

ICS 27.180
CCS F 19



中华人民共和国国家标准

GB/T 42716—2023

电化学储能电站建模导则

Guide for modeling of electrochemical energy storage power station

2023-05-23 发布

2023-12-01 实施



国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

5505190000

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 总体要求	2
5 潮流计算模型	2
6 电磁暂态仿真模型	3
7 机电暂态仿真模型	3
8 中长期动态仿真模型	3
附录 A (资料性) 电化学储能电站模型典型结构	5
附录 B (资料性) 电化学储能电站潮流计算模型结构	6
附录 C (资料性) 电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型结构	7
附录 D (资料性) 电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型滤波电路拓扑	8
附录 E (资料性) 电化学储能电站机电暂态/中长期动态仿真模型总体结构	9
附录 F (资料性) 储能电池机电暂态仿真模型	11
附录 G (资料性) 储能变流器正常运行状态电气控制机电暂态仿真模型	12
附录 H (资料性) 储能变流器故障穿越状态电气控制与保护机电暂态仿真模型	15
附录 I (资料性) 储能变流器及并网接口机电暂态仿真模型	17
附录 J (资料性) 厂站级有功无功控制机电暂态仿真模型	18
附录 K (资料性) 电化学储能电站典型二次调频模型	21
参考文献	22

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由全国电力储能标准化技术委员会(SAC/TC 550)归口。

本文件起草单位：中国电力科学研究院有限公司、国网冀北电力有限公司电力科学研究院、国网浙江省电力有限公司电力科学研究院、国网福建省电力有限公司电力科学研究院、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、中国南方电网电力调度控制中心、国家电网有限公司西北分部、国家电网有限公司华东分部、国家电网有限公司华北分部、国网宁夏电力有限公司、国网甘肃省电力公司。

本文件主要起草人：郭强、周勤勇、张健、吴俊玲、戴汉扬、徐希望、杨泽栋、张立波、施浩波、李相俊、牛萌、许守平、王官宏、李莹、韩志勇、胡娟、穆世霞、代倩、吴林林、肖雄、张尚、马俊超、宋新立、云雷、李智诚、李芳、齐步洋、吕振华、朱艺颖、张星、安宁、李文锋、马士聪、谢惠藩、吴国旻、陈典、丁平、陆润钊、蔡靖、张松涛、苏志达、姜懿郎、孙璐、苏丽宁、赵敏、贺海磊、王蒙、庄侃沁、李付强、汪莹、赵伟、霍超、牟善科、曾鹏、项丽、邵冲、孙玉娇、杨京齐、高熠莹、黄丹、王雪琼。

电化学储能电站建模导则

1 范围

本文件规定了用于电力系统潮流计算、电磁暂态、机电暂态和中长期动态仿真的电化学储能电站模型建立的技术要求。

本文件适用于通过 10(6) kV 及以上电压等级并网电化学储能电站,其他电化学储能电站可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 38755 电力系统安全稳定导则

GB/T 40581 电力系统安全稳定计算规范

DL/T 2528 电力储能基本术语

3 术语和定义

DL/T 2528 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电化学储能电站模型 electrochemical energy storage station model

用于电力系统潮流计算以及电磁暂态、机电暂态和中长期动态过程计算分析的电化学储能电站仿真模型。

注:一般包含一组或多组电化学储能系统模型、厂站级控制系统模型以及站内集电升压系统模型。

3.2

电化学储能系统模型 electrochemical energy storage system model

用于电力系统潮流计算以及电磁暂态、机电暂态和中长期动态过程计算分析的电化学储能系统仿真模型。

注:一般包含储能电池模型、储能变流器及其控制保护模型。对于非直挂型电化学储能电站,还包含单元升压变压器模型。

3.3

厂站级控制模型 electrochemical energy storage station control model

用于模拟电化学储能电站接受来自调度或操作人员的指令或根据并网点电气量对储能电站的运行状态进行调整控制的仿真模型。

3.4

电磁暂态仿真模型 electromagnetic simulation model

用于电力系统电磁暂态过程仿真的模型,主要反映电力系统各元件从微秒到数秒之间的动态特性。

3.5

数模混合仿真模型 digital-analog hybrid simulation model

一次电路采用数字模型,控制系统采用物理控制器构建的电磁暂态仿真模型。

3.6

电磁暂态封装模型 electromagnetic transient packaging model

一次电路和控制系统均采用数字模型,并且控制系统模型由物理控制器内部程序改造封装形成,可直接被仿真程序调用的电磁暂态仿真模型。

3.7

电磁暂态结构化模型 electromagnetic transient structural model

一次电路和控制系统均采用数字模型,并且控制系统模型结构明确,可对外开放控制逻辑的电磁暂态仿真模型。

3.8

机电暂态仿真模型 electromechanical transient simulation model

用于电力系统机电暂态过程仿真的模型,主要反映电力系统各元件从几个周波到数十秒的动态特性。

3.9

中长期动态仿真模型 mid-long term dynamic simulation model

用于电力系统长期动态过程仿真的模型,主要反映电力系统各元件从数十秒至数十分钟动态特性。

4 总体要求

4.1 电化学储能电站模型应能反映电化学储能电站的电气特性、电池能量状态以及充放电特性,并满足 GB 38755 和 GB/T 40581 规定的电力系统仿真分析计算的要求。

4.2 电化学储能电站模型应根据电站实际电气结构搭建,包含一组或多组电化学储能系统模型、厂站级控制系统模型以及站内集电升压系统模型。电化学储能电站模型典型结构见附录 A。

4.3 对于站内多个由同一规格型号、相同拓扑结构的储能电池和变流器构成的电化学储能系统,建模时可等值为同一电化学储能系统。对于不同规格型号、不同拓扑结构的电化学储能系统宜分别建模。采用等值建模方式时,宜考虑汇集线阻抗等影响因素。

4.4 电化学储能电站模型参数宜采用实测参数,无法获取实测参数时,应基于出厂参数和实验曲线或数模混合仿真模型进行参数辨识。

4.5 电化学储能电站模型应根据实际工况进行仿真试验来验证模型有效性。

5 潮流计算模型

5.1 电化学储能电站潮流计算模型应根据站内一次系统拓扑结构搭建,包含电化学储能系统模型、站内集电升压系统模型等,模型结构见附录 B。

5.2 电化学储能系统宜根据控制方式和潮流计算的需要设置潮流计算节点类型,包括有功无功恒定(PQ节点)、有功电压恒定(PV节点)等节点类型。

5.3 电化学储能电站潮流计算模型参数应包含各电化学储能系统的有功功率和无功功率限值、电化学储能系统当前功率设定值和电压设定值等。

6 电磁暂态仿真模型

6.1 电化学储能电站电磁暂态仿真模型应能模拟储能电站数微秒至数秒时间尺度的动态特性,可用于大电网全电磁暂态仿真中储能电站与电力系统之间的动态响应特性分析,以及储能电站电力电子设备快速动作特性模拟、控制参数整定等仿真计算。

