

电力系统的分层控制系统

[日]供电常设委员会
杨蔚百 王锡凡译

电力工业出版社

内 容 提 要

本书是日本供电常设委员会对电力系统的分层控制系统进行调查研究后而写成的。书中论述了电力系统分层控制的必要性和特点，列举了分层控制系统理论研究的实例；还以具体的分层控制系统为中心，说明了自动化的内容，系统的构成，将来的展望及今后研究的课题；最后对日本综合自动化的动向及欧美各国分层控制系统的进展也都作了介绍。本书第五、六章由杨蔚百翻译，其它章节由王锡凡翻译。

電力系統における階層制御システム

給電常置専門委員会

電気学会技術報告(Ⅱ部)第37号，昭和50年10月

电力系统的分层控制系统

[日]供电常设委员会

杨蔚百 王锡凡译

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六辅坑)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 7 $\frac{3}{4}$ 印张 161千字

1980年3月第一版 1980年3月北京第一次印刷

印数 0001—8840册 每册0.80元

书号 15036·4021

前 言

近年来电力系统日益大规模复杂化，社会上对提高电能质量的要求也更加严格起来。

在这种情况下，为了电力系统安全、经济的运行，需要更高的系统运行技术。一方面，需要把已有的以频率-有功功率、电压-无功功率控制为主体的自动化，扩展为以保证电力系统可靠运行为目标的安全控制；另一方面，还要促进以节省劳力为主要目标的个别元件控制的自动化及集中控制。控制所的规模也正随着控制用电子计算机的引入而不断地扩大。

在这个形势下，为了从中心调度所到末端发、变电所进行统一的电力系统操作和运行，电力系统正在向综合自动化的方向发展，而就这些控制系统的总体来说，充分体现了电力系统所具有的分层结构的特点，所以趋向于在电力系统中应用分层控制系统。

日本供电常设委员会为了确定今后电力系统自动化的指标及其实现的技术基础，对于“电力系统的分层控制系统”进行了调查研究。

为了使有关技术人员对“分层控制系统”有比较深入的理解和认识，并为具体实现电力系统自动化提供一本参考资料，特把调查研究的结果汇总为本报告。

在本报告中，首先叙述了分层控制的必要性、特点及分层控制系统理论研究的实例；然后以具体的分层控制系统为中心说明了自动化的内容、系统的构成、将来的展望及今后研究的课题；最后介绍了日本综合自动化的动向及欧美各国分层控制系统的进展。

目 录

前 言

第一章 分层控制系统的背景及必要性	1
1-1 分层结构及其控制系统	1
1-2 电力系统的分层控制系统	3
一、电力系统综合自动化及控制系统	3
二、电力系统分层的方式及分层控制系统	4
1.按照控制水平划分 2.按照模型化方法的不同进行划分	
3.按照组织分层(物理结构)进行划分	
三、分层控制系统的优点	6
四、最佳控制系统构成的途径	8
第二章 分层控制系统理论的探讨	11
2-1 系统分割规模的确定	11
一、从经济上选择系统分割规模的方法	11
1.控制所、信息传送系统的设备费用 2.最佳规模的确定	
二、根据经济性与可靠性确定系统分割规模的方法	16
1.经济性的论证 2.可靠性的论证 3.最佳化问题及其解法	
三、按自动化功能确定系统分割规模的方法	27
1.理论探讨时的各种假定 2.自动恢复操作的评价	
3.数字例(1000兆瓦模型化系统)	
2-2 分层控制系统的可靠性设计	35
一、可靠性的评价方法	35
1.可靠性 2.实效可靠性 3.信息到达度	
二、分层控制系统冗余度设计	51

