

团体标准

T/DIPA 1-2024
代替 T/DIPA 1-2022

多端混合直流控制保护通用技术要求

General specifications for control and protection system of
multi-terminal hybrid DC system

2024 - 02 - 05 发布

2024 - 03 - 31 实施

国家技术标准创新基地
(直流输电及电力电子技术) 筹建

珠海市直流输电及电力电子产业促进会

发布

全国团体标准信息平台

目 次

前 言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 通用要求	2
4.1 环境条件	2
4.2 电源	2
4.3 交流测量回路功率消耗	2
4.4 绝缘性能	2
4.5 气候环境耐受性能	3
4.6 机械性能	3
4.7 电磁兼容要求	3
4.8 结构及外观要求	3
4.9 安全要求	3
5 控制保护设计要求	4
5.1 一般要求	4
5.2 硬件设计要求	4
5.3 软件设计要求	5
6 控制设备技术要求	5
6.1 配置要求	5
6.2 功能要求	5
6.3 性能要求	8
7 保护设备技术要求	9
7.1 配置要求	9
7.2 功能要求	10
7.3 性能要求	13
8 接口与通信功能	13
8.1 一般要求	13
8.2 远动工作站和远方监控中心通信	13
8.3 站内控制保护设备与其他设备通信	13
8.4 站间通信	14
9 试验	14
9.1 一般要求	14
9.2 工厂试验	14
9.3 出厂试验	15
9.4 现场试验	16
10 标志、标签和随行文件	17
10.1 标志和标签	17
10.2 随行文件	18
11 包装、运输和贮存	17
11.1 包装	17
11.2 运输	17

11.3 贮存	18
附录 A VSC 站阀组控制器结构	19
参考文献	21

全国团体标准信息平台

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。

本文件由国家标准创新基地（直流输电及电力电子）筹建和珠海市直流输电及电力电子产业促进会标准化管理中心提出和归口。

本文件代替T/DIPA 1-2022《多端混合直流控制保护通用技术要求》，与T/DIPA 1-2022相比，除结构调整和编辑性改动外，主要调整了规范性引用文件，新增了试验方法（见9.3.4、9.4.4.4和9.4.5.1）。

本文件起草单位：南方电网科学研究院有限责任公司、南方电网电力调度控制中心、南方电网超高压输电公司、南京南瑞继保电气有限公司、许继电气股份有限公司、北京四方继保自动化股份有限公司。

本文件主要起草人：李桂源、黄伟煌、李捷、孔飞、曹润彬、刘洪涛、谢惠蕃、鲁江、张建锋、刘旭辉、梅红明、游涛、宋阳、甘宗跃、彭茂兰、余银、石万里、胡付有、吕习超、全晓方、冯文昕、陈名。

本文件在执行过程中的意见或建议可反馈至珠海市直流输电及电力电子产业促进会（地址：广东省珠海市香洲区乐园路46号，519000）。

全国团体标准信息平台

多端混合直流控制保护系统通用技术要求

1 范围

本文件规定了多端混合直流控制与保护系统的通用要求、控制保护设计要求、控制设备技术要求、保护设备技术要求、接口与通信要求、试验要求、标志标签和随行文件、包装运输和贮存等。

本文件适用于 ± 110 kV及以上两端、多端混合直流输电系统的控制和保护系统。

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/T 191 包装储运图示标志

GB/T 2887—2011 计算机场地通用规范

GB/T 4208 外壳防护等级（IP 代码）

GB/T 11287—2000 电气继电器 第 21 部分：量度继电器和保护装置的振动、冲击、碰撞和地震试验第 1 篇：振动试验（正弦）

GB/T 13498—2017 高压直流输电术语

GB/T 14537—1993 量度继电器和保护装置的冲击与碰撞试验

GB/T 14598.2—2011 量度继电器和保护装置 第 1 部分：通用要求

GB/T 22390.1—2008 高压直流输电系统 控制与保护设备 第 1 部分：运行人员控制系统

GB/T 22390.4—2008 高压直流输电系统控制与保护设备 第 4 部分：直流系统保护设备

GB/T 34118—2017 高压直流系统用电压源换流器术语

GB/T 35745—2017 柔性直流输电控制与保护设备技术要求

GB/T 38878—2020 柔性直流输电工程系统试验要求

DL/T 478—2013 继电保护和安全自动装置通用技术

DL/T 667—1999 远动设备及系统：第 5 部分：传输规约。第 103 篇：继电保护设备信息接口配套标准

DL/T 860（所有部分）变电站通信网络和系统

DL/T 1193 柔性输电术语

DL/T 1794—2017 柔性直流输电控制保护系统联调试验技术规程

3 术语和定义

GB/T 13498、GB/T 34118 和 DL/T 1193 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

多端混合直流输电系统 multi-terminal hybrid DC system

由三个及以上换流站通过一定联结方式构成的直流系统，该直流系统应同时包含电网换相换流器（LCC）和电压源换流器（VSC），其中 LCC 与 VSC 通过站-站接线方式进行连接。

注：采用电网换相换流器的直流输电通常称为常规直流输电，采用电压源换流器的直流输电通常称为柔性直流输电。

4 通用要求

4.1 环境条件

4.1.1 正常工作大气条件

正常工作大气条件如下：

- a) 环境温度：-10° C~+55° C；
- b) 大气压力：80 kPa~110 kPa；
- c) 相对湿度：5%~95%（内部不应凝霜，也不应结冰）。

4.1.2 试验的标准大气条件

试验的标准大气条件如下：

- a) 环境温度：+15° C~+35° C；
- b) 大气压力：86 kPa~106 kPa；
- c) 相对湿度：45%~75%。

4.1.3 使用环境的其他要求

包括但不限于：

- a) 使用环境不应有剧烈的振动源；
- b) 使用环境不应有腐蚀、破坏绝缘的气体及导电介质，对于使用环境内有火灾、爆炸危险的介质，设备应有防爆措施；
- c) 使用环境应有防御雨、雪、风、沙的设施；
- d) 场地安全要求应符合 GB/T9361 中 B 类的规定，接地应符合 GB/T 2887—2011 中 5. 8 的规定。