6.2 电化学储能电站电磁暂态仿真模型应包括电化学储能系统模型和站内升压变压器,模型结构见附录 C。

6.3 电化学储能系统模型的一次电路应由储能电池和变流器等主要设备模型构成,其中:

- a) 储能电池模型应包括电池簇等效模块,该模块应根据电池簇的连接方式和参数折算出等值内电势和内电阻;
- b) 变流器模型应根据实际电路拓扑搭建,模型应包括换流桥、直流电容器、交流滤波电路等模块,交流滤波电路的典型结构见附录 D;
- c) 换流桥模型应根据仿真场景进行选择,系统级仿真宜采用平均值模型,设备级仿真宜采用开关函数模型。

6.4 电化学储能系统模型的控制系统的建模方法应根据模型种类选择,模型种类包括数模混合仿真模型、电磁暂态封装模型、电磁暂态结构化模型等,其中:

- a) 数模混合仿真模型应由数字模型、控制保护物理仿真系统以及数模混合仿真接口构成,并且整体模型应通过试验验证;
- b) 电磁暂态封装模型的控制系统的应由控制器内部程序改造、封装和编译形成,以动态链接库的形式存在,并且可直接被仿真程序调用;
- c) 电磁暂态结构化模型的控制系统的应给出对应的标准化结构框图,标注所有可修改的参数,并提供一套典型参数供试用。

6.5 电化学储能电站电磁暂态仿真模型应具备启动/复位、有功/无功功率控制、交流电压控制、高/低电压穿越、脱网稳定运行、一次调频、交直流保护等功能。

7 机电暂态仿真模型

7.1 电化学储能电站的机电暂态仿真模型应能模拟储能电站几个周波至数十秒时间尺度的动态特性,可用于储能电站参与电网调频/调压分析、储能电站高/低电压穿越能力分析等仿真计算。

7.2 电化学储能电站机电暂态仿真模型应包含电化学储能系统模型和厂站级控制模型。

7.3 电化学储能系统模型由储能电池模型、变流器及其控制保护模型构成,总体结构见附录 E,其中:

- a) 储能电池模型应能模拟电池能量状态,并根据电池能量状态调整电化学储能系统有功电流指令,模型框图见附录 F;
- b) 变流器及其控制保护模型宜包含储能变流器正常运行状态电气控制、故障穿越状态电气控制与保护、储能变流器及并网接口,模型框图分别见附录 G~附录 I。

7.4 厂站级控制模型宜包含储能电站的一次调频和惯量支撑等有功功率控制、定电压和定功率因数等无功功率控制以及功率分配模块,模型框图见附录 J。

7.5 机电暂态仿真模型的控制系统的参数宜采用标么值。

8 中长期动态仿真模型

8.1 电化学储能电站中长期动态仿真模型应能模拟储能电站数十秒至数十分钟时间尺度的动态特性,

可用于储能电站长时间充放电过程以及储能电站参与电网二次调频功能等仿真计算。

8.2 电化学储能电站中长期动态仿真模型的总体结构与机电暂态仿真模型相同,其中:

- a) 电化学储能系统模型应包括储能电池中长期动态仿真模型,储能电池中长期动态仿真模型应能反映电池充放电过程中的电压变化和能量状态变化特性,宜采用等效电路模型;
- b) 厂站级控制模型应包括储能电站二次调频模型,储能电站二次调频模型由电化学储能电站层和电化学储能系统层两级模型构成,典型仿真模型见附录 K。

附录 A
 (资料性)
 电化学储能电站模型典型结构

电化学储能电站模型典型结构见图 A.1。

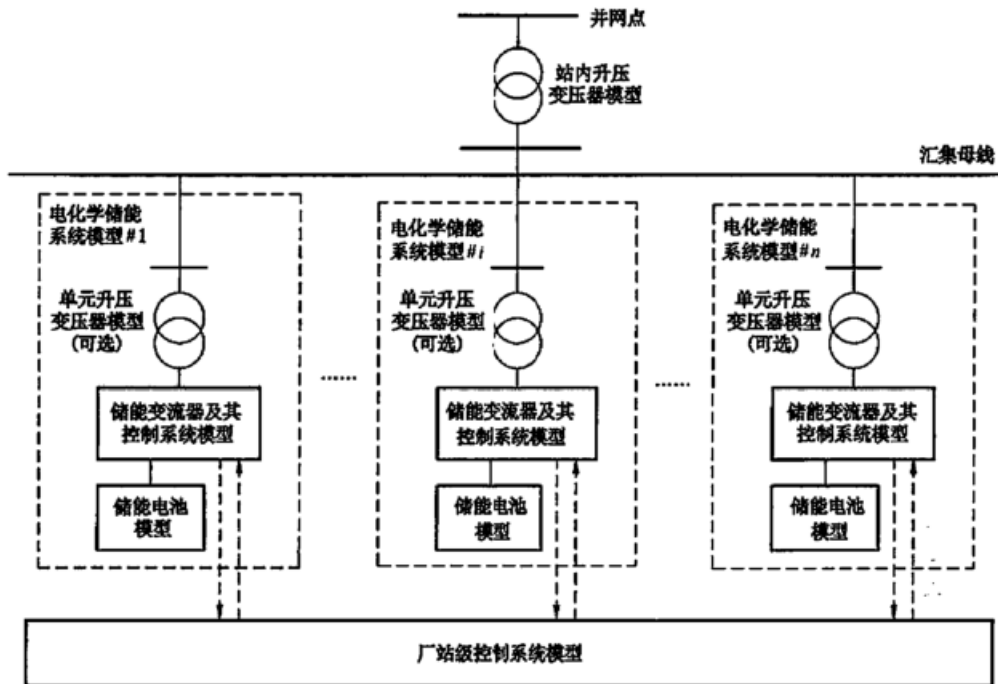


图 A.1 电化学储能电站模型典型结构图

附录 B

(资料性)

