

[苏] M. Г. 波尔特诺伊
P. C. 拉比诺维奇

电力系统 稳定性的控制

张金城 郑美特 译

电力工业出版社

内 容 提 要

本书叙述了保证不同结构的电力系统稳定运行的控制问题。对破坏稳定的原因、提高稳定的措施以及运行状态的控制方法进行了分析；简要阐述了在简单和复杂结构的电力系统中对使用在最典型结构和运行状态的反事故自动装置的要求；对大型联合电力系统还叙述了解决稳定任务的自动化原则。

本书可供从事电力系统运行的工程技术人员、设计和科研单位的专业人员以及大专院校有关专业的师生参考。

本书第一、二、五、六章由张金城译，第三、四章由郑美特译张金城校。

М. Г. ПОРТНОЙ Р. С. РАВИНОВИЧ
УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОСИСТЕМАМИ ДЛЯ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ

«ЭНЕРГИЯ» МОСКВА 1978

电力系统稳定性的控制

[苏] М. Г. 波尔特诺伊 Р. С. 拉比诺维奇

张金城 郑美特 译

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

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 11.5印张 248千字

1982年8月第一版 1982年8月北京第一次印刷

印数 0001—5940册 定价 1.25元

书号 15036·4338

前 言

劳动生产率的提高与用电量的增长具有不可分离的联系，因此苏联和其他国家的电力系统容量不断扩大。苏联的电力工业是沿着日益增多的发电厂参加并列运行、电力系统实行联网的道路发展的。供电区域很大的苏联欧洲地区联合电力系统、乌拉尔、外高加索和哈萨克联合电力系统目前已经联成苏联的统一电力系统。在最近几年内，西伯利亚和中亚联合电力系统也将联入统一电力系统。电力工业这样发展，在投资效益、运行经济性和可靠性方面的优越性都是众所周知的。

保证电力系统的稳定性是电力系统设计和运行的最重要任务之一。这是因为发电机并列运行稳定性的破坏可能导致大量电力用户的停电，甚至电力系统全部瓦解的事故。

保证电力系统稳定性的控制包含着很广泛的问题，它可分为以下几个方面：

1. 在不同结构的被控电力系统中分析系统的机电暂态过程和稳态运行方式；
2. 为提高不同结构的电力系统和联合电力系统的稳定性，确定最有效的控制规律、控制作用及其组合；
3. 为进一步提高自动装置控制机电暂态过程的效果，制定自动装置的新原理、新接线和新结构。

本书主要阐述电力系统控制问题中最重要的前两个问题，对自动装置的接线和结构问题涉及得很少。

目前还没有提供给设计和运行单位用来科学地综合解决上述课题的成熟方法。电力系统最优控制问题尚处在初步研究阶段，而同时上述所有课题的解决又是非常迫切。确定按稳定条件所允许的运行方式、选择控制作用、选择用来保证不同结构电力系统和联合电力系统稳定性的自动装置的方法，确定这种自动装置的运行原则和整定值的方法，所有这些方法的制定和综合是本书的主要目的。

本书阐述了在不同结构的电力系统中分析运行状态的方法、确定运行状态稳定性的方法、综合控制作用的方法、最优控制的准则、选择自动装置及其整定值的方法、应用模拟计算机和数字计算机计算机电暂态过程的问题、以及计算与试验研究相结合的问题。

电力系统等值、确定对稳定性的要求以及自动装置经济效益的评价等许多问题本书只作了简单介绍，并且侧重于基本概念、运行和设计经验方面。阐述的深度只是满足于解决作为本书主要内容的那些问题。

著者在阐述过程中假定读者已经具备了电力系统稳定和反事故自动装置理论基础的知识。这些知识在有关文献中已有详细阐述，因而本书对此不作介绍。

本书采用的资料大部分来自全苏电力科学研究院（ВНИИЭ）在最近15~20年内积累的经验总结，还有从事这项工作的其他单位[全苏电力网科研设计院（Энергосетьпроект）、莫斯科动力学院（МЭИ）、直流输电研究所（НИИПТ）、动能研究所（ЭНИН）等]的经验总结。

