)

数据采集单元控制器通过串接数据连线接收和发送数据并控制和接通用 I/O 总线 (UIOB) 上的数据流。当同步信息从保护组收到时，数据采集单元控制器开始取样，进行模拟输入，收集状态输入，将模拟输入转换成数字形式并按时序信息格式通过串接数据连线，把全部信息直送相应的保护组。3 个 I/O 插件和图所示连到 UIOB 上，高速模拟输入插件上有取样和保持电路，抗混迭滤波器 (Anti-aliasing filter)，模/数转换器 (动态范围 14 位，较快的转换时间为每点 60 μ s)。接点输入插件执行隔离、电平位移和数字接点解跳逻辑功能。接点输出插件高度安全地提供输出继电器传动，并有对闭锁信息的选择、反检装置和一个执行信号。

串接数据连线

串接数据连线接口提供数据采集单元和保护组之间的通信。传输介质可以是共轴电缆 (当数据采集单元装在控制室时)，或者是光缆 (当数据采集单元装在开关站和希望不受噪音干扰时)。数据连线两边的调制解调器用带 3MHz 载波的数字调频调制信号。所用的信息结构方案是 IBM 同步数据连线控制方案的子集合 (subset)。在使用光纤作为通讯介质时，备有电—光和光—电转换器。

保护微处理机元件组

保护组是一个装着 INTEL8086 16 位微处理机板和通过 INTEL 多路母线全部连在一起的外部共用存贮器的多处理机配置。其中还包括通讯控制器，为与串接数据连线，串接数据通道，载波信道设备进行通信，也为与本侧数据采集单元进行通信以便处理控制室里出现的信号。通信控制器附接于多路母线能够直接向组共用存贮器进行存贮器存取。

我们是在对现有的 16 位微处理机产品作了一番评价、充分研究之后才选择 INTEL 作为微处理设备的卖主的。评价准则包括现用设备的性能，片和板上大量保证产品的可利用性，软件保证——尤其着重于 PASCAL 高级语言，卖主的可接受程度和是否长期承担供应最新的微处理机系统等。

串接数据总线

串接数据总线接口是保护元件组和变电站元件组中间的通信媒介。在某些后备继电保护的情况下，如断路器不能排除故障，就利用总线从一个保护元件组向另一个保护元件组传送控制信号。总线的媒介物是共轴电缆。从电气的角度看，该设备与用于串接数据连线的设备是一样的。但是信息结构方案是高级数据连线控制方案的子集合，因为在多站的情况下，需要具体说明信息源和终点。数据总线通常用于主从方式，以站处理机为主定期查询每一个保护元件组。

变电站元件组

变电站元件组与保护元件组配置相同的计算设备型式。其功能是维护中央系统数据库和向外界提供接口——当地是通过人一机接口提供给变电站操作人员，远方是通过 SCADA 通信接口提供给系统操作人员和保护工程技术人员。对于这些接口，其控制器附接于 INTEL 多路母线。当地人—机接口由一台打印机和一台彩色图形 CRT 组成。

系统操作

用于高速继电装置的保护算法需要从与保护区连接的所有变换器获得电流和电压的瞬间取样。因此，不同数据采集系统的取样瞬间的同步化是该系统的关键要求。同步是通过跟踪线路频率和把每周分成16个间隔来实现的。各组之间的时间偏差通过定期在数据总线上发送同步信号来消除。在每个同步取样间隔开始时，每个保护元件组通过相应的数据连线和其数据采集单元发送信息。数据采集单元立即取样并保持模拟值，按顺序将转换了的模拟和数字信号发回保护元件组。各组的通信控制器将这些数据存入预定的共用存储器缓冲装置。当所有的数据都到了以后，保护程序开始处理新的信息。由保护程序产生的输出是送往数据采集单元起始断路器操作的控制信号，还加上事件信息保护和控制系统将包含的一系列功能。其中最重要的功能的程序将编入目前正在制造的首台样机中。

这个功能表是经过工程研究人员，主办单位电力研究院和其它5个代表电力研究院的电力公司顾问们讨论之后汇编而成的。对于每个功能都已汇编出有关具体性能，动作特性和工作原理，整定范围，操作人员输出和其它由用户提出的规范等内容的总表。这个要求文件提供了书写应用软件的关键导则。

这些功能被组合进以下四个方面。

保护功能

在这个范围内，包含了所有的高速继电保护程序。它们设计成用来自常规的电流互感器和电容式电压互感器的信号进行工作，但也能容纳其他的变换器，如电力研究院/西屋超高压电流变换器。

线路保护。每个终端的断路器对于沿保护输电线路任何地方的故障都高速跳闸。导引和无导引保护程序都包括在内。一旦远方终端的继电器或断路器发生故障，延时的远方后备保护就跳开线路。样机将使用距离测量算法加上导引逻辑元件，相当于目前的方向比较闭锁装置。

