

ICS 29.240
K45

T/CEC

中国电力企业联合会标准

T/CECXXXXX—202X

分布式潮流控制器控制与保护系统 第2部分：联调试验技术导则

Control & protection system of distributed power flow controller
——Part 2: technical guide for integration test

（征求意见稿）

（在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上）

202X - XX - XX 发布

202X - XX - XX 实施

中国电力企业联合会发布

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 一般要求 3

5 试验系统要求 3

6 试验内容及方法 5

附 录 A （资料性） DPFC 典型结构与接线图 11

附 录 B （资料性） DPFC 保护配置、试验项目及动作行为..... 14

前 言

本文件依据 GB/T1.1—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这些专利的责任。

本文件由中国电力企业联合会提出。

本文件由电力行业继电保护标准化技术委员会（DL/TC 15）归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化中心（北京市白广路二条一号，100761）。

本文件为首次制定。

分布式潮流控制器控制与保护系统

第 2 部分：联调试验技术规程

1 范围

本文件规定了分布式潮流控制器控制与保护系统联调试验的一般要求、试验系统要求、试验内容及方法等。

本文件适用于 110kV 及以上电压等级的分布式潮流控制器控制与保护系统联调试验，其他电压等级可参照执行。

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/T 2887—2011 计算机场地通用规范

GB/T 9361—2011 计算机场地安全要求

GB/T 13498—2007 高压直流输电术语

DL/T 1193-2012 柔性输电术语

DL/T 1526-2016 柔性直流输电工程系统试验规程

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

3.1

分布式潮流控制器 Distributed power flow controller, DPFC

一种由可独立运行的换流子模块以串联方式接入交流电网，通过控制其输出感性或容性无功的大小，达到调节线路等效阻抗与线路潮流目的的装置。

3.2

联调试验 integration test

组成 DPFC 各子系统之间的集成测试，主要验证各子系统之间接口及系统整体功能的正确性。

3.3

控制保护系统 control and protection system

实现对 DPFC 设备如旁路开关、DPFC 子模块的控制、监测或者保护功能的所有二次设备组合，包括集中控制保护设备、子模块控制设备、故障录波设备以及其他辅助设备。

3.4

实时数字仿真系统 real time digital simulation system

利用数学模型在数字计算机上进行 DPFC 控制与保护系统联调试验实时仿真的系统。

3.5

DPFC 子模块 DPFC sub-module

由单相电压源换流器、换流器快速旁路开关、晶闸管旁路开关、金属氧化物避雷器、控制保护模块以及通讯模块等组成的能独立实现潮流控制的 DPFC 最小单元。其典型接线图见附录 A 中图 A. 1。

3.6

电压源换流器 voltage source converter, VSC

DPFC 子模块内由可关断器件实现换流功能、直流侧储能元件为电容器的换流器。

[DL/T 1193-2012, 定义 3.3.8]

3.7

换流器快速旁路开关 VSC fast bypass switch, FBS

DPFC 子模块内与 VSC 并联的快速旁路开关, 可在 VSC 闭锁、故障、检修时将 VSC 旁路。

3.8

晶闸管旁路开关 thyristor bypass switch, TBS

一种采用晶闸管正反向并联构成的电力电子开关, 在 DPFC 子模块内与 VSC 并联, 可在 VSC 闭锁、故障时将 VSC 短时旁路。。

3.9

金属氧化物限压器 metal oxide varistor, MOV

由非线性金属氧化物电阻片组成的过电压保护设备, 并联在 DPFC 子模块输出端, 从而限制因电力系统故障在 DPFC 子模块输入输出端产生的过电压。

3.10

子模块旁路开关 sub-module bypass switch, BPS

与 DPFC 子模块并联的旁路开关, 可在 DPFC 子模块停运、故障、检修时将子模块从交流电网中旁路。

3.11

单回线路 DPFC 系统 single-circuit DPFC system

调节单回线路功率的分布式潮流控制器系统。其典型接线图见附录 A 中图 A. 2。

3.12

多回线路 DPFC 系统 multi-circuit DPFC system

调节双回或更多回线路功率的分布式潮流控制器系统。

3.13

闭锁 blocking

通过停发 DPFC 子模块内电压源换流器的控制脉冲阻止其开通的操作。

[改写 DL/T 1193-2012, 定义 3.4.15]