全苏电力科学研究院同苏联统一电力系统中央调度所、地区性的联合电力系统调度所（南方、西伯利亚、北高加索和其他联合电力系统调度所）和许多电力系统单位（白俄罗

斯电管局、科拉电管局、伊尔库茨克电管局、土拉电管局等)一起,共同研究了电力系统稳定和控制问题,提出了计算电力系统稳定和应用自动装置提高系统稳定性的实际建议。

这样工作的结果,使在较短的时期内积累了运行经验,获得了大量的试验资料。本书在颇大程度上反映了著者个人的研究成果,这些成果过去曾阐述在著者的论文中。本书还反映了著者在本题讲课中积累的多年经验,课程是为运行和设计单位的专业人员设置的,而学校专为提高苏联电力和电气化部(Минэнерго СССР)的领导人员和专家的水平而设立的。

现场试验主要由全苏电力科学研究院和其他单位合作完成的。本书利用了这些试验的成果,还利用了电力系统、联合电力系统调度所和中央调度所总结稳定运行破坏原因及其后果等经验资料,以及设计单位的研究资料。

著者对本书审阅者科技副博士З.Г.赫沃辛斯卡娅和编辑А.М.马尚斯基提出的宝贵意见和帮助准备手稿的工作,表示深切的谢意。对本书的改进意见请按下面地址寄给动力出版社:113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., д. 10, изд-во «Энергия»。

著 者

俄文字母符号表

大 写 字 母

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
А	ампер	安	1-3,2-10,2-25,3-7, 3-11,3-19, 3-36, 4-14,4-16,4-17
АПВ	автоматическое повтор- ное включение	自动重合闸	3-8,4-14
АПВУС	АПВ с улавливанием синхронизма	捕捉同步的自 动重合闸	3-36
АРВ	автоматический регуля- тор возбуждения	自动励磁调节 器	2-5
АРМ	аварийный регулятор мощности	事故功率调节 器	2-13
АЧР	автоматическая частот- ная разгрузка	自动低频减载	3-23,3-24,3-25,3- 31,3-32
В	выключатель	断 路 器	2-7,4-10,4-11
Г	генератор	发 电 机	5-11,5-20,5-24,5-25
Гц	герц	赫	2-25,3-36,3-39,5-13
ЕЭС	единый энергосистема	统一电力系统	5-9,6-2
Л	линия	线 路	2-7,3-36,5-1,5-20
МВар	мегавар	兆 乏	3-7,3-11
МВт	мегаватт	兆 瓦	1-3,2-25,3-7,3-11, 3-19,3-36,4-14,4- 16,4-17,5-13,5-19
НВ	неравномерность	不均匀度	2-15,2-16
ОЭС	обединённая энергосис- тема	联合电力系统	5-9,6-2
Р	активная мощность расфорсировка	有功功率 强行减磁	2-4
СК	синхронный компенса- тор	同步调相机	3-20

续表

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
ТН	трансформатор напря- жения	电压互感器	2-2,2-3,2 4,2-5,2-6
ТТ	трансформатор тока	电流互感器	2-5,2-6
Ф	форсировка	强行励磁	2-4
ЭС	электростанция	发 电 厂	5-9,6-2

小 写 字 母

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
без АРВ	без автоматического регулятора возбуж- дения	不带自动励磁 调节器	3-16
без конд	без конденсатора	不带静电电容 器	3-16
год, года	год года	年	4-7
кВ	киловольт	千伏	1-3,2-10,2-25,3-7, 3-11,3-17, 3-19, 3-36,4-14, 4-17, 5-19
мин	минута	分(钟)	4-4,4-7
с	секунда	秒	2-4,2-5,2-6,2-13, 2-15, 3-11,3-19, 3-36,3-39, 4-12
с АРВ	с автоматическим ре- гулятором возбужде- ния	带自动励磁调 节器	3-16
с конд	с конденсаторами	带静电电容器	3-16

下 标 大 写 字 母

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
АПВ	автоматическое повтор- ное включение	自动重合闸	3-8,5-22,5-23
БАПВ	быстродействующее АПВ	快速自动重合闸	