4.2 电源

4.2.1 交流电源

交流电源要求如下：

- a) 额定电压：220 kV，允许偏差-15%~+15%；
- b) 频率：50 Hz，允许偏差±1 Hz；
- c) 波形：正弦，畸变因数不大于 5%。

4.2.2 直流电源

直流电源要求如下：

- a) 额定电压：220 V、110 V，允许偏差-20%~+15%；
- b) 纹波系数：不大于 5%。

4.3 交流测量回路功率消耗

交流测量回路功率消耗应遵循 GB/T 35745—2017 中 4.3 的规定。

4.4 绝缘性能

4.4.1 绝缘电阻

绝缘电阻应遵循 GB/T 35745 标准中关于试验部位、绝缘电阻测量的具体要求。

4.4.2 介质强度

介质强度应遵循 GB/T 35745 的标准要求。

4.4.3 冲击电压

冲击电压应遵循 GB/T 35745 标准中关于试验部位、冲击电压试验值和结果判定的具体要求。

4.5 气候环境耐受性能

设备的耐高低温及耐湿热性能应符合 GB/T 14598.2—2011 中 6.12.3 的规定。

4.6 机械性能

4.6.1 振动（正弦）

4.6.1.1 振动响应

设备应具有承受 GB/T 11287—2000 中 3.2.1 规定的严酷等级为 1 级的振动响应能力。

4.6.1.2 振动耐久

设备应具有承受 GB/T 11287—2000 中 3.2.2 规定的严酷等级为 1 级的振动耐久能力。

4.6.2 冲击

4.6.2.1 冲击响应

设备应具有承受 GB/T 14537—1993 中 4.2.1 规定的严酷等级为 1 级的冲击响应能力。

4.6.2.2 冲击耐受

设备应具有承受 GB/T 14537—1993 中 4.2.2 规定的严酷等级为 1 级的冲击耐受能力。

4.6.3 碰撞

设备应具有承受 GB/T 14537—1993 中 4.3 规定的严酷等级为 1 级的碰撞能力。

4.7 电磁兼容要求

4.7.1 抗扰度要求

抗扰度应遵循 GB/T 35745—2017 中 4.7.1 关于外壳端口抗扰度、辅助电源端口抗扰度、通信端口抗扰度、输入和输出端口抗扰度的规定。

4.7.2 电磁发射试验

电磁发射试验应遵循 GB/T 35745—2017 中 4.7.2 的规定。

4.8 结构及外观要求

设备的金属零件应经防腐蚀处理。所有零件应完整无损，设备外观应无划痕及损伤。

设备所用元器件应符合相应的技术要求。

设备零部件、元器件应安装正确、牢固，并实现可靠的机械和电气连接。

同类设备的相同功能的插件、易损件应具有互换性，不同功能的插件应有防误插措施。

4.9 安全要求

4.9.1 外壳防护（IP 代码）

设备应有外壳防护，防护等级为 GB/T 4208—2017 规定的 IP20 或 IP50（有要求时）。

4.9.2 电击防护

设备的电击防护应符合 GB/T 14598.27—2008 中 5.1 的规定。

5 控制保护设计要求

5.1 一般要求

控制保护系统的体系结构、功能配置、链路延时和总体性能，应与工程的主回路结构和运行方式相适应，确保系统的安全稳定运行。

控制保护系统软件、硬件平台应采用成熟先进的直流控制保护制造技术，并优先采用商业化程度较高的硬件设备、软件平台和应用程序，以保证有可靠的备品备件来源。

控制保护系统的各子系统应采用模块化、分层分布式、开放式结构，应能灵活配置，并具有良好的可扩展性能。

控制保护系统各层次、各设备以及和外部设备之间的接口和通信宜采用标准的接口和规约。

控制保护系统功能和动作定值应根据直流系统的运行方式，在运行过程中进行动态的配置和调整，自动适应工程确定的所有运行方式，并且不应在运行方式切换过程中出现误动或拒动。

控制与保护的功能和参数应正确地协调配合，直流系统应首先借助直流控制的能力去抑制故障的发展，改善直流系统的暂态性能。

控制保护系统应具备全面的自诊断功能，自诊断功能应覆盖设备的主机、电源、测量回路、输入输出回路、通信回路等所有硬件和软件模块，并提供足够的信息辅助将故障定位到最小可更换单元。

直流控制保护系统应具备站间无通讯方式下的应急控制功能，控制信号因站间通信故障而不能更新时，直流系统应能够维持通信故障前功率水平继续运行，可按照运行人员指令安全平稳地操作至停运状态。在功率/电流变化过程中发生站间通信故障，控制系统应能防止直流系统因失去电流裕度而崩溃。

控制保护系统应对测量异常具有适应性。对于直流控制系统，当所用到的测量值发生测量异常时，可采用测点切换、系统切换、警告等手段。对于直流保护系统，当所用到的测量值发生测量异常需自动退出相应保护功能时，应仅退出受测量异常影响的保护功能，不得退出或影响其它保护功能，确保其它保护功能仍可正常动作，采用分相保护的宜仅退出异常相。

5.2 硬件设计要求

控制保护系统应采用可靠的冗余结构，确保任何的单一元件故障（出口元件除外）不会引起设备的不正确动作。冗余控制保护系统的任意一重设备因故障或其他原因退出运行及检修时，包括任何单一测量通道、装置、电源、板卡、模块、通讯通道故障或退出，均不应导致保护误动跳闸、直流功率异常或直流闭锁。设备供货商应按该原则进行厂内可靠性测试，并提交测试报告。

直流保护应与直流控制系统独立配置，优先通过保护装置自身实现相关保护功能，宜减少外部输入量，以降低对相关回路和设备的依赖。

控制保护系统内设备之间、与外部系统之间的接口应简洁、紧凑和可靠，宜采用通信方式连接，如符合标准的网络、现场总线方式，传输介质宜为光纤。如必须采用硬接线输入输出方式，开关量应采用强电开入，防止电磁干扰。

控制保护系统应采用双电源配置，控制保护装置电源电压应采用直流 110V 或直流 220V，服务器采用交流 220V。

控制保护设备应提供至少两个与运行人员控制（SCADA）系统（包含运行人员工作站及工程师工作站等）的网络接口，保护设备还应至少提供一个与保护故障信息系统的网络接口，宜采用 DL/T 860（所有部分）或 DL/T 667 规定的相关通信协议。

控制保护系统应遵循安全分区原则，硬件上应采用纵向加密和横向隔离等措施，阻止外部非法信号和指令的侵入。

控制保护设备应确保当冗余控制保护设备均失电后，内部储存数据不丢失。

5.3 软件设计要求

控制保护系统应采用安全的操作系统，SCADA 系统的数据服务器、应用服务器、前置服务器等和远动工作站宜采用 UNIX/LINUX 操作系统。

控制保护系统宜采用开放的网络结构，通信规约应采用标准的国际通用协议。

控制保护系统的设备软件宜采用模块化设计，具备开放式结构和良好的可扩展性能。

控制保护系统应采取有效的防病毒侵入和扩散的措施，软件上应采用完善的防/查/杀病毒程序，确保控制保护设备网络的安全，并具备高度的保密性等。

控制保护系统应具备软件版本管理功能，可查看并记录程序版本号、循环冗余校验码（CRC）和程序生成时间等信息。

控制保护核心设备软件平台应提供图形化工程开发工具和包含经过验证的各种软件功能模块，开发工具具备设备硬件配置、应用软件开发和在线调试等功能，以方便直流控制保护设备的开发和运行维护。控制保护程序使用应设计权限设置，包含离线查看、在线查看、在线修改等权限，并设置秘钥等物理授权措施。