3.14

解锁 deblocking

通过解除 DPFC 子模块内电压源换流器的闭锁, 允许其开通的操作。

[改写 DL/T 1193-2012, 定义 3.4.16]

3.15

阻抗控制模式 impedance control mode

以注入阻抗为控制目标的 DPFC 典型控制模式。

3.16

电压控制模式 voltage control mode

以注入电压为控制目标的 DPFC 典型控制模式。

3.17

功率控制模式 power control mode

以线路有功功率为控制目标的 DPFC 典型控制模式。

3.18

断面限额模式 Interface flow limits mode

以断面功率不超过指令值为控制目标的 DPFC 典型控制模式。当断面功率超过指令值时, DPFC 输出感性电压, 降低断面功率至指令值, 否则 DPFC 不输出电压。

4 一般要求

4.1 试验需要具备的条件

参加联调试验的 DPFC 控制保护系统应已完成工厂试验, 并且下列技术资料已准备齐全:

- a) 成套设计文件;
- b) 设备技术规范;
- c) 系统功能规范;
- d) 工厂试验报告, 包括型式试验、例行试验、用户要求的特殊试验(如厂内实时数字仿真试验);
- e) 通过评审的联调试验大纲, 内容包括但不限于试验地点、试验计划、试验项目、试验方法、参试设备、试验接线图纸。

4.2 试验一般要求

本文件适用于在实验室进行的、220kV 及以上电压等级的分布式潮流控制器控制与保护系统联调试验, 其他电压等级可参照执行。联调试验实施过程应满足但不限于以下要求:

- a) 试验应在室内环境下进行, 实验室环境温度 $+10^{\circ}\text{C} \sim +30^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度 $+25\% \sim +90\%$, 场地安全要求应符合 GB/T 9361—2011 中 B 类的规定, 接地电阻应符合 GB/T 2887—2011 中 4.8 的规定, 洁净度应符合 GB/T 2887—2011 中 4.6.2 的规定;
- b) DPFC 控制保护系统的设备配置、接口要求应尽可能与工程现场保持一致, 所有软件应为出厂版本;
- c) 全部联调试验完成后, 应冻结软件版本并确定版本号。

5 试验系统要求

5.1 试验系统构成要求

DPFC 控制保护联调试验系统需能够模拟工程现场的交流系统和一次主设备等运行环境，具备有效测试相关控制保护功能、性能以及接口特性的条件，其主要由实时仿真系统、被试设备以及实时仿真系统与被试设备之间连接的接口设备组成。DPFC 控制保护系统联调试验系统的一般构成见图 1。

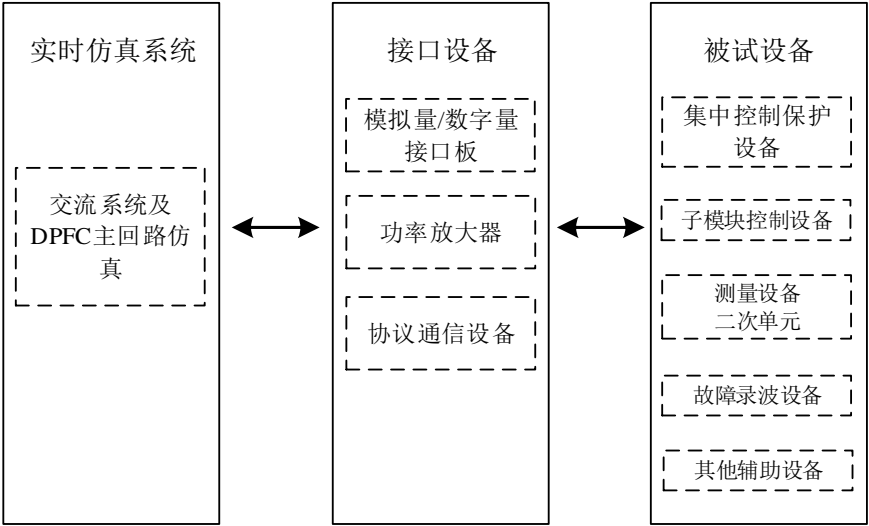


图 1 DPFC 控制保护系统联调试验系统的一般构成

5.2 实时仿真系统要求

5.2.1 概述

应建立能够模拟工程现场直流系统实际运行环境的实时仿真系统试验平台，在充分考虑试验目的和要求的基础上，能够对被测试对象进行完整、有效测试。

实时仿真系统主要由实时数字仿真系统实现。

5.2.2 实时数字仿真系统要求

5.2.2.1 实时数字仿真系统建模要求

5.2.2.1.1 实时数字仿真系统需建立模拟 DPFC 工程一次系统的精确模型，模型主要包括：

- a) 与 DPFC 直接连接的交流系统；
- b) 取能 CT；
- c) 子模块旁路开关；
- d) DPFC 子模块及其内部换流器等；
- e) 交流线路；
- f) 关键断路器、刀闸等一次设备。