下 标 小 写 字 母

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
<i>ав</i>	авария	事 故	4-7
<i>ас</i>	асинхронный	异 步	3-30,3-38,3-40
<i>баз</i>	базовый	基 准	
<i>биен</i>	биений	脉 动	3-36,4-14,4-17
<i>вн</i>	внешний	外 部	3-21
<i>в,ч</i>	высокочастотный	高 频	
<i>г</i>	генератор	发 电 机	2-1,2-2,2-3,2-4,2-5,2-6,2-17,3-16
<i>гэс</i>	гидроэлектростанция	水 电 站	3-11,4-14,4-17
<i>д,дв</i>	двигатель	电 动 机	
<i>дин</i>	динамический	动 态	
<i>доп</i>	допустимый	允 许	2-23,2-24,3-22,3-28,3-30,3-33,3-37,3-38
<i>и</i>	импульс	脉 冲	2-14,2-15,2-17
<i>исх</i>	исходный	初 始 值	2-2,2-6,3-12
<i>к.з.</i>	короткое замыкание	短 路	2-12,3-8,3-11,3-18,3-19,3-20,3-21,3-33
<i>кор,корр</i>	корректор	校 正 器	2-3
<i>кр</i>	критический	临 界	3-1,3-15,3-17
<i>л</i>	линия	线 路	2-1,3-19

续表

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
<i>макс</i>	максимальный	最 大	2-24, 2-28, 3-35, 4-2, 4-8, 4-11, 4-14, 4- 17, 5-13
<i>мин</i> <i>н, нагр</i>	минимальный нагрузка	最 小 负 荷	2-24, 2-28, 3-8, 3 22 1-1, 2-1, 2-17, 3-7, 3-9, 3-13, 3-15, 3- 16, 3-17, 3-29, 3- 31, 3-32, 3-37, 3- 38, 3-40, 4-1, 4-3, 4-7, 4-8, 4-9, 4-10, 4-11, 4-12, 4-15
<i>н, ном</i>	номинальный	额 定	3-1, 3-10
<i>н.ч</i>	низкочастотный	低 频	
<i>ост</i>	остаточный	剩 余	3-8
<i>откл, омкл</i>	отключение	切 除	3-30, 3-40
<i>омн</i>	относительный	相 对	
<i>пер</i>	передаваемый	输 送	2-18
	перерыв	中 断	3-8
<i>пр</i>	приведённый	归 算	
	предельный	极 限	4-9
<i>пред</i>	предельный	极 限	1-1, 2-17, 3-30, 5-3, 5-4
<i>раб</i>	работающий	工 作	3-10
<i>рад</i>	радиан	弧 度	
<i>рег</i>	регулируемый	调 整	
<i>рез</i>	резервный, резервируе- мый	备 用	3-10
	резонансный	谐 振	5-15
<i>рес</i>	ресинхронизация	再 同 步	4-13
	система	系 统	2-1, 3-29, 3-31, 3-32, 3-37, 5-13

续表

符 号	原 文 全 名	译 文	所 在 图 号
	секунда	秒	公式(2-52)
<i>сопр</i>	сопротивление	反 抗	3-1
<i>ср</i>	средний	平 均	2-23, 3-28, 3-30, 3-37, 3-38
<i>ст</i>	станция	发 电 厂	5-13
<i>ст</i>	статическая устойчиво- сть	静 稳 定	4-13
<i>т</i>	статический турбина	静 态 原 动 机	2-1, 2-12, 2-13, 2-15, 2-16, 2-17, 3-13, 3-18, 3-20, 3-38, 5-1
<i>торм</i>	торможение	制 动	3-18, 3-20
<i>тр</i>	трансформатор	变 压 器	2-1, 3-10
<i>тэс</i>	теплоэлектростанция	火 电 厂	3-11
<i>уск</i>	ускорение	加 速	3-18, 3-20
<i>усм, уст</i>	установившийся	稳 态	2-23
<i>уст</i>	установка	整 定	3-31, 3-32
<i>форс</i>	форсировка	强行励磁	
<i>цсд</i>	цилиндр среднего давле- ния	中 压 缸	2-16
<i>э</i>	эквивалентный	等 值	3-15
<i>эл</i>	электрический	电	2-1, 2-12, 2-13, 2-16