电化学储能电站潮流计算模型结构

电化学储能电站潮流计算模型结构见图 B.1。

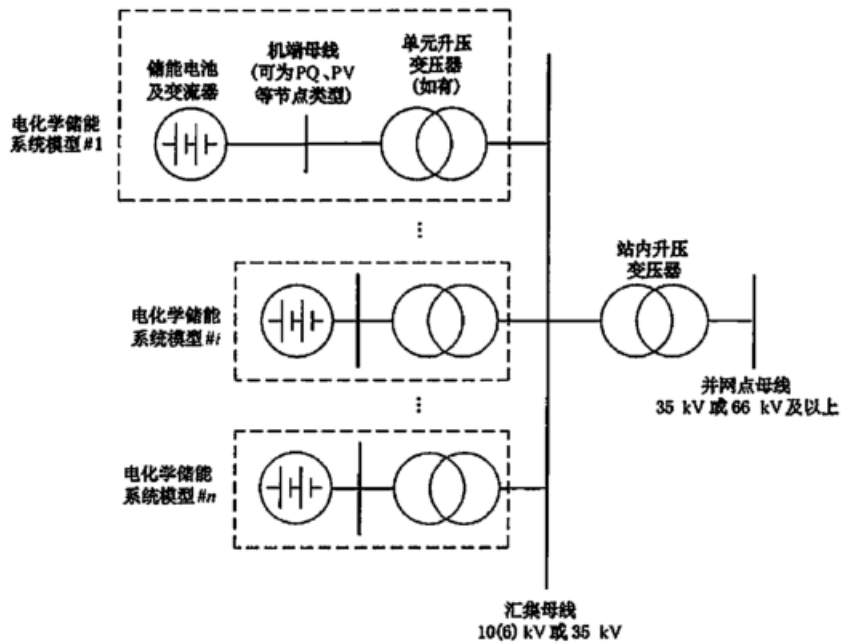


图 B.1 电化学储能电站潮流计算模型结构图

附录 C

(资料性)

电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型结构

电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型结构见图 C.1。

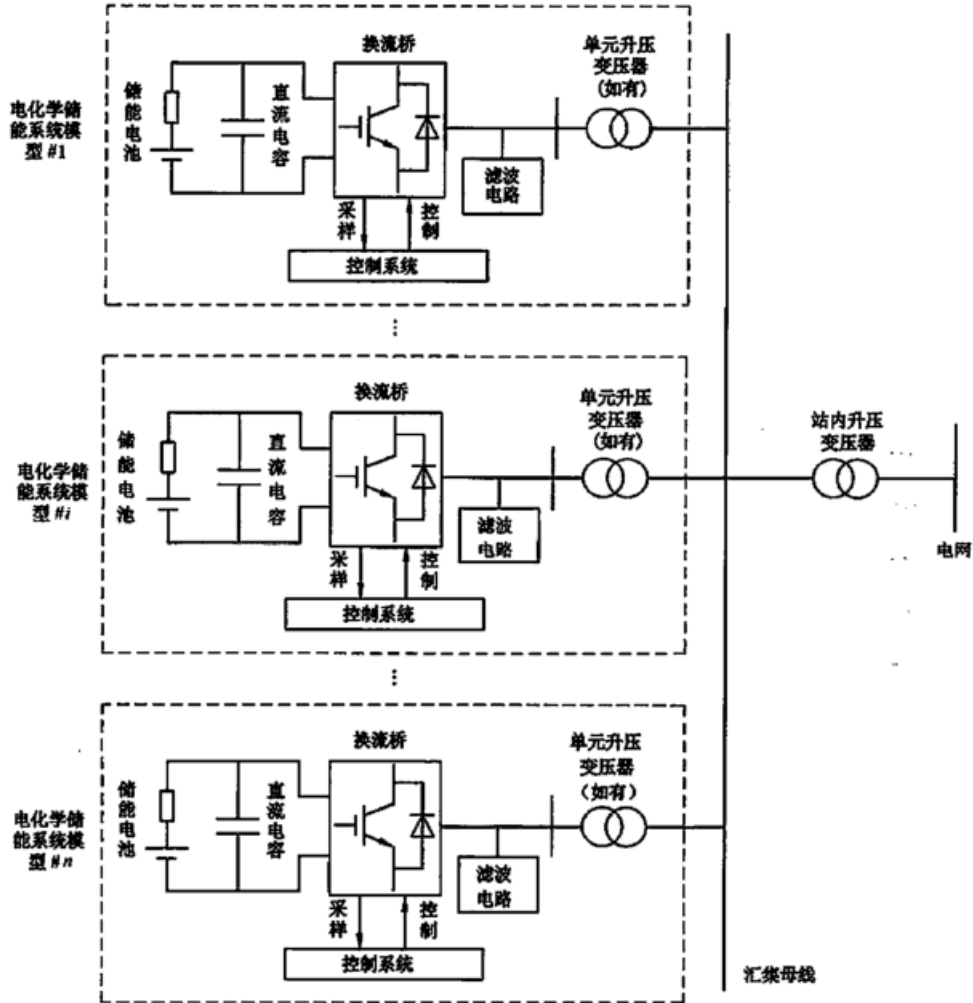


图 C.1 电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型结构图

附录 D

(资料性)