5.2.2.1.2 仿真模型应采用与工程现场一致的参数，并具备模拟交流线路以及 DPFC 内部发生接地、短路、开路等典型故障和低电流运行的能力。

- a) DPFC 子模块换流器模型应采用 IGBT 等可关断器件的详细模型或者采用可控源的等效电路模型，可真实模拟 DPFC 子模块的闭锁、解锁状态和启动、退出、潮流调控过程；
- b) DPFC 子模块模型应包含直流电容电压取能供电等效模型和线路电流取能供电等效模型；
- c) DPFC 子模块模型应包含与工程现场参数一致的金属氧化物避雷器模型；
- d) DPFC 子模块模型应包含 BOD 触发导通旁路晶闸管模型；
- e) DPFC 子模块模型应考虑模块外壳等电位连接方式；

应考虑 DPFC 子模块现场安装框架等电位连接方式。

实时数字仿真系统对 DPFC 所连交流线路和换流阀的仿真可采用大小步长相结合的方法，换流阀部分的仿真步长宜控制在 $5\mu\text{s}$ 以内，交流部分的仿真步长宜控制在 $50\mu\text{s}$ 以内。

5.2.2.3 实时数字仿真系统接口要求

5.2.2.3.1 与控制保护设备接口

实时数字仿真系统与控制保护设备之间的接口包括：

- a) 数字量接口，包含实时数字仿真系统接收的开关的分合命令，以及实时数字仿真系统发出的开关分合状态等；
- b) 模拟量接口，包含 DPFC 的交流电压、电流等模拟量。

5.2.2.3.2 与子模块控制设备接口

实时数字仿真系统与子模块控制设备之间的接口信息包括电压源换流器触发脉冲、电容电压和子模块状态等。在子模块数较多的情况下，为简化接口可采用高速光纤的协议通信方式。

5.3 被试设备

被试设备主要包括：

- a) 集中控制保护设备；
- b) 子模块控制设备；
- c) 故障录波设备；
- d) 测量设备二次单元，包括测量设备合并单元、远端模块等；
- e) 其他辅助设备，包括时钟同步设备、通信接口设备等。

6 试验内容及方法

6.1 接口试验

6.1.1 试验原则

对于存在接口的两种不同厂家的某型式设备，如果该接口未在以往工程中应用，则应在联调试验期间测试其接口。

6.1.2 集中控制设备与子模块控制设备接口

6.1.2.1 集中控制设备下发信号检查

在子模块控制设备侧检查集中控制设备下发的控制命令等信号，其状态应正确。

6.1.2.2 阀控设备上送信息检查

在集中控制设备侧检查子模块控制设备上送的跳闸请求、电容电压等信号，其状态应正确。

6.1.2.3 通讯故障

在子模块控制设备的备用系统、值班系统以及无备用系统的值班系统上分别模拟集中控制设备与子模块控制设备的各种上行、下行光纤故障，子模块控制设备及集中控制设备应能正确告警、切换系统及闭锁，并报送事件。

6.1.2.4 子模块控制设备主机断电、上电

集中控制设备备用系统主机的断电、上电不应值班系统造成任何影响。若值班系统主机断电时，应进行系统切换，系统不应有大的扰动；若无备用系统，值班系统主机断电时，控制设备应发出跳闸命令。

6.1.3 电子式/光学电流测量装置合并单元接口

6.1.3.1 通道信号测试

在电子式/光学电流测量装置合并单元侧模拟交直流量信号，并在通过光纤与其连接的集中控制保护、子模块控制保护等设备侧读取测量信号。测量信号应与原交直流量信号一致，精度应满足规范书要求。