注 1.表中未列出书中已说明和众所周知的文字符号;

2.表中未列出文字符号所在的公式号(除个别外), 只列出图号。

机构俄文缩写表

缩 写	全 名	译 文
ВНИИЭ	Всесоюзный научно-иссле- дательский институт электро- энергетики	全苏电力科学研究院
ВНИИЭМ	Всесоюзный научно-иссле- дательский институт электро- механики	全苏机电研究所
ВТИ	Всесоюзный теплотехнический институт	全苏热工研究所
ВЦ ГТУ	Вычислительный центр Глав- техуправления	技术管理总局计算中心
ВЭИ	Всесоюзный электротехнический институт	全苏电工研究所
ИЭД АН УССР	Институт электродинамики Ака- демии наук УССР	乌克兰科学院电动力学 研究所
ЛПИ	Ленинградский политехнический институт	列宁格勒工学院
Минэнерго СССР	Министерство энергетики и элек- трификации СССР	苏联电力和电气化部
МЭИ	Московский энергетический институт	莫斯科动力学院
НИИПТ	Научно-исследовательский инс- титут постоянного тока	直流输电研究所
ОРГРЭС	Государственный трест по орга- низации и рационализации районных электростанций и сетей	全苏区域发电厂组织及 合理化托拉斯
Сиб НИИЭ	Сибирский научно - исследова- тельный институт энергетики	西伯利亚电力研究所

续表

缩 写	全 名	译 文
Союзтех- энерго	Производственное объединение по наладке и совершенствованию технологии и эксплуатации электростанций	全苏电力技术联合公司
СЭИ	Сибирский энергетический инс- титут	西伯利亚动能研究所
Энергосеть- проект	Всесоюзный государственный проектно-изыскательский и на- учно-исследовательский инсти- тут энергетических систем и электрических сетей	全苏电力网科研设计院
ЭНИИ	Энергетический институт	动能研究所

目 录

前 言

俄文字母符号表

绪 论 1

第一章 保证不同结构电力系统稳定性的控制、 任务和原理	6
1-1 问题的提出	6
1-2 电力系统的结构及其对并列运行稳定性的影响	6
1-3 电力系统稳定破坏的原因	14
1-4 稳定破坏的后果	20
1-5 为保证给定的稳定水平对控制运行方式的要求	25
1-6 电力系统接线和运行方式的变化对保证稳定性控制的 影响	31
1-7 选择反事故自动装置、确定它的整定值和稳定运行区域 的原则	33
1-8 等值化的几个共同问题	37
1-9 保证电力系统稳定性的控制原则	38
第二章 保证向联合电力系统输送功率的简单结构电力系统 稳定性的控制	44
2-1 前言	44
2-2 提高静稳定的方法	44
2-3 提高同步动稳定的自动装置	64
2-4 确定控制作用, 以保证最大稳定运行区域	72
2-5 恢复联合电力系统各部分的同步运行	80
2-6 确定简单结构电力系统的等值参数	93

2-7	对反事故自动装置的要求和它的运行原则的确定方法	96
第三章	保证由联合电力系统获取功率的简单结构电力系统的稳定性	104
3-1	问题的提出	104
3-2	负荷的静态和动态特性	105
3-3	防止功率不足的电力系统的静稳定破坏	127
3-4	提高功率不足的电力系统的同步动稳定	137
3-5	保证功率不足的电力系统从联合电力系统解列出来后的稳定性	142
3-6	制止受端电力系统和联合电力系统的异步运行和恢复其同步运行	160
3-7	功率不足电力系统的反事故自动装置的选择方法	180
第四章	保证弱联系电力系统稳定性的控制	183
4-1	问题的提出	183
4-2	不规则的功率波动	184
4-3	弱联络线的静稳定	202
4-4	保证同步稳定性	208
4-5	弱联络线的异步运行和其同步运行的恢复	211
4-6	在弱联络线上选择反事故自动装置的特点	223
第五章	保证复杂结构联合电力系统稳定性的控制	227
5-1	问题的提出	227
5-2	计算和保证复杂结构电力系统的静稳定	228
5-3	输电线在暂态过程中的相互影响	253
5-4	确定用于扩大复杂结构电力系统稳定运行区域的控制作用	267
5-5	限定异步运行的范围和制止异步运行	276
5-6	确定复杂结构电力系统稳定运行区域和选择反事故自动装置的例子	280