电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型滤波电路拓扑

电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型滤波电路拓扑见图 D.1。

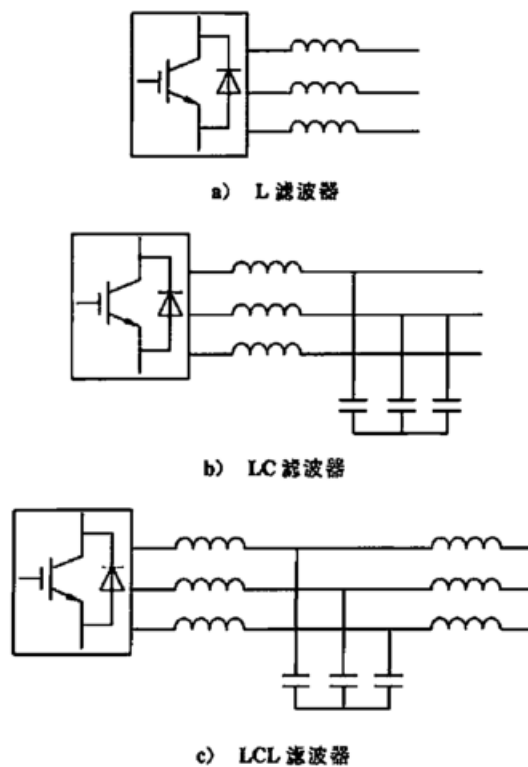


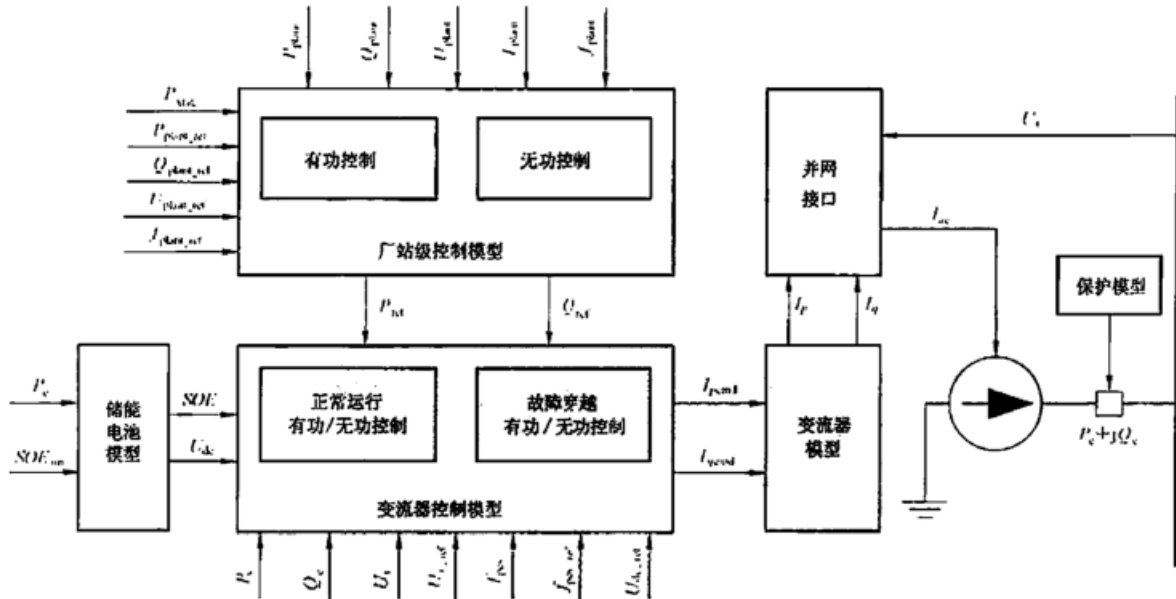
图 D.1 电化学储能电站电磁暂态仿真模型典型滤波电路拓扑图

附录 E

(资料性)

电化学储能电站机电暂态/中长期动态仿真模型总体结构

电化学储能电站机电暂态/中长期动态仿真模型总体结构见图 E.1。



标引符号说明：

- P_{plant} —— 储能电站输出有功功率；
- Q_{plant} —— 储能电站输出无功功率；
- U_{plant} —— 储能电站并网点电压；
- I_{plant} —— 储能电站并网点线路电流；
- f_{plant} —— 储能电站并网点频率；
- P_{AGC} —— 储能电站接收的 AGC 调节量指令(中长期动态仿真模型)；
- $P_{plant,ref}$ —— 储能电站有功功率参考值；
- $Q_{plant,ref}$ —— 储能电站无功功率参考值；
- $U_{plant,ref}$ —— 储能电站电压参考值；
- $f_{plant,ref}$ —— 储能电站频率参考值；
- P_{ref} —— 厂站级控制模型分配给储能系统的有功功率控制指令；
- Q_{ref} —— 厂站级控制模型分配给储能系统的无功功率控制指令；
- SOE —— 电池能量状态；
- U_{dc} —— 储能电池直流电压(中长期动态仿真模型)；
- $U_{dc,ref}$ —— 储能电池直流电压参考值(中长期动态仿真模型)；
- P_e —— 储能变流器输出有功功率；
- Q_e —— 储能变流器输出无功功率；
- U_g —— 储能变流器网侧电压；
- $U_{g,ref}$ —— 储能变流器网侧电压参考值；
- f_{gs} —— 储能变流器网侧频率；

图 E.1 电化学储能电站机电暂态/中长期动态仿真模型总体结构图

- $f_{\text{pos_ref}}$ —— 储能变流器网侧频率参考值；
- $I_{p\text{cmd}}$ —— 储能变流器有功电流控制指令；
- $I_{q\text{cmd}}$ —— 储能变流器无功电流控制指令；
- I_p —— 储能变流器有功电流分量；
- I_q —— 储能变流器无功电流分量；
- I_{ac} —— 储能变流器网侧电流。

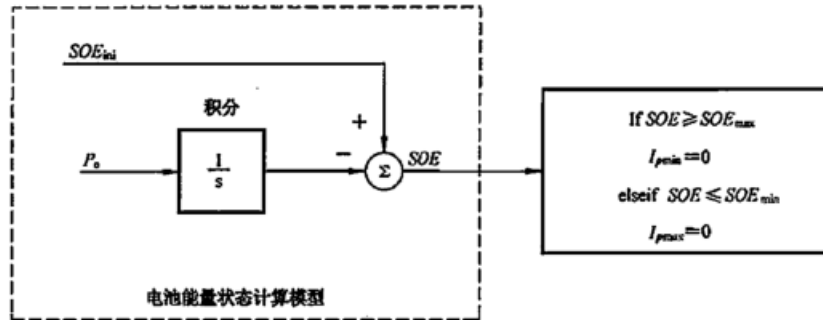
参数说明：

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	SOE_{ini}	初始电池能量状态	p.u.	0.6	收资

图 E.1 电化学储能电站机电暂态/中长期动态仿真模型总体结构图（续）

附录 F
(资料性)
储能电池机电暂态仿真模型

机电暂态仿真模型中的储能电池用电池能量状态计算模型模拟，储能电池机电暂态仿真模型见图 F.1。



标引符号说明：

P_o —— 储能变流器输出有功功率；

SOE —— 电池能量状态。

参数说明：

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	SOE_{ini}	初始电池能量状态	p.u.	0.6	收资
2	SOE_{max}	电池能量状态上限	p.u.	0.8	收资
3	SOE_{min}	电池能量状态下限	p.u.	0.2	收资

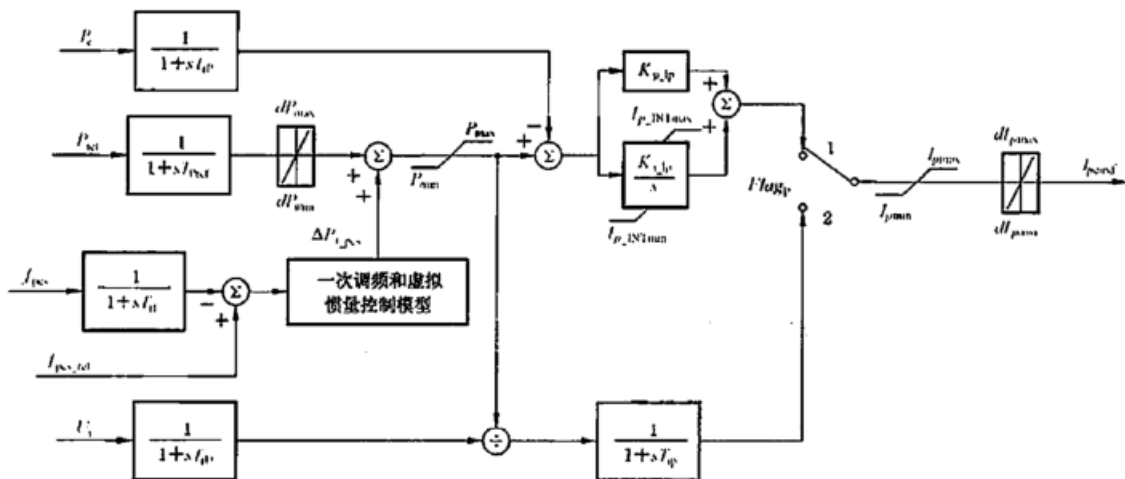
图 F.1 储能电池机电暂态仿真模型图

附录 G

(资料性)