6.1.3.2 响应特性测试

通过信号发生器给电子式/光学式电流测量装置合并单元输入阶跃信号，记录合并单元的输出信号，并与原阶跃信号对照，输出信号的响应特性应满足规范书要求。

6.1.4 故障录波设备接口

与故障录波设备接口的设备有控制保护设备、子模块控制保护设备和测量装置的二次部分等。在故障录波设备上触发相应录波，各录波通道测量的信号应正确无误。

6.1.5 时钟同步设备接口

参照设备规范对时钟同步设备接口的要求进行试验。

6.2 控制试验

6.2.1 控制试验类别

根据 DPFC 工程的主回路结构，DPFC 控制保护系统联调的控制试验可分为单回线、多回线两类。单线试验主要针对单回线路 DPFC 系统，多线试验主要针对多回线路 DPFC 系统。

6.2.2 单线控制试验

6.2.2.1 顺控联闭锁试验

在值班系统和备用系统（如有）分别进行以下顺控联闭锁试验。

6.2.2.1.1 顺控试验

在手动控制模式和自动控制模式下应分别进行正逻辑和反逻辑的顺序操作试验：

a) 手动控制模式。手动执行单步操作，正确的操作，即正逻辑时应能执行，错误的操作，即反逻辑时应被拒绝；

b) 自动控制模式。以综合指令的方式自动执行顺序操作。正常时应能按照规定的顺序完成操作，当不能按顺序完成时，应有相应的报警信息。相应设备应能手动退回上一个有定义的状态，或进入下一个有定义的状态。

6.2.2.1.2 开关刀闸联闭锁试验

开关刀闸联闭锁试验应按变电站相关试验规范，分别进行正逻辑解锁和反逻辑闭锁的联闭锁操作试验。满足联闭锁条件的操作应能执行，不满足联闭锁条件的操作应被拒绝。

6.2.2.2 程序负载率试验

监视 DPFC 控制保护系统运行过程中的程序负载率情况，在执行各项试验操作时程序负载率均应低于 70%。

6.2.2.3 启停试验

6.2.2.3.1 瞬时解锁试验

在 BPS 开关分闸，FBS 开关闭合的状态下，根据实际控制保护逻辑，分别以从短到长的时间设置解锁脉冲，如 100ms、500ms、1s、5s 等，对各个子模块进行瞬时解锁。

换流阀解锁和闭锁，以及开关动作时序应正确，系统应运行稳定，DPFC 子模块直流电压、调制比等参数应与设计一致。解锁期间应无异常电压电流、后台无告警信号及保护动作信号。

6.2.2.3.2 正常启停试验

以顺控方式启动 DPFC，过程中各 BPS、FBS 开关动作时序应正确，各 DPFC 子模块应按设计逻辑正确解锁，并运行于电压控制模式，输出电压指令值为零。保持该状态至少 15 分钟，期间 DPFC 子模块应保持平稳零输出运行，换流器交流侧无异常电压、电流，后台无异常告警信号，相关保护不误动作。

后调节 DPFC 输出电压指令值，DPFC 的输出电压有效值应平稳变化至指令值，各子模块的交直流电压应符合设计要求，后台无异常告警。

以顺控方式停运 DPFC，过程中对应的 TBS、FBS、BPS 开关动作时序应正确，期间对系统的冲击在允许范围内，子模块电压应符合设计要求。

正常启停试验中系统应保持运行正常，启停逻辑满足设计要求，一次设备、二次设备无异常现象，如有异常或故障应能正确报警，保护正确动作。

6.2.2.3.3 紧急停运试验

DPFC 运行过程中手动下发紧急停运指令。DPFC 子模块闭锁停运的时序逻辑应正确，TBS、FBS 和 BPS 开关应可靠动作，DPFC 应被可靠旁路。在紧急停运过程中不应出现意外的暂态电流及暂态电压。