6 控制设备技术要求

6.1 配置要求

控制系统的设计遵循分层原则，各层次在结构上分开，层次等级相同的各控制功能及其相应的硬件、软件在结构上宜分开，以减小相互影响：

- a) 直接面向被控设备的控制功能设置在最低层次等级；
- b) 系统的主要控制功能宜分散到较低的层次等级，以提高系统可用率；
- c) 当高层控制发生故障时，各下层次控制能按照故障前的指令继续工作，并保留尽可能多的控制功能。

根据功能由高到低可依次划分为：

- a) 多端/站间协调控制层
- b) 站级控制层；
- c) 双极控制层；
- d) 极控制层；
- e) 阀组控制层。

对于两端系统，站间协调控制可配置于站级控制层或极控制层；对于三端及以上的多端系统，多端协调控制可配置在站级控制层或极控制层，也可单独配置多端协调控制设备。

对双极控制层，可以配置独立的双极控制设备，也可将双极控制功能集成在极控制设备内。

控制系统的各层次应按照双重化的原则设计，双重化配置的控制层设备及其测量回路、信号输入、输出回路、通信回路、主机应相互独立，以确保直流系统不会因为控制系统的单重故障而发生停运。

换流站应配置运行人员控制系统和谐波监视系统。

6.2 功能要求

6.2.1 多端协调控制系统（如有）

多端协调控制应具有但不限于以下功能：

- a) 各站功率/电流指令协调；
- b) 各站功率/电流指令变化率协调；

- c) 站间功率转移协调;
- d) 直流电压控制协调;
- e) 单站投入/退出控制;
- f) 主控站选择。

多端协调控制系统应保证在任意时刻有且仅有一个站作为主控站,其余站作为从控站,主控站可在各站间进行切换。主控站协调各站进行相关操作,从控站会跟随主控站的操作进行相应变化。若直流系统为双极系统,则本站双极始终保持为相同的主控/从控模式。在任何时候应保证有且仅有一个定直流电压控制站,当定直流电压控制站退出运行时,其他换流站中应有一个换流站可以自动转为定电压控制,承担平衡各站功率的作用,保障整个直流系统的电压和功率稳定。

多端协调控制系统对各端的有功功率/电流进行分配,保证各端的功率都在设计容量之内,包括功率/电流指令的协调、功率/电流指令变化率协调、站间功率转移协调和单站投入/退出功能等:

- 1) 功率/电流指令协调控制原则。多端运行模式下,一个或多个换流站直流功率发生变化时,需要重新整定各换流站的功率指令,保证系统能运行在一个稳定的功率水平。
- 2) 功率/电流升降速率协调原则。多端运行模式下,定功率站的功率/电流指令的升降速率应与其它各站协调,以保证定电压站功率水平时刻保持在设计范围内。
- 3) 站间功率转移协调原则。在双极功率控制运行方式下,若多受端其中一端某极由于故障闭锁,功率转移优先考虑如下原则:在保证满足故障极送端功率限制前提下,本站的功率缺额应转移至本站的正常极,并保证正常极维持在过负荷能力范围内,故障极的其他站仍维持故障前的运行状态。必要时本站的功率缺额也可转移到另一受端换流站,并保证另一受端换流站维持在过负荷能力范围内。当多受端其中一端由于故障而退出时,协调控制系统应调整剩余端的有功功率/电流指令,维持系统的有功功率平衡和直流电压稳定,并保证正常换流站维持在过负荷能力范围内。
- 4) 单站投入/退出功能。在多端直流系统中,为了增加运行的灵活性,应设计单站的在线投入/退出功能。

6.2.2 交流和直流站控系统

6.2.2.1 交流站控系统

交流站控系统应完成换流站内交流场设备的监视和控制功能。

a) 控制功能

交流站控系统应能够接收来自运行人员控制系统或远动系统的控制命令信号,完成但不限于以下控制和操作:

- 1) 本站交流场内所有断路器、隔离开关和接地开关的分/合操作;
- 2) 所有上述控制操作,应有安全可靠的联锁功能,以保证系统及设备的正常运行和运行人员的人身安全。

b) 监视功能

交流站控系统应完成交流场所有信号采集、汇总,上传至运行人员控制系统上进行监视,完成但不限于以下控制和操作:

- 1) 所有上述控制操作指令;
- 2) 全站交流系统所有一次设备的运行状态(如断路器、隔离开关、接地开关的分/合位置);
- 3) 全站交流系统所有一次系统回路、支路的运行参数(如电压、电流和功率等);
- 4) 站用电及辅助系统的运行状态和运行参数;
- 5) 交流站控系统内部所产生的事件(包括告警和故障);
- 6) 交流站控系统自身的运行状态。

所有上传到运行人员控制系统的监视信号,均应具有完整的时间标记,其最小分辨率应不大于1 ms。

6.2.2.2 直流站控系统

直流站控系统作为换流站控制保护系统的一部分，完成与站级相关的直流控制和监视功能：

a) 控制功能

直流站控系统能接收来自运行人员控制系统或运动系统的控制命令信号，完成但不限于以下控制和操作：

- 1) 模式选择；
- 2) 直流场内所有断路器、隔离开关和接地开关的控制和监视；
- 3) 直流顺序控制和联锁；
- 4) LCC 无功控制。

所有上述控制操作，应有安全可靠的联锁功能，以保证系统及设备的正常运行和运行人员的人身安全。

b) 监视功能

直流站控系统应完成直流场所有信号采集、汇总，上传至运行人员控制系统上进行监视，应具备但不限于以下控制和操作：

- 1) 所有上述控制操作指令；
- 2) 全站直流场设备的运行状态（如直流开关、隔离开关、接地开关的分/合位置）；
- 3) 全站直流场一次系统回路、支路的运行参数（如电压和电流等）；
- 4) 直流站控系统内部所产生的事件（包括告警和故障）；
- 5) 直流站控系统自身的运行状态（如主通道、各通道投入状态等）。