储能变流器正常运行状态电气控制机电暂态仿真模型

G.1 储能变流器正常运行状态有功控制机电暂态仿真模型见图 G.1,控制模式可选择 PI 控制或开环控制。



标引符号说明:

- P_c —— 储能变流器输出有功功率;
- P_{set} —— 厂站级控制模型分配给储能系统的有功功率控制指令;
- f_{dec} —— 储能变流器网侧频率;
- $f_{dec,ref}$ —— 储能变流器网侧频率参考值;
- U_1 —— 储能变流器网侧电压;
- $\Delta P_{f,dec}$ —— 储能变流器一次调频和虚拟惯量控制输出的有功功率调节量;
- $I_{p,cmd}$ —— 储能变流器正常运行控制有功电流指令。

参数说明:

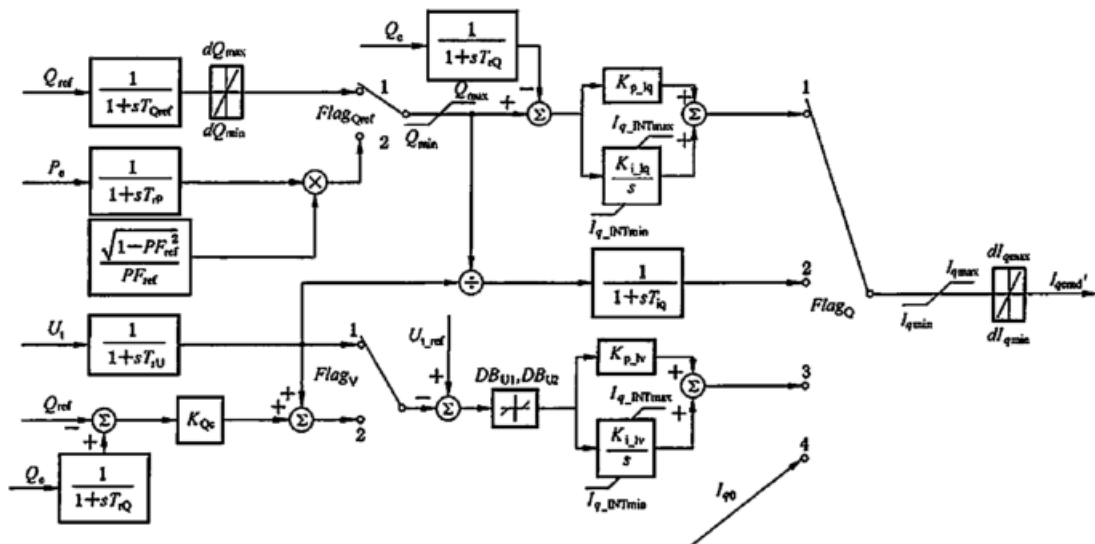
序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	T_{tr}	有功功率测量环节时间常数	s	0.01	收资/实测
2	T_{fr}	频率测量环节时间常数	s	0.01	收资
3	T_{fd}	电压测量环节时间常数	s	0.01	收资
4	T_{ref}	有功功率控制指令延时	s	0.01	收资/实测
5	P_{max}	有功功率上限	p.u.	1.1	收资/实测
6	P_{min}	有功功率下限	p.u.	-1.1	收资/实测
7	dP_{max}	有功功率变化率上限	p.u./s	999	收资/实测
8	dP_{min}	有功功率变化率下限	p.u./s	-999	收资/实测
9	$K_{p,lp}$	有功电流 PI 控制比例系数	p.u.	0.1	收资/实测
10	$K_{i,lp}$	有功电流 PI 控制积分系数	p.u.	2.0	收资/实测

图 G.1 储能变流器正常运行状态有功控制机电暂态仿真模型

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
11	I_{p_INTmax}	有功电流 PI 控制积分上限	p.u.	1.1	收资/实测
12	I_{p_INTmin}	有功电流 PI 控制积分下限	p.u.	-1.1	收资/实测
13	T_{ip}	有功电流调节器滞后时间常数	s	0.01	收资/实测
14	I_{pmax}	有功电流上限	p.u.	1.1	收资/实测
15	I_{pmin}	有功电流下限	p.u.	-1.1	收资/实测
16	dI_{pmax}	有功电流变化率上限	p.u./s	999	收资/实测
17	dI_{pmin}	有功电流变化率下限	p.u./s	-999	收资/实测
18	$Flag_p$	有功电流控制模式标志位	—	1	收资

图 G.1 储能变流器正常运行状态有功控制机电暂态仿真模型 (续)

G.2 储能变流器正常运行状态无功控制机电暂态仿真模型见图 G.2, 控制模式可选择定无功控制、恒功率因数控制、定电压控制、定初始无功电流控制。



标引符号说明:

- Q_{ref} —— 厂站级控制模型分配给储能系统的无功功率控制指令;
- P_e —— 储能变流器输出有功功率;
- Q_e —— 储能变流器输出无功功率;
- PF_{ref} —— 储能变流器功率因数参考值;
- U_i —— 储能变流器网测电压;
- U_{i_ref} —— 储能变流器网测电压参考值;
- I_{q0} —— 储能变流器无功电流初始值;
- $I_{qcmd'}$ —— 储能变流器正常运行控制无功电流指令。