1.系统元件的多重化和费用的限制	2.最佳冗余度的设计	
方法	3.最佳冗余度设计举例	
第三章 分层控制系统的具体模型		62
3-1 模型的考虑方法和功能的分配		62
1.分层的级数	2.调度工作与运行操作的结合	3.设备
维修部门与运行部门的关系	4.配电线的控制操作	
3-2 三层控制系统模型		64
3-3 二层控制系统模型		67
第四章 分层控制系统的自动化内容		68
4-1 自动化项目		68
4-2 自动化的内容		69
一、调度计划		69
二、系统控制		74
1.频率-有功功率控制	2.电压-无功功率控制	3.系统
操作		
三、系统监视		77
四、记录		77
五、信息联络		79
第五章 系统的构成		80
5-1 控制用计算机系统		80
一、控制用计算机		80
二、计算机类型的选择		81
1.选择类型时的考虑方法	2.硬件的功能	3.内存和外
存的容量		
三、计算机的响应性		91
1.容许响应时间	2.响应时间的设计	3.提高响应性的
措施		
四、可靠性		95
1.系统的可靠性设计	2.双工系统	3.双重系统

4.多计算机系统(MCS)	5.系统的安全性	6.提高可靠性的措施	
五、计算机的结合方式	.....		105
1.与远方计算机的结合方式	2.与附近计算机的结合方式		
六、人机联系装置的选择	.....		108
1.开关操作	2.系统状态的监视	3.运行记录	
七、不停电稳压电源装置(CVCF)	.....		110
1.CVCF的型式	2.电源容量的确定	3.蓄电池设备	
5-2 信息传送系统	.....		115
一、分层控制系统的信息传送系统	.....		115
二、传送信息的种类、品质、容量	.....		115
1.种类	2.品质	3.容量	
三、信息传送方式	.....		127
1.传送速度和频带	2.循环数字信息传送装置(CDT)		
3.通讯信息传送装置(MSG)	4.CDT与MSG的比较		
5.信息传送装置和计算机的结合方式			
四、信息传送的控制方式	.....		140
1.电力用数据交换装置	2.线路连续自动监视	3.信息流控制	
五、各分层信息传送网的构成	.....		143
1.中央控制所或中间控制所 \longleftrightarrow 大容量发变电站	2.集中控制所或地方控制所 \longleftrightarrow 小容量发变电站	3.上位控制所 \longleftrightarrow 下位控制所	4.其他地方的信息传送方式
5-3 大型集中控制的远方监控系统	.....		149
一、分层控制系统的集中控制技术	.....		149
二、远方监视控制装置	.....		149
三、集中监视控制方式	.....		150
四、集中控制系统的控制用计算机的利用方法	.....		151
1.远方监视控制装置和计算机的功能分配	2.远方监视控制装置与计算机的结合方式		

五、提高可靠性的方法	157
六、大容量一次变电站的远方监视控制方式	160
5-4 软件	162
一、设计概论	162
1.对软件的要求 2.系统的协调控制功能及其评价	
3.通过软件实现的系统协调控制功能	
二、通过分层控制系统的软件实现的协调控制功能及 有关问题	168
1.任务管理功能 2.硬件管理功能 3.恢复管理功能	
4.作业管理功能 5.数据管理功能 6.通讯信息传送管 理功能 7.CRT显示管理功能 8.多重处理系统管理 功能 9.分层控制的协调控制功能	
第六章 对将来的展望和今后应研究的课题	184
6-1 电力系统综合自动化的展望 ——分层控制系统的形成过程及变迁	184
6-2 采用分层控制系统时今后应研究的课题	186
一、关于电力系统的调度技术	187
二、关于调度组织	187
1.关于组织形式 2.关于保证所需人员的培养 3.关于 有关规程的修正 4.关于大区域经营管理的课题	
三、关于计算机应用技术	189
1.关于软件方面 2.关于硬件方面	
第七章 日本综合自动化的动向	194
7-1 调度自动化	194
7-2 发变电站的自动化	194
7-3 综合自动化设想	195
第八章 欧美各国的分层控制系统	209
8-1 英国中央发电局(CEGB)	209
1.自动化的现状 2.今后自动化的设想	

8-2	法国电力公司 (EDF)	211
	1.自动化的现状 2.今后自动化的设想	
8-3	西德汉堡电力公司(HEW)	216
	1.自动化现状 2.今后自动化设想	
8-4	美国	219
	1.MEPP 2.PJM 3.NEPOOL	
	参考文献	225