所有上传到运行人员控制系统的监视信号，均应具有完整的时间标记，其最小分辨率应不大于 1 ms。

6.2.3 直流极控系统

直流极控系统功能应包括：

- a) 极控制模式选择；
- b) 极起停控制；
- c) 双极功率控制；
- d) 极功率/电流控制；
- e) 接地极电流平衡控制；
- f) 后备无功功率控制（适用于 LCC）；
- g) 无功功率控制（适用于 VSC）；
- h) 过负荷控制；
- i) 线路开路试验控制；
- j) 功率调制控制。

6.2.4 阀组控制系统

对于 LCC 站的阀组控制系统，在接收到来自极控的电流指令后，经过各闭环控制器的调节作用，计算出合理的触发角指令。根据基本控制策略，触发角运算应包括以下四个基本控制器：

- a) 闭环电流调节器；
- b) 电压控制器；
- c) 过压限制控制器；
- d) 熄弧角控制器。

对于 VSC 站的阀组控制系统，可采用幅相控制、矢量控制、构网型控制等，各控制方式的控制器结构见附录 A。

6.2.5 运行人员控制系统

6.2.5.1 一般要求

运行人员控制系统设计要求应符合 GB/T 22390.1—2008 中 4.3 的规定。

6.2.5.2 功能要求

LCC 站的运行人员控制系统功能要求应符合 GB/T 22390.1—2008 中 4.4 的规定。

VSC 站的运行人员控制系统功能要求应符合 GB/T 35745—2017 中 5.1.3.2 的规定。

6.2.5.3 性能要求

运行人员控制系统技术参数应符合 GB/T 22390.1—2008 中 4.5 的规定。

6.2.6 谐波监视系统

直流控制系统应具有对全站的自动监视和分析功能，监测范围包括直流母线谐波电流电压、各换流变压器交流侧谐波电流电压、交流联络线的谐波电流电压等，并具备谐波分析、告警和录波功能。

6.3 性能要求

6.3.1 控制系统稳定性

在规定的交流系统电压及频率变化条件下，直流控制系统应具备维持稳定地输送直流功率的能力。

在连接弱交流系统时，应避免柔性直流换流器与交流系统由于阻抗不匹配而发生谐振，可通过调整控制系统的控制器参数、优化控制策略等措施以避免谐振现象。

6.3.2 控制系统精度

直流控制系统的精度应能满足稳定无漂移的运行要求，控制精度应满足如下要求：

- a) 功率控制： $\leq \pm 1\%$ ；
- b) 电流控制： $\leq \pm 0.5\%$ ；
- c) 电压控制： $\leq \pm 2\%$ ；
- d) 双极平衡运行时，入地不平衡电流： $\leq \pm 0.3\%$ ；
- e) 定无功控制（适用于 VSC）： $\leq \pm 2\%$ ；
- f) 定交流电压： $\leq \pm 1 \text{ kV}$ ；
- g) 阀组点火脉冲的不平衡度（适用于 LCC）： $\leq \pm 0.02^\circ$ ；
- h) 稳态工况下 VSC 高低阀组电压不平衡度：稳态工况下 $\leq 2\%$ ，暂态工况下 $\leq 5\%$ ；
- i) 高低端阀组换流变分接头档位：档位差不超过一档。

6.3.3 动态性能要求

6.3.3.1 直流电流控制器响应

对于直流系统所有运行方式，每个换流站的直流功率输送水平应处于相应的最小功率至额定功率之间，且定电流控制侧所施加的电流阶跃指令不会导致定电压控制侧控制模式的变化，定电流控制侧的直流极电流对电流指令的阶跃变化的响应满足如下要求：

- a) 当电流指令的变化量不超过定电压控制侧直流电流裕度时，响应时间不大于 100 ms，（考虑电流控制回路的误差，允许电流指令变化量小于直流电流裕度减去额定电流的 2%）；
- b) 当电流指令的变化量超过定电压控制侧直流电流裕度时，响应时间不大于 120 ms。

6.3.3.2 直流功率控制器响应

直流功率控制器响应应满足如下要求：

- a) 在交流系统扰动时，直流功率控制应使因扰动引起的功率变化值的 90%在扰动后 1 s 内恢复。
- b) 对于直流系统所有可能的运行方式，当直流系统在相应的最小功率和额定功率之间的任意功率

水平下运行时，且定功率控制侧所施加的功率阶跃不会导致定电压控制侧控制模式的变化，定功率控制侧直流功率控制器应使得 90%的直流功率变化能在整定值变化后 150 ms 内达到。

6.3.3.3 直流电压控制器响应

直流电压控制器应具有适当的响应时间以满足规定的直流电流控制和直流功率控制的阶跃响应特性要求。

6.3.3.4 无功功率控制器响应（适用于 VSC）

对于系统所有可能的运行方式，当 VSC 无功功率输送水平处于相应的最小无功功率至额定无功功率之间的任意功率水平下运行时，收到无功功率指令阶跃变化后，无功功率控制器应使得 90%的无功功率变化能在整定值变化后 60 ms 内达到。

6.3.4 交流系统故障后响应要求

在直流系统各种可能的运行方式下，对于交流系统的各种故障，直流输电系统的输送功率从故障切除瞬间起应在 120 ms 内恢复到故障前的 90%，恢复期间不允许出现直流电流和直流电压的持续振荡。

6.3.5 直流线路故障后响应要求

从去游离结束到该极的输送功率恢复到故障前输送功率的 90%所需时间不得超过 350 ms。对于直流线路低电压保护能检测的所有直流线路故障，该响应时间都应能得到满足。

7 保护设备技术要求

7.1 配置要求

直流保护的经营范围包括：变压器区、换流器区、直流极区、直流双极区、直流线路区、交流连接线区、交流滤波器区、汇流母线区和直流滤波器区。

直流保护应对保护区的所有设备进行保护，相邻保护区之间宜重叠，不应存在保护死区，且应考虑与换流阀控制保护的配合。

直流保护宜按照下述分区进行配置：

- a) 变压器区：包括变压器、变压器网侧与交流开关场相连的交流断路器之间的所有设备；
- b) 换流器区：包括阀组、阀组与交流母线之间的连接线路及其上所有设备；
- c) 直流极区：包括直流场非双极共用部分的所有设备；
- d) 直流双极区：包括直流场双极共用部分及接地极线路的所有设备；
- e) 直流线路区：包括直流输电线路设备；
- f) 交流连接线区：包括变压器阀侧套管至上下桥臂连接点之间的所有设备；
- g) 交流滤波器区：包括交流滤波器大组母线和交流滤波器小组的所有设备；
- h) 直流滤波器区（适用于 LCC）：包括直流滤波器的所有设备。