第六章	控制联合电力系统的运行方式时解决稳定问题的自动化	300
6-1	问题的提出	300
6-2	自动调度控制系统的职能及其在“电力”自动化管理系统中的地位	300
6-3	自动调度控制系统的结构和主要任务	303
6-4	自动调度控制系统在保证电力系统稳定性方面的任务	305
6-5	适宜在自动调度控制系统的操作控制级来解决的保证电力系统稳定性的任务	308
6-6	依赖自动调度控制系统在线解决稳定任务的效益估计	313
6-7	在线解决稳定任务时的分级和等值问题	314
6-8	在自动调度控制系统中解决稳定任务的结构图	316
附录	利用电子计算机计算被控电力系统的机电暂态过程	324
参考文献		338

绪 论

随着发电厂并列运行和电力系统联网的发展，供电区域辽阔和容量很大的联合电力系统的建立，增加了稳定破坏事故连锁发展的危险性。在联合电力系统的某个地点发生故障，最终可能导致广大地区的停电事故。因而在第七届世界动能会议上对容量特别大的联合电力系统是否能保证可靠运行提出了疑问。按苏联动力工作者的观点^[24]，如果除了电力系统的接线合理之外，还采用稳态和暂态运行方式下的必要控制手段，那么，即使象苏联统一电力系统那样的联合电力系统，原则上也具有保证稳定和可靠运行的可能性。这个观点已为科研和多年运行经验所证明。

电力系统联网和容量的增大使得保证稳定的问题日益尖锐起来。新投发电机的单机容量不断增大，同时机组的机械惯性常数减小，同步和暂态电抗值增大，发电机的阻尼性能变坏，原动机在调速器的作用下在暂态过程中改变功率所需的时间加长，所有这些也使电力系统的运行稳定性严重恶化。

单个电力系统通过所谓弱联络线联网，是一种在技术和经济上经过论证的必然趋势。但是，这种弱联络线的存在，在电力系统中造成了可能经常破坏稳定的条件。为了从哈萨克和西伯利亚输送巨大电功率到相距2500~4000公里的中部地区，设计了直流输电。断开这种输电线是一种大扰动，因此需要有特别的措施以防止电力系统稳定性的破坏。

用电量大的用户，例如生产铝和各种稀有金属的企业，也可能对电力系统的稳定产生不良影响。铝联合企业在电压严重下降时降低本身的用电负荷，而带有大量重负荷异步电动机的大企业，在用电容器补偿其无功功率的情况下，在电力系统中造成促进电压崩溃的条件。

在联合电力系统中按稳态运行方式的经济性条件实现最优的有功和无功功率的自动调节，这种自动调节在很多情况下应考虑按稳定条件所加的限制。

从上述电力系统发展特点得出，提高电力系统的稳定性是一个十分迫切的问题。在形成联合电力系统时，通过适当配置电源和负荷，以及引进新的输电线，可部分地解决这个问题。另一方面，对稳态运行方式和机电暂态过程的合理的自动控制和手动控制，是保证电力系统稳定可靠运行的非常有效的措施，并且所需投资也小。

现代联合电力系统是控制论类型中“大系统”的典型例子^[22]。随着自动调节和控制装置的增多，计算技术装置的日益广泛采用，以及自动调度控制系统的建立，应该进一步重视电力系统的机电暂态过程的分析。

关于提高电力系统稳定运行的问题（包括采用自动装置的问题），在许多苏联学者的著作中都有论述。И.С.日丹诺夫，С.А.列别杰夫和А.А.戈列夫的著作是电力系统稳定理论基础著作中在30~40年以前完成的第一批著作。这些著作对励磁调节、自动重合闸等提高稳定的措施赋予高度评价。

在И.А.瑟拉米亚特尼科夫的倡议和领导下，从四十年代开始在苏联电力系统中广泛采用了反事故自动装置。这种装置的成功应用与被控电力系统稳定性的分析课题密切相关。В.А.维尼科夫的著作解决了这些分析课题，研究了被