第一章

分层控制系统的背景及必要性^{[3]~[8]}

1-1 分层结构及其控制系统

世界上具有个体与整体、子系统与整体系统这类关系的事物是很多的。如从基本粒子到宇宙的自然界，由细胞到组织、器官、人体以至社会中的人类；又如社会的组织结构及工程上的各种控制系统等等，不胜枚举。这些事物的各构成元素相互结合在一起，形成了分层结构，其整体则为了实现某一目的在有意识或无意识地运动着。

在充满着分层结构的现代社会中，特别是工业部门中所出现的具有复杂组织的大系统，为了对它们进行完善的管理、运用和控制（这些可用“控制”来概括），就必须对这些系统所具有的分层结构有意识地积极地加以利用。

要一举设计构成一个巨大完整的系统是有很多困难的。但我们可以采取把具有不同功能的现有系统统一起来，或把新系统和现有系统有机地合并起来的方式，以得到具有优越控制功能的控制系统。这种方式是比较现实的，因而可以认为是一种适当的处理方法。

控制系统这种构成方法的基础，在理论方面有已经应用的控制理论、系统工程学、组织论，还有正在处于发展中的子系统协调理论，在控制的实践方面有近年来飞速发展的计算机和信息传送技术，所有这些正被提高到可能实现大规模分层控制系统的水平。

上述由分层结构形成的控制系统称为“分层控制系统”。

下面我们仅就分层的问题作一些解释。

对我们来说，容易掌握的分层结构往往是从该系统的物理结构上进行分层的。但是，即便是从物理上来看，作为一个控制系统，也可以根据控制的复杂程度和控制目的的差异，把控制动作从功能上进行分层或划分，并且把一个控制系统看作是由这些功能联系起来而构成的。

因此，一般所谓“分层控制系统”是指『从物理结构上或从功能上进行分层，使由此而形成的各子控制系统的动作（如控制决策或操作等）从整个控制系统来看达到最恰当的控制效果，并自动或人工地把这些动作协调起来，遵循某一控制目标而工作的系统』。

分层控制系统的一般特点可列举如下：

（1）子系统的分工及其功能的协调 当由于专业分工，使各子系统为达到其控制目的而出现互相排斥或矛盾的时候，必须对各子系统及其功能进行统筹和协调。

（2）子系统的专业化对系统响应特性的改善 控制系统的动作必须在某一容许时间内完成，在同时出现多个控制要求的情况下，为了进行串行信息的收集和控制处理，容易引起处理时间的延迟。这一点可以由子系统的分工和专业化而得到改善。

（3）控制规模及控制功能的分散对系统可靠性的提高 控制系统局部故障时，如果控制系统容许某些功能短时间下降，则由于对整个系统分层而进行分割的结果，使故障影响限制在局部范围内，这样就更易于保证控制的可靠性。

（4）对控制系统变更和扩大的灵活性 对于经常变更和扩大控制对象及控制功能的大规模系统来说，如果把它作

为分层、分割化而形成的子系统的集合来看，则容易应付局部系统的变更和扩大，因而具有适应系统发展的灵活性。

1-2 电力系统的分层控制系统

一、电力系统综合自动化及控制系统^{[7]、[9]}

从保证供电的连续性及节省劳力等观点来看，电力系统的调度、运行都迫切要求实现自动化。

为此，在供电自动化方面要求把过去以频率-有功功率控制、电压-无功功率控制为主体的领域进一步扩大，从防止运行人员的误操作开始，逐步实现对系统正常运行及事故情况下的可靠性控制。

在发、变电站自动化方面，除个别元件自动控制以外，还应促进集中远方监视控制的发展。随着集中控制所规模的扩大，它们还可担负部分的供电功能。在自动化供电领域扩大及发、变电站自动化进展的同时，它们的综合自动化有以下发展趋势：