保护采用双重化或三重化配置，每套保护应能独立地对所保护的设备或分区进行全面正确的保护。保护应能防止拒动和误动，每套保护均应设计防误动措施。

各套保护之间在物理上和电气上应完全独立，每套保护的电源回路、互感器的二次线圈、信号输入/输出回路、跳闸回路、通信回路、主机以及二次线圈与主机间的所有相关通道、装置和接口应相互独立。

任意一套保护因故障、检修或其他原因而退出时，不应影响其他各套保护和整个系统的正常运行。每套保护应为其对应的每台断路器提供两路跳闸出口，满足断路器双跳闸回路设计要求。

保护应通过与直流控制系统间的通讯通道，传送闭锁命令，由控制系统实现闭锁直流系统。该通讯

通道宜采用冗余配置。

7.2 功能要求

7.2.1 变压器区保护

对于变压器区主设备，应根据工程需要选择配置如下保护：

- a) 引线差动保护：检测变压器引线相间、接地故障；
- b) 变压器及引线差动保护：检测变压器及引线的相间、接地等故障；
- c) 变压器差动保护：检测变压器的相间、接地、匝间故障；
- d) 绕组差动保护：检测变压器相间、接地故障；
- e) 过流保护：检测变压器的内部故障，作为外部相间短路引起的变压器过流和变压器内部相间短路的后备保护，包括开关过流保护和网侧过流保护；
- f) 零序过流保护：检测变压器的接地故障，作为变压器中性点接地运行时接地故障的后备保护；
- g) 过电压保护：防止变压器因交流系统过电压而损坏，考虑工频电压及 7 次谐波以下的电压；
- h) 过负荷报警：防止变压器长期处于过负荷状态而引起的损坏，特性为定时限；
- i) 变压器过励磁保护：防止变压器长期处于过励磁状态而引起的损坏，特性包括定时限和反时限；
- j) 相间阻抗保护：防止变压器短路故障造成的损坏，检测变压器内部绕组或引出线故障；
- k) 变压器零序差动保护：检测变压器的接地故障；
- l) 变压器饱和保护：通过监测变压器网侧中性点电流，间接计算出中性点直流电流的大小；
- m) 变压器非电量保护。

7.2.2 换流器区保护

对于常规直流的换流器区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 换流器短路保护：检测换流器桥臂短路、接地故障，检测变压器与换流器间交流连接线的相间短路、接地故障；
- b) 阀组差动保护（适用于 LCC 逆变站）：检测阀组及变压器阀侧绕组接地故障；
- c) 桥差保护：检测换流阀的接地、短路故障以及换相失败，也能反映交流系统接地故障；
- d) 交直流过流保护：检测整流侧或逆变侧的短路故障、控制失效或短期过负荷不正常等工况；
- e) 交流过电压保护：检测交流电压过高的异常工况；
- f) 交流低电压保护：检测交流电压过低的异常工况；
- g) 变压器阀侧中性点偏移保护：检测换流器闭锁时的换流器阀侧单相接地故障，换流器解锁后保护应退出，变压器阀侧中性点偏移保护动作后禁止解锁；
- h) 旁路开关保护（如有旁路开关）：检测换流器旁通开关无法断弧的故障；
- i) 变压器中性点直流饱和和保护：检测变压器中性点电流，防止流过较大直流电流而损坏变压器；
- j) 直流过电压保护：检测换流器异常运行产生的过压以及回路断线产生的过压；
- k) 直流低电压保护：检测换流器高压侧的接地故障以及其他异常情况导致的直流低电压；
- l) 换相失败保护（适用于 LCC 逆变站）：检测换流器换相失败。

对于柔性直流的换流器区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 桥臂差动保护：检测换流阀接地故障；
- b) 桥臂过流保护：检测换流阀及直流接地短路故障；
- c) 桥臂电抗器差动保护：检测电抗器及相连母线接地故障；
- d) 直流过电压保护：检测系统异常运行产生的过压以及回路断线产生的过压；
- e) 直流低电压保护：检测换流器高压侧的接地故障以及其他异常情况导致的直流低电压；
- f) 旁路开关保护（如有旁路开关）：检测换流器旁通开关无法断弧的故障；
- g) 交流连接线过流保护：检测换流阀及直流接地短路故障。

7.2.3 直流极区保护

对于常规直流的直流场极区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 极母线差动保护：检测换流器高压侧直流母线接地故障；
- b) 中性母线差动保护：检测极中性直流母线接地故障；
- c) 直流差动保护：检测阀组及变压器阀侧绕组接地故障；
- d) 直流后备差动保护：检测换流器、极母线、极中性母线的接地故障；
- e) 接地极线开路保护：检测接地极线断开导致中性母线直流电压过高；
- f) 50Hz 保护：检测直流电流中的基波分量，作为换相失败或阀触发异常的后备保护；
- g) 100Hz 保护：检测直流电流中的二次谐波分量，作为交流系统故障的后备保护；
- h) 中性母线开关（NBS）保护：检测中性母线开关无法断弧故障；
- i) 高速并联开关（HSS）保护：检测 HSS 开关无法断弧故障；
- j) 直流过电压保护：检测不正常的直流过电压以及直流线路开路故障；
- k) 中性母线开关过流保护：检测开关断口电流，避免电流过大造成开关损坏。

对于柔性直流的直流场极区主设备，真双极柔性直流与常规直流配置相同，对于伪双极柔性直流应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- 1) 直流电压不平衡保护：检测直流线路或母线单极接地故障，检测交流接地故障；
- 2) 直流欠压过流保护：检测直流线路双极短路故障；
- 3) 直流低电压保护：检测直流线路异常电压故障，可作为直流欠压过流保护和交流欠压保护的后备保护；
- 4) 直流过电压保护：避免直流过电压造成设备的损坏；
- 5) 直流场接地过流保护：检测直流系统发生的接地故障；
- 6) 谐波保护：检测因控制系统故障或线路碰线造成的谐波或低频分量；
- 7) 直流过流保护：检测直流线路出现过流的故障；
- 8) 直流母线差动保护：检测站内直流母线发生的接地故障。