6.2.2.3.4 最小电流启动试验

通过程序置数，将最小启动电流的定值设置为大于试验稳态电流，对应线路的 DPFC 应无法正常启动。

将程序中的最小启动电流的定值恢复后，DPFC 应能正常启动。

6.2.2.4 稳态工况试验

6.2.2.4.1 自监视试验

控制系统应能正确监视 DPFC 直流电压、交流电压、运行温度、电流以及线路有功功率。

模拟 DPFC 故障状态，控制系统应能正确接受并显示故障状态等报警信号。

6.2.2.4.2 控制系统切换试验（如适用）

对于配置有双重化控制系统的 DPFC，在解锁稳定运行后，手动将值班系统切换为备用系统，再将切换后的值班系统切换为备用系统。

后分别将值班系统、备用系统设置为“轻微故障”、“严重故障”、“紧急故障”等状态，在各种故障组合测试中，状态更优的控制系统应自动切换为值班系统。

控制系统切换试验中，DPFC 的控制指令值不应扰动，切换过程中系统运行稳定。

6.2.2.4.3 控制模式切换试验

DPFC 在阻抗控制模式、电压控制模式、功率控制模式、断面限额控制模式之间切换测试，应可实现四种控制模式相互平滑切换，切换过程中系统运行稳定。

6.2.2.4.4 潮流控制试验

分别在电压控制、阻抗控制、功率控制等三种控制模式下，按照每个 DPFC 子模块输出交流电压的额定值，对应设置多档电压、阻抗、功率控制指令以及指令升降速率，进行输出升降测试。每次调节过程结束后，应保持稳定运行至少 5 分钟。过程中需保证线路电流不低于最小运行限值，不高于过载电流限值。

潮流控制试验中，DPFC 输出电压应平稳无扰动。每次调节过程结束后，在 DPFC 输出额定范围内应能达到指令值，否则输出额定值。输出指令变化对于线路潮流的调节作用应符合设计趋势。

6.2.2.4.5 潮流控制中的切换试验（如适用）

对于配置有双重化控制系统的 DPFC，在潮流控制的调节过程中，手动将值班系统切换至备用系统，再将切换后的值班系统切换至备用系统，切换过程中 DPFC 输出电压应无暂态变化，线路功率升降平稳。

6.2.2.4.6 过载控制试验

在 DPFC 启动前，通过程序置数将过载电流定值设置小于线路稳态电流。在 DPFC 启动后，应能快速响应，输出电压平稳上升，在 DPFC 输出额定范围内限制最大的相电流不大于过载电流定值，否则输出额定值。

保持稳定运行 5 分钟，期间 DPFC 应能随线路潮流波动调节输出电压，维持最大的相电流不大于过载电流定值，过程平稳，对交流系统无扰动。随后恢复过载电流定值，DPFC 输出电压应能平稳下降。

在 DPFC 启动后，分别在电压控制、阻抗控制、功率控制等三种控制模式下，置数将过载电流定值设置小于线路稳态电流。DPFC 感性电压输出应平稳上升，后恢复过载电流定值，感性电压输出应平稳下降，过程中系统应运行稳定。

6.2.2.4.7 断面限额控制试验

DPFC 运行于断面限额控制模式下，设置断面限额控制指令值小于当前断面功率值，在 DPFC 运行额定范围内应能限制断面功率不大于指令值。后调节断面限额控制指令值至大于当前断面功率值，DPFC 感性电压输出应能平稳下降，限制断面功率不大于指令值，下降至零后，应能保持平稳。试验过程中系统应运行稳定。

6.2.2.4.8 抗干扰试验

在额定运行工况下，分别用手机和对讲机到控制、保护和 IO 主机屏柜前后进行无线电干扰试验，试验时将屏柜前后门打开，手机和对讲机距离屏柜 0.2 米左右，观测 DPFC 系统是否运行平稳，是否有异常及告警出现。

6.2.2.5 交流故障扰动响应性能试验

在电压控制、阻抗控制、功率控制等不同控制模式下分别进行交流线路单相接地、相间短路、三相短路接地等故障扰动下的 DPFC 响应性能测试，验证 DPFC 在故障穿越期间的电流、电压应力是否在设备设计范围内，验证 DPFC 穿越逻辑是否正确。

设定交流线路运行参数及 DPFC 运行模式，使得 DPFC 处于额定电流、额定输出电压工况，通过仿真系统投入相应的线路故障模式，获取 DPFC 从故障起始到故障结束的全时段录波。