①供电调度和发、变电站运行同时实现自动化，使它们在硬件上也可能发生联系，这样就可以把操作命令与机器的直接控制操作结合起来，因此能够收到进一步节省人员的预期效果。

②把在短时间内运行人员来不及处理的逻辑判断和计算也纳入自动化的功能，从而可以维持或提高控制的功能和特性。

③对于多路的自动控制系统来说，作为公共的必要的信息可有效地利用同一数据源，避免重复，使信息传送网合理化。

④使计算机、远方监视控制装置、信息传送装置等设备尽可能地共用，可使控制设备合理化。

在推行上述综合自动化时也遇到一些问题，其中一个重要的问题，就是“在调度所、控制所和发、变电站的各组织分层间，怎样分担和综合协调控制功能，以构成达到预期目的的控制系统的”的问题，也就是如何从组织上进行分层以形成分层控制系统的问题。

二、电力系统分层的方式及分层控制系统^{[2]、[10]}

依照麦萨罗维克 (Mesarovic) 的观点，电力系统的控制系统的分层及分割方法可按以下三种方式进行：

1. 按照控制水平划分*

由于按照控制决策的复杂程度划分，所以系统分层的基础是进入系统的干扰的周期。例图1-1所示的直接控制、最佳控制、自适应控制等就是按这种观点分层的。

2. 按照模型化方法的不同进行划分**

当同一控制对象从不同的角度模型化的时候，可以对应于各模型划分子系统。如图1-2所示，根据电力系统的控制模式，将系统划分为预防控制、恢复控制及紧急控制的就是这种分层方法。

3. 按照组织分层（物理结构）进行划分***

各子系统在物理结构上有明确的区别，而在形成分层时，可依照分层的情况再对其本身进行纵的分割。例如目前的调度组织系统就属于这种情况，一般如图1-3所示。所谓分层控制系统 (hierarchy system) 往往就是指这种分层方式。