7.2.4 直流双极区保护

对于常规直流和真双极柔性直流的双极区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 接地极母线差动保护：检测双极中性母线连接区的接地故障；
- b) 接地极线路过流保护：防止接地极线路上流过较大电流；
- c) 接地极电流不平衡保护：防止接地极线路两个支路由于故障导致电流不一致；
- d) 站内接地过流保护：防止站内接地点流过较大电流；
- e) 接地系统保护：防止站内接地点流过较大电流；
- f) 金属回线接地保护：检测金属回线方式运行时直流侧的接地故障；
- g) 快速接地开关保护：检测中性母线接地开关无法断弧故障；
- h) 金属回线转换开关保护：检测金属回线转换开关无法断弧故障；
- i) 大地回线转换开关保护：检测大地回线转换开关无法断弧故障；
- j) 金属回线横差保护：检测金属回线方式运行时金属回线上发生接地故障。

7.2.5 直流线路区保护

对于直流线路，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 线路行波保护：检测直流故障时的直流电压电流的前行波和反行波，根据波阻抗以及采样的电压与电流值判断是否发生直流线路故障；
- b) 线路电压突变量保护：通过检测直流电压突变量判断是否发生直流线路故障；
- c) 线路低电压保护：检测直流线路高阻接地故障以及无通讯时逆变侧闭锁的情况；

- d) 线路纵差保护：检测直流线路高阻接地故障，当一站极保护不可用或站间通信故障时，另一站自动退出线路纵差保护功能；
- e) 交直流碰线保护：检测交流线路和直流线路发生碰线故障；
- f) 金属回线纵差保护：检测金属回线的接地故障，当一站极保护不可用或站间通信故障时，另一站应自动退出金属回线纵差保护功能；
- g) 汇流母线差动保护（适用于多端直流系统）：检测汇流母线的接地故障；
- h) HSS 保护（如有 HSS 开关）：检测 HSS 开关无法断弧故障。

7.2.6 交流连接线区保护

对于柔性直流的站内交流连接线区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 交流连接线差动保护：检测变压器到换流阀间交流连接线的接地故障；
- b) 交流连接线过流保护：检测交流连接线和换流阀的接地、短路故障；
- c) 交流低电压保护：检测交流电压过低的异常工况；
- d) 交流过电压保护：检测交流电压过高的异常工况；
- e) 启动电阻热过载保护：检测因启动时间过长或电流过大引起的启动电阻过热；
- f) 启动电阻过流保护：检测启动电阻之后的接地故障；
- g) 中性点电阻热过载保护（适用于伪双极直流）：检测异常情况下的中性点接地电阻过热；
- h) 变压器网侧中性点偏移保护：检测变压器网侧交流连接线的接地故障；
- i) 变压器阀侧中性点偏移保护：检测变压器阀侧交流连接线的接地故障；
- j) 变压器中性点直流饱和保护：检测变压器中性点电流，防止流过较大直流电流而损坏变压器；
- k) 交流频率保护：检测交流系统频率偏移的异常工况；
- l) 高频谐波保护：检测变压器阀侧高频谐波过高的异常工况。

7.2.7 交流滤波器区保护

对于常规直流的交流滤波器区主设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 交流滤波器大组母线差动保护：检测母线故障；
- b) 交流滤波器大组母线过电流保护：检测母线进线过电流；
- c) 交流滤波器大组母线过电压保护：检测母线过电压；
- d) 断路器失灵保护：检测支路断路器失灵故障；
- e) 交流滤波器小组差动保护：检测交流滤波器的接地故障；
- f) 交流滤波器小组过电流保护：检测可能导致交流滤波器损坏的过电流，反映交流滤波器的短路故障；
- g) 交流滤波器小组零序过电流保护：反映交流滤波器的接地故障；
- h) 交流滤波器小组电容器不平衡保护：防止电容器由于故障单元过应力损坏；
- i) 交流滤波器小组电阻热过负荷保护：检测可能导致交流滤波器电阻损坏的过电流和交流滤波器中的短路故障；
- j) 交流滤波器小组电抗热过负荷保护：检测可能导致交流滤波器电抗损坏的过电流和交流滤波器中的短路故障；
- k) 交流滤波器小组失谐保护：检测滤波器尾端 CT 的相电流和自产零序电流来甄别交流滤波器的异常。

7.2.8 直流滤波器区保护

对于常规直流的直流滤波器设备，应根据工程需要选择配置以下保护功能：

- a) 直流滤波器差动保护：检测直流滤波器内部接地故障；

- b) 直流滤波器电容器不平衡保护：检测直流滤波器高压电容器组故障；
- c) 直流滤波器高压电容器接地保护：检测直流滤波器高压电容器组内部接地故障；
- d) 直流滤波器电阻热过负荷保护：监测直流滤波器电阻的过负荷，避免直流滤波器电阻过应力；
- e) 直流滤波器电抗热过负荷保护：监测直流滤波器电抗的过负荷，避免直流滤波器电抗过应力；
- f) 直流滤波器失谐监视：监测直流滤波器内部元件参数细微变化，该保护动作时只报警。

7.3 性能要求

保护设备性能要求应符合 GB/T 22390.4—2008 中 4.4 的规定。

8 接口与通信功能

8.1 一般要求

直流控制保护系统接口与通信包含远动通信系统与远方监控中心的通信、站内控制保护设备间通信、站内控制保护设备与其他设备间通信、站间通信。

8.2 远动通信系统和远方监控中心通信

远动通信系统与远方监控中心的通信宜采用数据网通信方式。

8.3 站内控制保护设备间通信

站内通信的网络或总线应采用双重化冗余设计，冗余网络或总线之间应避免相互影响，满足安全控制实时性和可扩展性要求。

远方监控通信层设备、运行人员控制层设备与直流控制保护层设备之间采用站 LAN 网通信，单个设备均应配置两路网络接口分别与双重化的站 LAN 网连接。

双重化控制主机之间应通过标准的网络总线或高速控制总线进行通信，热备用系统实时跟随主控系统。双重化控制主机之间应具备切换逻辑的接口，实现系统无扰切换功能，宜采用光纤接口。

不同控制设备之间，控制与保护之间通信采用交叉通信方式，宜采用光纤接口。

8.4 站内控制保护设备与其他设备间通信

8.4.1 控制系统与阀控系统之间通信

采用“一对一”通信，系统之间采用光纤通信，宜采用标准协议。

8.4.2 控制系统与阀冷系统之间通信

采用交叉冗余通信，系统之间采用光纤通信，宜采用标准协议。

8.4.3 控制系统与安稳装置之间通信

采用交叉冗余通信，系统之间采用光纤通信，宜采用标准协议。

8.4.4 直流控制保护系统与测量系统之间通信

直流控制保护系统主机与各自的测量系统之间应具备标准的数字通信接口或模拟量互感器接口，按照工程设计的测点位置、互感器的类型和数量配置，接口的抗干扰能力和测量精度应满足系统设计的要求。