图 G.2 储能变流器正常运行状态无功控制机电暂态仿真模型

参数说明：

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	$Flag_{Qref}$	无功功率参考值选择标志位	—	1	收资
2	$Flag_v$	电压选择标志位	—	1	收资
3	$Flag_Q$	无功电流控制模式标志位	—	1	收资
4	Q_{max}	无功功率上限	p.u.	1.1	收资/实测
5	Q_{min}	无功功率下限	p.u.	-1.1	收资/实测
6	dQ_{max}	无功功率变化率上限	p.u./s	999	收资/实测
7	dQ_{min}	无功功率变化率下限	p.u./s	-999	收资/实测
8	T_{Qref}	无功功率控制指令延时	s	0.01	收资/实测
9	T_{rP}	有功功率测量环节时间常数	s	0.01	收资/实测
10	T_{rQ}	无功功率测量环节时间常数	s	0.01	收资/实测
11	T_{rU}	电压测量环节时间常数	s	0.01	收资
12	T_{rk}	无功电流调节器滞后时间常数	s	0.01	收资/实测
13	DB_{u1}	电压偏差死区负值	p.u.	0.0	收资/实测
14	DB_{u2}	电压偏差死区正值	p.u.	0.0	收资/实测
15	$K_{p,k}$	无功电流 PI 控制比例系数	—	0.1	收资/实测
16	$K_{i,k}$	无功电流 PI 控制积分系数	—	2.0	收资/实测
17	I_{e_INTmax}	无功电流 PI 控制积分上限	p.u.	1.1	收资/实测
18	I_{e_INTmin}	无功电流 PI 控制积分下限	p.u.	-1.1	收资/实测
19	$K_{p,v}$	电压偏差 PI 控制比例系数	—	1	收资/实测
20	$K_{i,v}$	电压偏差 PI 控制积分系数	—	5	收资/实测
21	I_{qmax}	无功电流上限	p.u.	1.1	收资/实测
22	I_{qmin}	无功电流下限	p.u.	-1.1	收资/实测
23	dI_{qmax}	无功电流变化率上限	p.u./s	999	收资/实测
24	dI_{qmin}	无功电流变化率下限	p.u./s	-999	收资/实测

图 G.2 储能变流器正常运行状态无功控制机电暂态仿真模型（续）

附录 H

(资料性)

储能变流器故障穿越状态电气控制与保护机电暂态仿真模型

储能变流器保护模型包括电压保护与频率保护,按 GB/T 34120、GB/T 36547 和 GB/T 36558 中储能变流器涉网性能要求设定。储能变流器故障穿越状态电气控制模型如下。

- a) 低电压穿越期间有功电流 $I_{p\text{cmd_HLVRT}}$ 、无功电流 $I_{q\text{cmd_HLVRT}}$ 指令计算模型见公式(H.1)和公式(H.2):

$$I_{p\text{cmd_HLVRT}} = K_{1,Ip_LV} \times U_t + K_{2,Ip_LV} \times I_{p0} + I_{p\text{set_LV}} \dots\dots\dots(\text{H.1})$$

$$I_{q\text{cmd_HLVRT}} = K_{1,Iq_LV} \times (U_{\text{Lin}} - U_t) + K_{2,Iq_LV} \times I_{q0} + I_{q\text{set_LV}} \dots\dots\dots(\text{H.2})$$

式中:

U_t ——储能变流器网侧电压;

I_{p0} ——储能变流器有功电流初始值;

I_{q0} ——储能变流器无功电流初始值。

参数说明:

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	K_{1,Ip_LV}	有功电流系数 1	—	0.0	收资/实测
2	K_{2,Ip_LV}	有功电流系数 2	—	0.5	收资/实测
3	$I_{p\text{set_LV}}$	有功电流设定值	p.u.	0.0	收资/实测
4	K_{1,Iq_LV}	无功电流系数 1	—	1.5	收资/实测
5	K_{2,Iq_LV}	无功电流系数 2	—	1	收资/实测
6	$I_{q\text{set_LV}}$	无功电流设定值	p.u.	0	收资/实测
7	U_{Lin}	进入低电压穿越状态电压阈值	p.u.	0.9	收资/实测

- b) 高电压穿越期间有功电流 $I_{p\text{cmd_HLVRT}}$ 、无功电流 $I_{q\text{cmd_HLVRT}}$ 指令计算模型见公式(H.3)和公式(H.4):

$$I_{p\text{cmd_HLVRT}} = K_{1,Ip_HV} \times U_t + K_{2,Ip_HV} \times I_{p0} + I_{p\text{set_HV}} \dots\dots\dots(\text{H.3})$$

$$I_{q\text{cmd_HLVRT}} = K_{1,Iq_HV} \times (U_{\text{Hin}} - U_t) + K_{2,Iq_HV} \times I_{q0} + I_{q\text{set_HV}} \dots\dots\dots(\text{H.4})$$

式中:

U_t ——储能变流器网侧电压;

I_{p0} ——储能变流器有功电流初始值;

I_{q0} ——储能变流器无功电流初始值。

参数说明：

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	$K_{1,p,HV}$	有功电流系数 1	—	0	收资/实测
2	$K_{2,p,HV}$	有功电流系数 2	—	1	收资/实测
3	$I_{set,HV}$	有功电流设定值	p.u.	0	收资/实测
4	$K_{1,q,HV}$	无功电流系数 1	—	1	收资/实测
5	$K_{2,q,HV}$	无功电流系数 2	—	1	收资/实测
6	$I_{set,HV}$	无功电流设定值	p.u.	0	收资/实测
7	U_{Hb}	进入高电压穿越状态电压阈值	p.u.	1.1	收资/实测

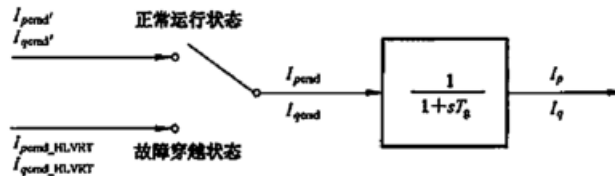
c) 电压恢复后有功电流、无功电流按斜率或曲线等方式恢复。

附录 I

(资料性)

储能变流器及并网接口机电暂态仿真模型

I.1 机电暂态仿真中储能变流器可采用惯性环节进行模拟,仿真模型见图 I.1。



标引符号说明:

- I_{pcmd}' —— 储能变流器正常运行控制有功电流指令;
- I_{qcmd}' —— 储能变流器正常运行控制无功电流指令;
- I_{pcmd_HLVRT} —— 储能变流器故障穿越控制有功电流指令;
- I_{qcmd_HLVRT} —— 储能变流器故障穿越控制无功电流指令;
- I_{pcmd} —— 储能变流器有功电流控制指令;
- I_{qcmd} —— 储能变流器无功电流控制指令;
- I_p —— 储能变流器有功电流分量;
- I_q —— 储能变流器无功电流分量。

参数说明:

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	T_g	储能变流器时间常数	s	0.01	收资

图 I.1 储能变流器机电暂态仿真模型

I.2 电化学储能系统作为一个受控电流源,利用有功电流 I_p 、无功电流 I_q 以及端电压 U_i ,将储能变流器输出的有功无功电流分量转换为并网计算需要的 xy 坐标分量,计算遵循式(I.1)。

$$\begin{cases} P_e = I_p U_i \\ Q_e = I_q U_i \\ I_{re} = (P U_{re} + Q U_{ie}) / U_i^2 \\ I_{ie} = (P U_{ie} - Q U_{re}) / U_i^2 \\ |I_{se}| = \sqrt{I_{re}^2 + I_{ie}^2} \end{cases} \dots\dots\dots (I.1)$$