DPFC 在故障穿越期间应通过快速闭锁、旁路等控制逻辑确保其电流、输出电压在一次主回路设计范围内。

在故障消除后，DPFC 应恢复到故障前的运行工况。

6.2.2.6 动态性能试验

6.2.2.6.1 控制阶跃试验

在不同控制模式下分别进行 DPFC 控制指令阶跃试验，规定感性输出为正、容性输出为负：

a) 电压控制阶跃

通过置数改变 DPFC 电压指令值，进行电压阶跃试验，分别按照 0 至+10%额定值、0 至+50%额定值、0 至-10%额定值、0 至-50%额定值进行阶跃试验。电压阶跃时的响应时间、超调量等动态性能指标应满足设计要求。

b) 阻抗控制阶跃

具体步骤和要求参照电压控制阶跃。

阻抗控制主要控制等效注入线路的感抗或容抗，计算公式为：

$$U_{\text{ref}} = I_{\text{line}} X_{\text{set}}$$

式中：

U_{ref} ——DPFC 换流器所有模块的电压参考值；

I_{line} ——线路电流；

X_{set} ——等效注入线路电抗的参考值。

c) 功率控制阶跃

具体步骤和要求参照电压控制阶跃。

6.2.2.6.2 三相平衡试验

在 DPFC 正常运行时，通过置数操作，模拟一相的单一子模块故障，故障子模块应被可靠旁路，无故障的其他两相应各有一个子模块输出电压下降至零。试验过程中 DPFC 三相输出应保持平衡，在额定输出范围内应保持指令值稳定。试验分别对三相不同位置的子模块分别进行，DPFC 三相接线见图 A.3。

6.2.3 多线控制试验（如有）

多回线 DPFC 系统应先分别在各回线完成 6.2.2 对应的试验项目，并在多回线 DPFC 同时运行时，再次完成相应试验项目。除了 6.2.2 中的试验项目以外，多线控制试验还应完成以下项目，以双回线 DPFC 为例。

6.2.3.1 双线转单线试验

a) 双线运行模式转单线运行模式后，单线电流小于过载限值

双线 DPFC 运行于功率控制模式时，停运一回交流线路，另一回交流线路的有功功率应在 DPFC 的作用下与一回交流线路停运前的断面功率相等。

双线 DPFC 运行于电压控制模式或阻抗控制模式时，停运一回交流线路，另一回交流线路的 DPFC 控制指令值应能保持不变，系统应运行稳定。

双线 DPFC 运行于断面限额模式时，停运一回交流线路，另一回交流线路的 DPFC 应能正确实现断面限额控制。

b) 双线运行模式转单线运行模式后，单线电流达到过载限值

在此工况下停运一回交流线路，观察潮流转移的过程以及 DPFC 的运行状态，稳态后另一回交流线路的有功功率应在 DPFC 的作用下降低到过载限值。

6.2.3.2 单线转双线试验

将停运的一回交流线路投入运行，观察两条线路之间的潮流情况以及 DPFC 的运行状态。原运行线路的 DPFC 应先停运，待双回线路全部确认投入后，双回线路 DPFC 同时重启。

6.2.4 子模块控制功能试验

模拟子模块故障，子模块故障数量不超过系统冗余时，系统继续运行。当子模块故障数量超过系统冗余时，发出跳闸请求。

6.3 保护试验

6.3.1 保护分区和保护配置

保护分区和保护配置是进行保护试验的主要依据。DPFC 的典型保护分区和保护配置见附录 B 中图 B.1。

6.3.2 试验方法

在仿真系统中，按照附录 B 中图 B.2 所示的故障点模拟电气故障。保护典型试验项目及其动作行为见表 B.3。

过流保护和低电流保护应能正确动作，重点验证以下条件保护能否正确动作：

- a) 单回线运行方式或多回线运行方式；
- b) 不同控制模式；
- c) 不同控制指令值；
- d) 不同接地电阻值及故障时间；
- e) 交流系统不同有功功率水平。