8.4.5 直流控制保护系统与一次设备通信

直流控制保护系统与交直流场开关汇控柜或端子箱采用无源接点接口。

直流控制保护系统与交流滤波器组汇控箱或端子箱采用交流采样接口。

直流控制保护系统与变压器就地控制箱开关量采用无源接点接口，模拟量采用 4 mA~20 mA 模拟量接口。

8.5 站间通信

站间通信用于在多个换流站控制保护设备之间传送控制和保护信息，实现控制保护的配合。

多端混合直流系统中宜采用两两通讯的方案，构成多站“一主一备”信息互传的通讯闭环架构，提高了站间信息交换的冗余性，避免了站间通信故障对多端系统运行性能的影响。

站间通信宜采用国际或国家标准的规约。

9 试验

9.1 一般要求

直流控制保护系统试验主要包括工厂试验、出厂试验和现场试验。

9.2 工厂试验

9.2.1 型式试验

工厂型式试验应遵循 GB/T 35745—2017 中 6.2.1 规定的要求。

9.2.2 例行试验

工厂例行试验应遵循 GB/T 35745—2017 中 6.2.2 规定的要求。

9.2.3 功能试验

工厂功能试验应遵循 GB/T 35745—2017 中 6.2.3 规定的要求。

9.3 出厂试验

9.3.1 试验目的

出厂试验是对多端混合直流控制保护系统再次进行整体功能和性能验证。

功能验证试验通过进行闭环仿真试验对多端混合直流控制保护系统的总体功能进行检查、优化和验证。包括验证控制保护软件设计的正确性；检查各控制保护设备之间相互配合的正确性；检验各种运行方下控制保护的功能与交直流一次系统之间相互作用的正确性；验证顺序控制逻辑的正确性；验证单站的投入/退出控制；验证冗余控制保护系统切换和辅助电源掉电对输电过程的影响等。

动态性能验证试验通过进行闭环仿真试验对多端混合直流控制保护系统的暂态特性进行测试。检查各种扰动情况下交直流系统的相互作用，选择和验证控制保护参数，优化多端混合直流控制保护系统在各种直流系统运行工况下的响应。

9.3.2 被测设备

主要包括多端混合直流控制保护系统的运行人员控制系统、直流控制、直流保护、交直流站控、阀控设备、时钟同步系统设备、测量设备、故障录波设备等核心控制保护设备，对于现场 I/O 设备，可采用实际装置，也可采用仿真模拟设备代替实际装置进行。在进行试验时，应将试验设备与一套搭建了直流输电系统模型的实时仿真系统形成闭环进行试验。

9.3.3 试验内容

9.3.3.1 功能试验内容

试验项目至少应包括：

- a) 交直流场开关顺序控制试验；
- b) 充电试验（适用于 VSC 站）；
- c) 解锁闭锁试验；
- d) 空载加压试验；
- e) 紧急停运试验；
- f) 稳态性能试验；
- g) 控制模式切换试验；
- h) 功率升降试验；
- i) 自动功率曲线试验；
- j) 功率反转试验（如有）；
- k) 系统自监视与切换试验；
- l) 附加控制试验；
- m) 多站协调控制试验（如有）；
- n) 辅助电源掉电试验；
- o) 测量系统异常试验；
- p) 阀控功能试验；
- q) 站间通信故障试验；
- r) 电磁干扰试验；
- s) 其它根据工程运行方式需要所必须的试验。

9.3.3.2 动态性能试验内容

动态性能试验的试验项目至少应包括：

- a) 直流电流阶跃响应试验；
- b) 直流功率阶跃响应试验；
- c) 直流电压阶跃响应试验；
- d) 无功功率阶跃响应试验（适用于 VSC 站）；
- e) 交流系统故障试验；
- f) 直流系统故障试验；
- g) 额定负荷试验；
- h) 过负荷试验（如有）；
- i) 子模块冗余试验（含异常运行工况）；
- j) 孤岛联网转换试验（如有）；
- k) 其它根据工程运行方式需要所必须的试验。

9.3.4 试验方法

出厂试验的试验方法应符合 DL/T 1794—2017 中第六章的规定。

9.4 现场试验

9.4.1 一般要求

现场试验包括设备单体试验、分系统试验、站系统试验和系统试验。

9.4.2 单体试验

现场单体试验应遵循 GB/T 35745—2017 中 6.4.2 规定的要求。

9.4.3 分系统试验

分系统试验应遵循 GB/T 35745—2017 中 6.4.3 规定的要求。

9.4.4 站系统试验

9.4.4.1 试验目的

站系统试验主要是检验与单站相关的控制保护设备是否满足系统运行的要求，其功能、性能是否达到工程预期。

9.4.4.2 被测设备

站系统试验应对与单站相关的控制保护设备进行功能和性能测试。

9.4.4.3 试验内容

站系统试验的内容至少应包括：

- a) 单站交直流场开关顺序试验；
- b) 单站跳闸试验；
- c) 单站充电试验（适用于 VSC 站）；
- d) 单站解锁闭锁试验；
- e) 单站紧急停运试验；
- f) 空载加压试验；
- g) 静止同步补偿（STATCOM）运行方式试验（适用于 VSC 站）；
- h) 单站无功控制模式转换试验（适用于 VSC 站）；
- i) 电磁干扰试验；
- j) 交流系统故障试验（适用于 VSC 站）；
- k) 其它根据工程运行方式需要所必须的试验。

9.4.4.4 试验方法

现场试验的试验方法应符合 GB/T 38878—2020 中第五章的规定。

9.4.5 系统试验

9.4.5.1 系统试验是在站系统试验完成并合格的基础上，验证整个直流输电系统的总体功能以及交直流系统联合运行性能的试验，主要包括但不限于：

- a) 交直流场开关顺序试验；
- b) 跳闸试验；
- c) 解锁/闭锁试验；
- d) 无功控制试验；
- e) 丢失脉冲故障；
- f) 紧急停运试验；
- g) 稳态性能试验；
- h) 控制模式转换试验；
- i) 功率升降试验；
- j) 功率反转试验（如有）；
- k) 自动功率曲线试验；
- l) 辅助电源丢失试验；
- m) 冗余设备切换试验；
- n) 可听噪声试验；
- o) 阶跃响应试验；
- p) 额定负荷热运行试验；
- q) 过负荷试验（如有）；

- r) 直流偏磁测试;
- s) 接地极测量试验;
- t) 站间通信故障试验;
- u) 交流线路故障试验;
- v) 直流线路故障试验(架空线);
- w) 阀组在线投退试验(如有);
- x) 单站投退试验(如有);
- y) 黑启动试验(如有);
- z) 其他根据工程的运行方式需要所必须做的试验