在西屋和其他地方已经研制出的软件算法技术的十分重要的基础可用于有效的，快速的，安全的输电线路保护。

变压器保护。这个程序对于保护区内的任何故障可迅速跳开断路器来隔离变压器组。主保护装置使用比例一差动测量，可区别开内部故障和穿越故障或合闸电流。跳闸逻辑原理还包括过励磁效应，时间过流和突然压力；如果设有适当的变换器，则再增加过温度和气体分析。

母线保护。故障发生时，相位比例差动保护跳闸，接地差动过流作后备。程序设计用来自常规铁心式电流互感器的信号，这种互感器不必相互连接，也不要相匹配的变比。备有自动重合供选择使用。

开关失灵和故障保护。当开关的跳闸回路由继电器上电，通过开关的电流在预期时间内并不衰退时，就起始跳开所有的邻近的后备开关来隔离故障和功能失误的开关。开关接地电流互感器如果有电流的话，也会触发后备跳闸。

并联电抗器保护。过流、差动和阻抗测量程序可检测与线路相连的第三电抗器中的故障。还包括专门的匝间保护。

转换跳闸。对于远方跳闸的要求按规定路线发送给现行型式的转换跳闸发射机。在使用双通道的情况下，对接收机的输出进行比较，看是否有不一致的现象。如果备有高速接地开关，就用闭合该开关作为转换跳闸的后备。

自动控制功能

对电压和无功伏安潮流的当地控制。程序通过改变变压器的低压电流、切换电容器组、电抗器组或同步凝汽机来控制电站或远方测量的电压或无功伏安潮流。

连接跳闸。当连接邻近电力公司的专门线路表明有持续大量的功率流出和频率下降时，就产生一个跳闸信号或警报。

减负荷。在频率连续下降时，就投入预选的负荷闭锁装置。系统频率恢复正常时，这些负荷将自动恢复。

自动重合闸。在线路故障被高速排除之后，则开始重合断路器，如果需要可重复重合多次。另外还提供有选择地装入工作母线/空线和同步等监视检查装置。对母线故障也提供重合闸特性。

检同期和同步器闭合。测量外露的断路器对侧电压之间的大小，相位角和频差以决定何时闭合断路器安全。自动闭合程序可任意选择地考虑滑差频率，相位和断路器接点闭合时间以使接点恰好在相差通过零时接通。还有对插头变换器，励磁机，调速器和相角调节器的控制。

自动切换顺序。在某些配置方案中，为排除线路或母线故障而跳开断路器可能造成不必要的隔离无故障设备。在这种情况下，可在程序中编入故障后自动控制顺序，让完好设备恢复运行。该顺序可以自动地或根据操作人员要求启动。这种顺序的例子是母线转换，分组，隔离故障变压器和粘接的断路器。

监视功能

导引和转换跳闸通道监视。手动或自动起始对导引保护和转换跳闸通道的回检试验。对于每个通道类型还设有单独的试验顺序。根据设计，它们不妨碍故障期间的通信。

负荷监视和失步保护。对过大的线路电流进行监视和报警。还可对明显的线路阻抗轨迹进行监视和记录。最后，当线路电压角计算表示电力系统各种机器正偏离同步时，就采取预先编有程序的将系统分为平衡的几部分的策略。

监视和控制断路器和开关。监视每个断路器和开关的状态，控制和协调其操作。监视检查包括辅助接点和电流或电压数据之间的协调一致，滞后相位的定时和持续相位不一致的检测。控制操作包括单向操作，对同时或相互抵触的请求的仲裁（自动对手动），通过电压或同步检查，锁定终端整定和拆除逻辑元件来闭合监视。

推断测量检查（变电站状态估计）。通过将每个交流信号读数与其它有关的读数进行比较来检查是否前后一致。使用每相的相差比例关系来检查电流。检查电压的方法是确认同一相位上两个连接点的电压相同。变压器绕组上的电流和电压应按变压器变比和抽头位置成一定的比例关系。发现错误的测量将被准确地指出和纠正。

变压器过载监视。监视变压器的温度、压力、气体分析和电流。程序每小时累计最大兆瓦和兆乏值和过载历史数据。其它计算包括估计变压器在正常和紧急情况下的剩余负载能力和估计变压器的预期寿命。

自检，在处理机空闲时间，按最低优先权执行检查程序，以此来监视系统中每个硬件是否完善。如有冗余设备，就在主系统发生故障后执行有秩序的转换。检查程序包括两个方面：通过设备特征检查系统硬件的程序和通过与使用有关的已知特性（如三角电压组的大小和平衡）检查输入数据的有效性的程序。