* 由这种划分而得到的子系统在文献中有时称为“Layers”。

** 由这种划分而得到的子系统在文献中有时称为“Strata”。

*** 由这种划分而得到的子系统在文献中有时称为“Echelons”。

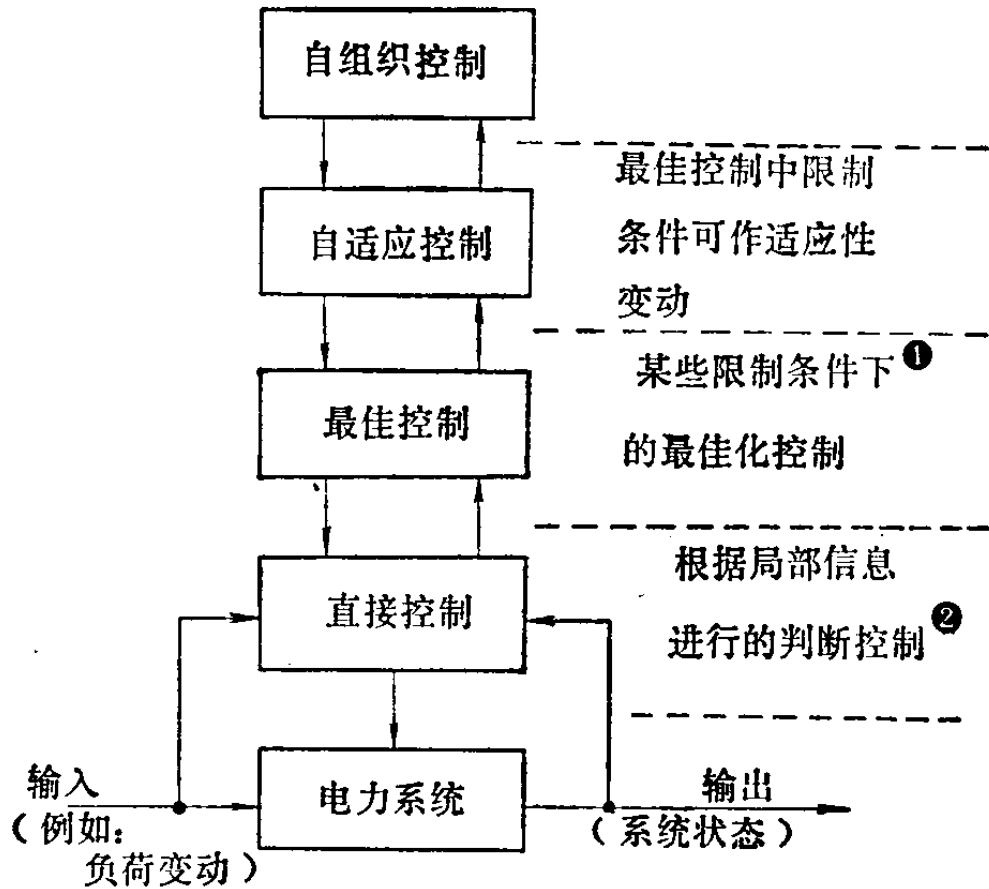


图 1-1 按照控制水平划分系统

- ① 例如设备的电流限制，电压容许范围及供电的可靠性等。
- ② 继电保护及各种系统控制装置等的控制。

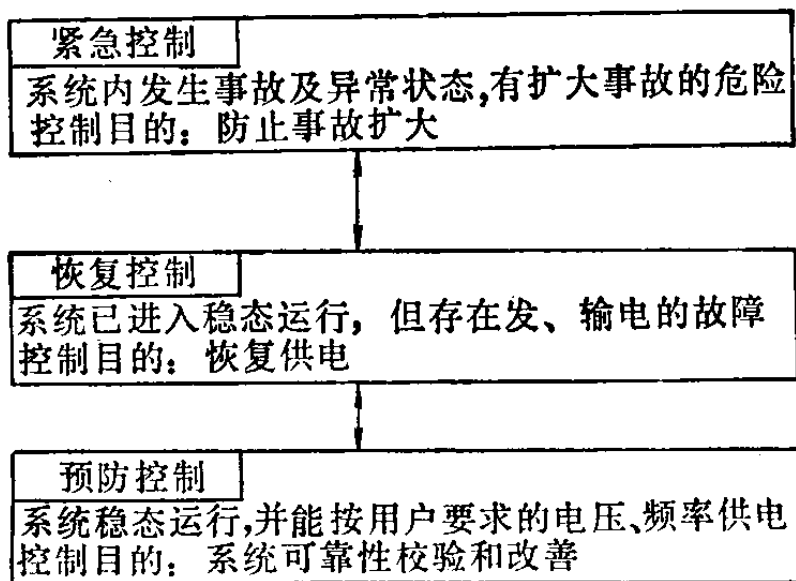


图 1-2 电力系统按照模型化的不同方法进行划分的例

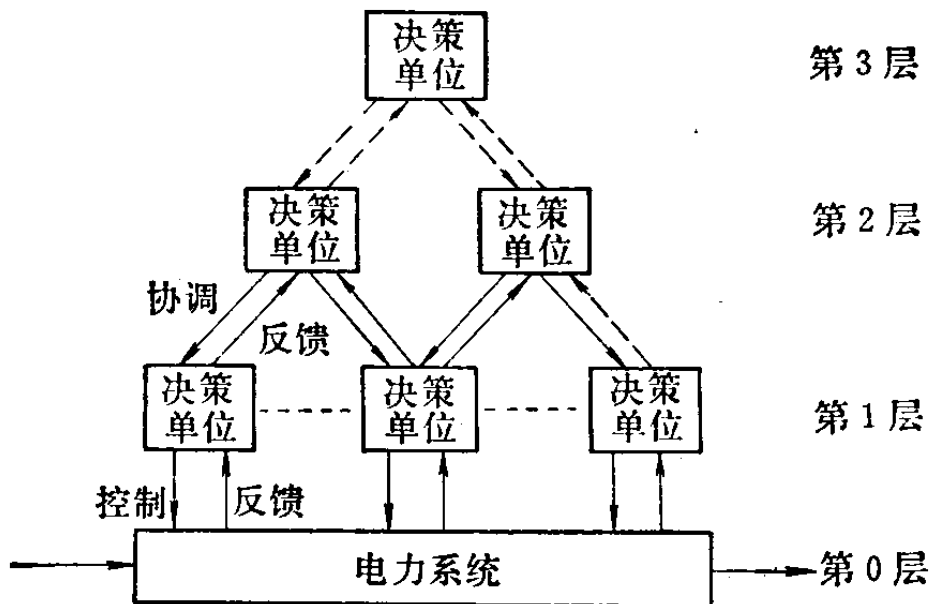


图 1-3 按组织分层进行分割

如前所述，在我们推行综合自动化时，遇到的一个重要问题就是从第三种分层方式，即从组织分层的观点如何形成控制系统的问题。特别在各分层各环节中已具有相当自动化的系统硬件的情况下，这个问题就更加突出。