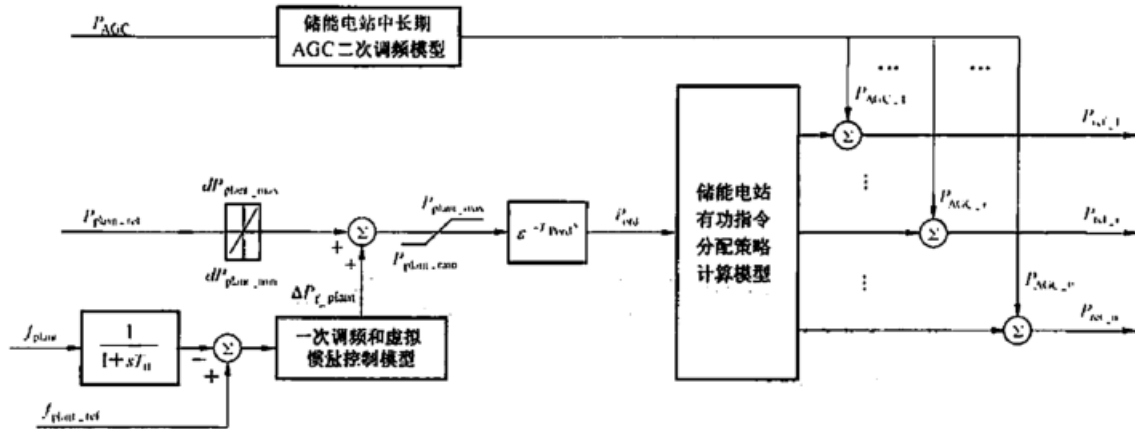
式中:

- P_e —— 储能变流器输出有功功率;
- Q_e —— 储能变流器输出无功功率;
- U_i —— 储能变流器网侧电压;
- U_{re} —— 储能变流器网侧电压实部;
- U_{ie} —— 储能变流器网侧电压虚部;
- I_p —— 储能变流器有功电流分量;
- I_q —— 储能变流器无功电流分量;
- I_{re} —— 储能变流器输出电流实部;
- I_{ie} —— 储能变流器输出电流虚部;
- I_{se} —— 储能变流器输出电流。

附录 J
(资料性)

厂站级有功无功控制机电暂态仿真模型

J.1 电化学储能电站的厂站级有功功率控制机电暂态仿真模型图见图 J.1, 厂站级有功功率控制模型可以接受中长期模型的 AGC 指令, 也可以接受一次调频和虚拟惯量控制模型输出的有功功率调节量, 并通过储能电站有功指令分配策略, 计算得到各储能系统有功功率控制指令。



标引符号说明:

- P_{AGC} —— 储能电站接收的 AGC 调节量指令(中长期动态仿真模型);
- $P_{AGC,i}$ —— 分配给第 i 个电化学储能系统的 AGC 实际调节量;
- P_{plant_ref} —— 储能电站有功功率参考值;
- f_{plant} —— 储能电站并网点频率;
- f_{plant_ref} —— 储能电站频率参考值;
- ΔP_{f_plant} —— 储能电站一次调频和虚拟惯量控制输出的有功功率调节量;
- P_{tot} —— 厂站级控制模型输出的整站有功功率控制指令;
- P_{ref} —— 分配给电化学储能系统的有功功率控制指令;
- $P_{ref,i}$ —— 分配给第 i 个电化学储能系统的有功功率控制指令。

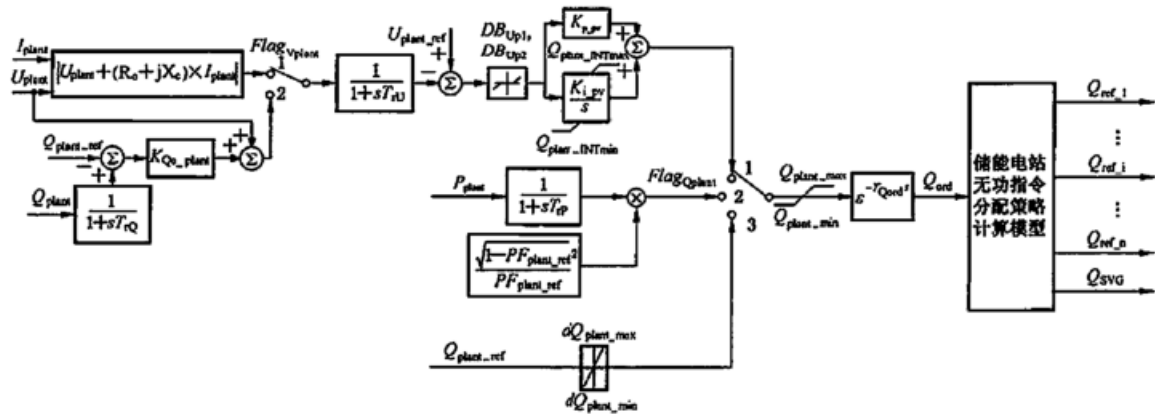
参数说明:

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	dP_{plant_max}	有功功率变化率上限	p.u./s	999	收资/实测
2	dP_{plant_min}	有功功率变化率下限	p.u./s	-999	收资/实测
3	P_{plant_max}	有功功率上限	p.u.	1.1	收资/实测
4	P_{plant_min}	有功功率下限	p.u.	-1.1	收资/实测
5	T_{f1}	频率测量环节时间常数	s	0.01	收资
6	T_{Pord}	有功功率控制指令传输延时	s	0.05	收资/实测

图 J.1 厂站级有功功率控制机电暂态仿真模型

J.2 电化学储能电站的厂站级无功功率控制机电暂态仿真模型图见图 J.2, 控制模式包括定电压控制、站级恒功率因数控制、定无功功率控制, 并通过储能电站无功指令分配策略, 计算得到各储能系统无功