9.4.5.2 系统试验应遵循 GB/T 38878—2020 中 6.4.2 规定的要求。

10 标志、标签和随行文件

10.1.1 每台设备的显著部位应有持久明晰的标志或铭牌,内容包括:

- a) 制造商全称及商标;
- b) 产品型号和名称;
- c) 规格号(需要时);
- d) 额定值及主要参数;
- e) 对外端子及接口标识;
- f) 出厂日期及编号;
- g) 整定范围和参数;
- h) 具有端子标志和接地标志的内部接线图。

10.1.2 设备的端子旁应标明端子号。

10.1.3 设备内部的继电器、集成电路、电阻器、电容器、晶体管等主要元器件,应在其印制电路板或安装板上标明其在原理接线图中的代号。

10.1.4 静电敏感部件应有防静电标志。

10.1.5 设备包装储运标志应符合 GB/T 191 中的规定。

10.2 随行文件

出厂设备应配套提供以下随行文件:

- a) 质量证明文件,必要时附出厂检验记录;
- b) 设备说明书(可按供货批次提供);
- c) 设备安装图(可含在设备说明书中);
- d) 设备原理和接线图(可含在设备说明书中);
- e) 装箱单。

11 包装、运输和贮存

11.1 包装

产品包装前应检查内容如下:

- a) 产品合格证书和装箱清单中各项内容应齐全;
- b) 产品外观无损伤;
- c) 产品表面无灰尘。

产品应有内包装和外包装,插件插箱的可动部分应锁紧扎牢,包装应有防尘、防雨、防水、防潮、防震等措施。

11.2 运输

产品应适于陆运、空运、水运(海运)，运输装卸按包装箱的标志进行操作。

包装好的户内使用设备在运输过程中的贮存温度为 $-25^{\circ}\text{C}\sim+70^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 95%，设备应能承受在此环境中的短时贮存。

11.3 贮存

长期不用的保护装置应保留原包装，在环境温度为 $-10^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 80% 的通风、干燥的室内贮存，贮存场所应无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体和灰尘以及雨、雪的危害。

附录 A

(资料性)

VSC 站阀组控制器结构

A.1 幅相控制

幅相控制通过控制 VSC 输出交流电压的幅值和相位，控制 VSC 与交流系统交换的有功功率、无功功率，其结构如图 A.1 所示：

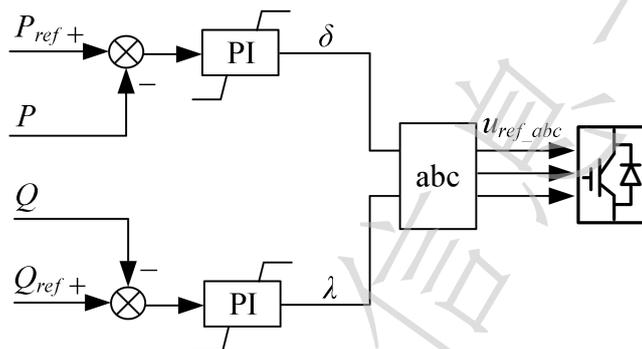


图 A.1 幅相控制

A.2 矢量控制

矢量控制根据在 dq 坐标系下建立的 VSC 数学模型，首先根据有功功率、无功功率等指令值，结合交流电压，生成交流电流的指令值，通过调节 VSC 换流器输出的交流电压使交流电流跟踪其指令值，其结构如图 A.2 所示：

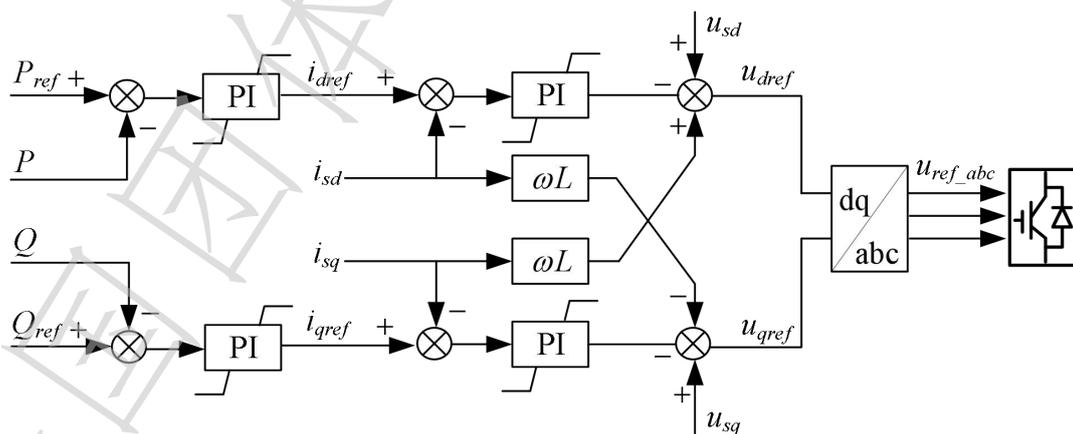


图 A.2 矢量控制

A.3 构网控制

构网控制依据虚拟同步机运动方程对 VSC 输出的有功功率、无功功率进行控制，并构造换流器相角及交流电压幅值，实现类似同步机的工作特性，其结构如图 A.3 所示：

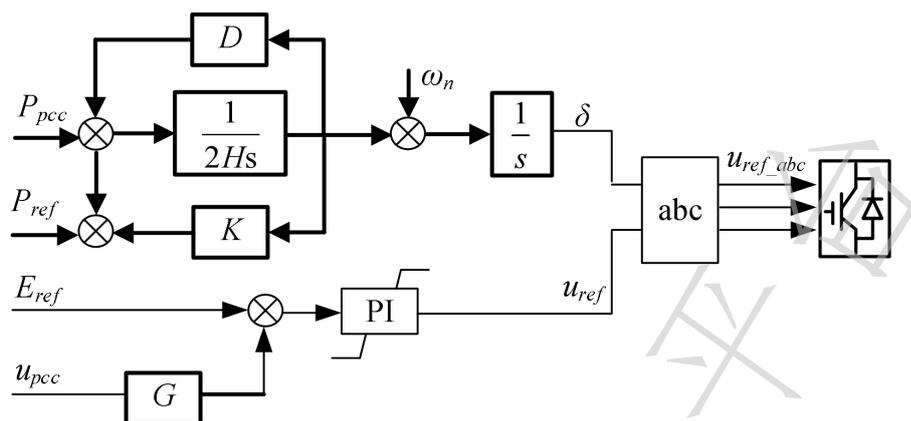


图 A.3 构网控制