因此，我们这里所提出的电力系统分层控制系统将采取以下的定义：“担负电力系统调度、运行的环节在所构成的分层组织中为了完善地进行调度和运行，各环节中都配备有自动处理装置，它们根据自动或半自动的信息交换分别完成决策、调度命令或实行操作等功能，而对这些决策、命令和操作等进行统筹协调的控制系统就称为分层控制系统”。

三、分层控制系统的优点

电力系统具有相应于电压等级的分层结构。现代的调度组织也具有由中心调度所及其下属的许多供电所、控制所形成的分层结构。因此，为了构成达到预期目的的综合自动化系统，把所有正在发展中的供电所、控制所及发、变电站的自动化完善地协调起来以形成控制系统是比较现实的。

不言而喻，随着计算机及信息传送技术水平的相应提高，从局部来看总是要谋求控制系统的相对集中化。这样，从全局来看，也就自然地形成了分层控制系统。

从电力系统综合自动化的观点来看，分层控制系统具有以下优点：

（1）它是适合于电力系统结构的系统 电力系统具有相应于电压等级的分层结构，并且在地区上是分散的。因此由下述两点可以看出分层控制是比较理想的控制方式：

①从系统的调度、运行来看，有很多问题可以由地区单位或局部地判断处理，因而可利用分散化的系统进行处理；

②运行单位必须和检修单位保持着密切的联系，但从设备管理来看，检修单位的设置应比较分散，因此从管理局组织上来看运行单位（调度系统）也希望适当地分散设置。

（2）易于保证自动化系统的可靠性 自动化系统是以连续运行为原则的。由于采用了分层控制系统，可以使局部的停用不至影响到整个系统，并且可以使分层间或工作人员部分地起到后备作用。

（3）可灵活地适应系统的扩大或变更 电力系统的扩大、变更，运行功能的改变以及控制系统的发展都是不可避免的，分层控制系统的采用使系统的扩大或变更可以局部地、分阶段地和方便地进行。

（4）可提高投资效率 投资可以按地区的必要性、合理性或自动化项目的顺序实施。

（5）能更好地适应现代技术水平的发展 分层控制系统的采用，使我们可以避开以范围广阔的电力系统为对象的集中控制系统所面临的可靠性、经济性等方面的困难，而随

着软件的发展,还可以不断地追加并提高系统的自动化功能。

四、最佳控制系统构成的途径^[1]

如前所述,综合自动化系统一般总是要构成分层控制系统的形式,但要使其成为最佳控制系统,还必须从可靠性、经济性、响应特性、维修特性等最优条件来决定:

分层数;

各分层之间功能的分配及可靠性的协调;

各子系统的规模;

控制系统中硬件、软件、人工处理的分工等等。

上述问题的解决,如图 1-4 示例表明的那样,需要从多方面进行论证。

在分层控制系统设计的第一阶段,应把经济性和可靠性作为重点来讨论,初步选择分层数和各分层的规模,并在列出硬件配置大纲的同时提出几个系统方案。然后,就这种方案对自动化的各个项目分别进行论证,选定分层数、各分层规模及功能分配方案,同时提出主要硬件(包括冗余设计)及主要软件的构成方案,使分层控制系统的全貌逐步确定下来。

在下一阶段,应就自动化各个项目分析系统的响应特性,提出硬件构成的细目,并修正它们的功能分配。此外,还要论证控制系统的发展特性、运行的方便性及维修特性等等。

以上的论证往往不是单方向进行的,而要根据情况需要不断反复的进行。

由于以下种种因素,要对所构成的系统进行定量的论证及系统地进行性能分析往往有一定困难,而且作为设计分层控制系统原则的理论体系也尚未完整地建立。



图 1-4 系统设计的步骤举例