功率控制指令。



标引符号说明：

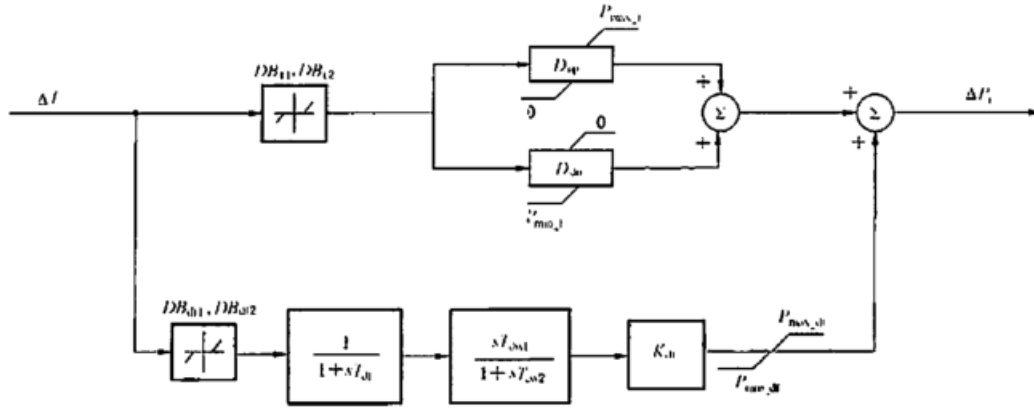
- U_{plant} —— 储能电站并网点电压；
- U_{plant_ref} —— 储能电站电压参考值；
- I_{plant} —— 储能电站并网点线路电流；
- Q_{plant} —— 储能电站输出无功功率；
- Q_{plant_ref} —— 储能电站输出无功功率参考值；
- PF_{plant_ref} —— 储能电站功率因数参考值；
- Q_{ord} —— 厂站级控制模型输出的整站无功功率控制指令；
- Q_{ref} —— 分配给电化学储能系统的无功功率控制指令；
- $Q_{ref,i}$ —— 分配给第 i 个电化学储能系统的无功功率控制指令；
- Q_{svg} —— 分配给无功补偿设备的无功功率控制指令。

参数说明：

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	$Flag_{V_{plant}}$	电压选择标志位	—	1	收资
2	$Flag_{Q_{plant}}$	无功功率指令模式标志位	—	1	收资
3	R_c	线路补偿电阻	p.u.	0.0	收资
4	X_c	线路补偿电感	p.u.	0.0	收资
5	K_{Qc_plant}	无功下垂因子	—	0.0	收资
6	T_{rQ}	无功功率测量环节时间常数	s	0.01	收资/实测
7	T_{rU}	电压测量环节时间常数	s	0.01	收资
8	T_{rP}	有功功率测量环节时间常数	s	0.01	收资/实测
9	DB_{up1}	电压偏差死区负值	p.u.	0.0	收资/实测
10	DB_{up2}	电压偏差死区正值	p.u.	0.0	收资/实测
11	K_{p_pv}	电压 PI 控制比例系数	—	0.1	收资/实测
12	K_{i_pv}	电压 PI 控制积分系数	—	0.5	收资/实测
13	dQ_{plant_max}	无功功率变化率上限	p.u./s	999	收资/实测
14	dQ_{plant_min}	无功功率变化率下限	p.u./s	-999	收资/实测
15	Q_{plant_max}	无功功率上限	p.u.	1.1	收资/实测
16	Q_{plant_min}	无功功率下限	p.u.	-1.1	收资/实测
17	T_{Qord}	无功功率控制指令传输延时	s	0.05	收资/实测

图 J.2 厂站级无功功率控制机电暂态仿真模型

J.3 电化学储能电站的一次调频和虚拟惯量控制机电暂态仿真模型见图 J.3, 输入为频率偏差量, 输出为一次调频和虚拟惯量控制有功功率调节量。该模型也适用于储能变流器一次调频和虚拟惯量控制。



标引符号说明:

Δf —— 频率偏差量;

ΔP —— 一次调频和虚拟惯量控制输出的有功功率调节量。

参数说明:

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	DB_{fl}	一次调频频率偏差死区负值	p.u.	0.0	实测
2	DB_{fr}	一次调频频率偏差死区正值	p.u.	0.0	实测
3	DB_{dl}	虚拟惯量控制频率偏差死区负值	p.u.	0.0	实测
4	DB_{dr}	虚拟惯量控制频率偏差死区正值	p.u.	0.0	实测
5	D_{dn}	频率下垂控制因子-下调	p.u.	10	实测
6	D_{sp}	频率下垂控制因子-上调	p.u.	10	实测
7	T_{dl}	虚拟惯量控制时间常数	s	0.01	实测
8	T_{dw1}	频率微分时间常数 1	s	0.1~1	实测
9	T_{dw2}	频率微分时间常数 2	s	0.1~1	实测
10	K_{dl}	虚拟惯量控制放大系数	—	10	实测
11	$P_{max,f}$	一次调频有功调节量上限	p.u.	0.1	实测
12	$P_{min,f}$	一次调频有功调节量下限	p.u.	-0.1	实测
13	$P_{max,dl}$	虚拟惯量控制有功调节量上限	p.u.	0.1	实测
14	$P_{min,dl}$	虚拟惯量控制有功调节量下限	p.u.	-0.1	实测

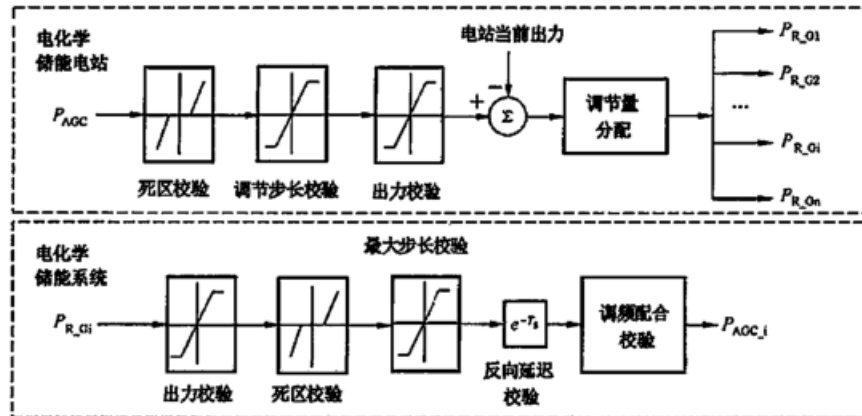
图 J.3 一次调频和虚拟惯量控制模型

附录 K

(资料性)

电化学储能电站典型二次调频模型

电化学储能电站典型二次调频模型见图 K.1。



标引符号说明：

- P_{AGC} —— 储能电站接收的 AGC 调节量指令，标么值；
- $P_{R_G1}, P_{R_G2}, P_{R_Gi}, P_{R_Gn}$ —— 分配给不同储能系统的 AGC 调节量指令，标么值；
- P_{AGC_i} —— 第 i 个电化学储能系统的 AGC 实际调节量，标么值。

参数说明：

序号	参数名称	参数说明	单位	典型值	参数来源
1	T_i	反向延迟时间	s	0~4.0	收资

图 K.1 电化学储能电站典型二次调频模型

参 考 文 献

- [1] GB/T 34120 电化学储能系统储能变流器技术规范
 - [2] GB/T 36547 电化学储能系统接入电网技术规定
 - [3] GB/T 36558 电力系统电化学储能系统通用技术条件
-