系统接口、数据采集和显示

在这个范围内包括所有与保护和控制系统同外界——SCADA 主站和本机操作人员——之间的接口有关的功能。

当地人—机子系统。这个子系统使当地操作人员能够通过带键盘和按钮操作台的 CRT 显示和记录数据来执行手动操作，起始和监视判断和维修试验功能。

远方 SCADA 接口。通过这些程序、系统与一个或多个运方主站进行通信。它对来自主站的数据检索，控制选择和起动的专用数据的返回要求作出响应。监视通信线路和接口设备的完善性和误差统计，检测到出现问题之后进而采取故障接管行动。

警报。记录系统中的一切事件（包括极限扰乱、设备操作、警报解除、操作人员动作和关键的软件决断）。根据记录，提取不同范围的事件和警报，当地显示或传送给远方操作人员。

数据记录。一切记录下的操作信息都在 CRT 或打印机上按一定格式显示出来。有关发往主站的报告的信息准备通过 SCADA 或拨号式接口传递。

功率测量。使用高精度的取样计算有功与无功功率。系统记录下千瓦小时、千乏小时，千伏安小时和能源要求，并累加来自常规功率计的脉冲能量。

事件顺序记录和指示。一切继电保护决断和事件，一切电站设备的操作都准确地注明时间并加以贮存。一旦操作人员要求或在预定的自动状态（发生故障，装填缓冲器，错过时间）下，当地显示事件记录文件的顺序或传送给 SCADA 主站。

示波。在故障期间收集和贮存经过选择的原始的电力系统交流信号取样。原始数据被发往变电站处理机供记录。显示或登记或转给外部接口。波形可用原形或均匀曲线显示。

线路故障探测估计。线路故障期间存贮的原始电压和电流信号数据用以计算从继电保护装置安装点到故障间的可见实际距离。

软件设计

软件在完成数字系统中的重要性，不管怎样强调都不会过分的。硬件的费用已在持续下降，而软件费用，即规范、设计、实施、试验和系统操作所需要的处理机程序的文献资料等费用却在如同空中火箭般的速度上升。因此，有必要选择使用有助于减少总软件费用的手段和方法。

普遍承认使用高级语言是减少软件费用的唯一方法。使用高级语言不仅能提高编码的效率而且还能产生易于调试、编制文件和维护的程序。工业上同微处理机有关的受到广泛注意的一种高级语言是 PASCAL。PASCAL 有一个包含在严密的成组结构中的清晰的语法。该结构支持所有需要的控制语句和容许加入由程序设计人员规定的数据结构。然而，和一切高级语言一样，PASCAL 也有它的局限性，必须审慎使用，只能在其局限性不会危害系统特性的那部分场合。其中一些局限性是在做 16 位定点算术运算时的运行效率低，分辨率不够。

另一个可能有助于软件产生的因素是适当的软件服务程序（在线和离线）的可利用程度与使用。在线系统服务程序对于保护元件组和变电站元件组的处理机有点不同。在保护

元件组，服务程度包括时钟和同步管理，数据总线和数据连线处理子程序，顺序安排和延时子程序及系统启动。变电站元件组包括大多数这些子程序，再加上管理连接于本组的专用器件（即 CRT、打印机）需要的某些子程序。除了在线系统服务外，还需要离线程序开发和维护设备。这些包括元件编辑设备、语言处理机（PASCAL 和汇编程序）、连接输入程序和调试软件包。在执行这个计划中，使用了两个开发设备。一个是通过远方终端存取的大型计算机。用这个计算机是为了进行原程序编辑和独立程序的汇编与执行。第二个设备是带联机仿真的 INTEL 微处理机开发系统，它使得在特定程序计算机的情况下的程序执行成为可能。

可能提高软件效率的最后一个领域在于有关设计、文献资料和试验的方法。本工程正在利用由结构程序设计鼓吹者所推荐的做法和技术。第一，在设计过程中奉行自上而下的方法。每个功能都是从广泛的功能意义上加以规定的，规定要能鉴定进出该功能的输入与输出的等级。其次，把每个功能分为一个以上的从属模块。对每个模块加以说明，鉴定其输入输出并通过时序时钟图表示模块间的相互作用。每模块的逻辑流程绘制成 Nassi 和 Shneiderman 提出的结构图的形式表示。在过程的每一步，设计者都产生一个文件。总程序设计在写计算机程序以前完成。设计之后是编码和各个模块试验。试验采取自下而上的方法，即把各个程序集中于功能，功能集中于组，组相互结合并与变电站处理机结合而成为一个系统。为了试验保护算法的动态特性，研究人员打算用电力系统站仿真机来试验数字式继电保护系统。

工程小组期望通过使用上述技术和方法，系统能按预定时间研制完成并经过试验。在工程后期，所收集的文献资料将有助于将来进行维护和更新这个设计。

（经济问题，结论、参考文献略）。

译自 IEEE Trans. on PAS. 1982. 6 vol. PAS~101. No. 6 P1664—1672

路盛元 译
刘昌约 审