6.3.3 保护动作结果

保护动作后子模块应正确闭锁，开关动作时序应正确，并报送相应事件。瞬时故障消失后，DPFC 应能按逻辑正确重启。

6.4 试验报告

联调试验报告应包括但不限于以下内容：

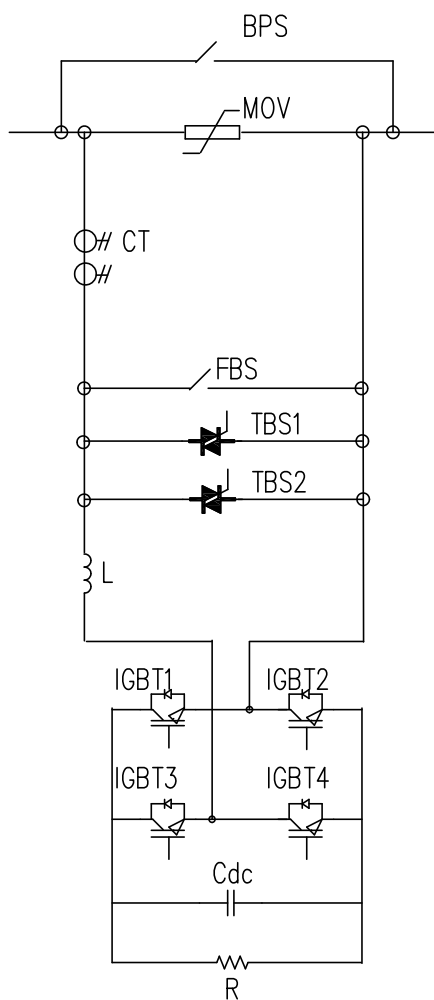
- a) 试验依据的标准；
- b) 被试设备的名称、型号和数量；
- c) 试验日期、试验地点和试验环境条件；
- d) 试验设备及仿真系统的相关技术参数；
- e) 试验目的，试验内容，试验步骤，试验判据和试验初始状态等；
- f) 试验结果，包括试验数据、波形和结论等；
- g) 试验过程中出现的问题及对软件、硬件所作修改的纪录；
- h) 试验者和审批者的签名。

附 录 A
(资料性)
DPFC 典型结构与接线图

A.1 DPFC子模块典型结构

DPFC 子模块典型结构见图 A.1，主要包括：

- a) 电压源换流器 VSC：由 H 桥实现换流功能，直流侧储能元件为电容器；
- b) 换流器快速旁路开关 FBS：与 VSC 并联的快速旁路开关；
- c) 晶闸管旁路开关 TBS：由晶闸管正反向并联构成的电力电子开关，与 VSC 并联；
- d) 金属氧化物限压器 MOV：非线性金属氧化物电阻片组成的过电压保护设备；
- e) CT：电流互感器，并为子模块控制系统提供电源；
- f) 子模块旁路开关 BPS：与 DPFC 子模块并联的旁路开关。

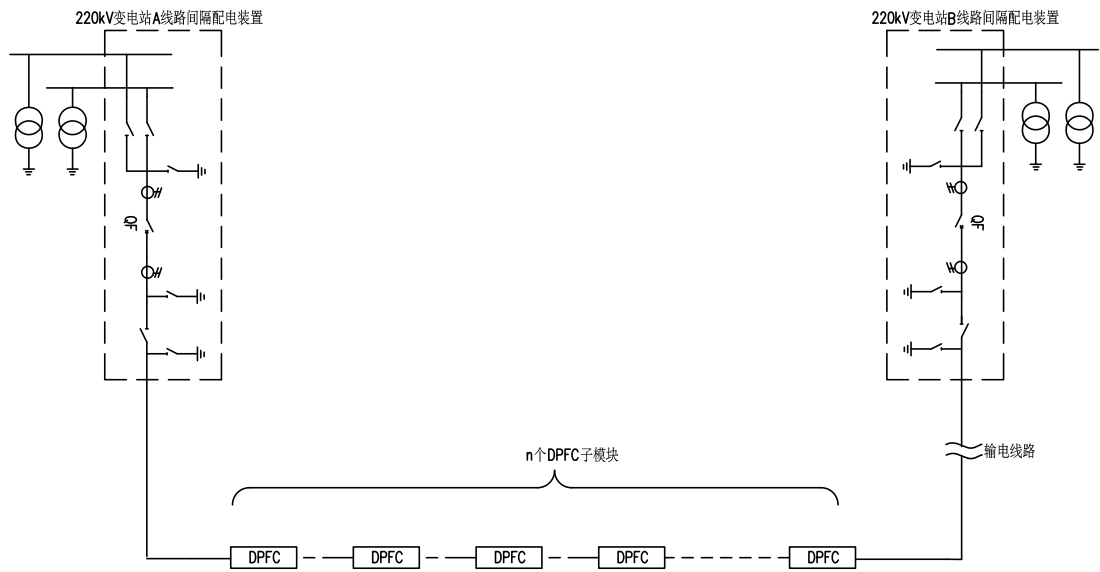


图A.1 DPFC 子模块典型结构

A.2 DPFC 系统典型结构

单回线路 DPFC 系统典型接线见图 A.2，主要包括：

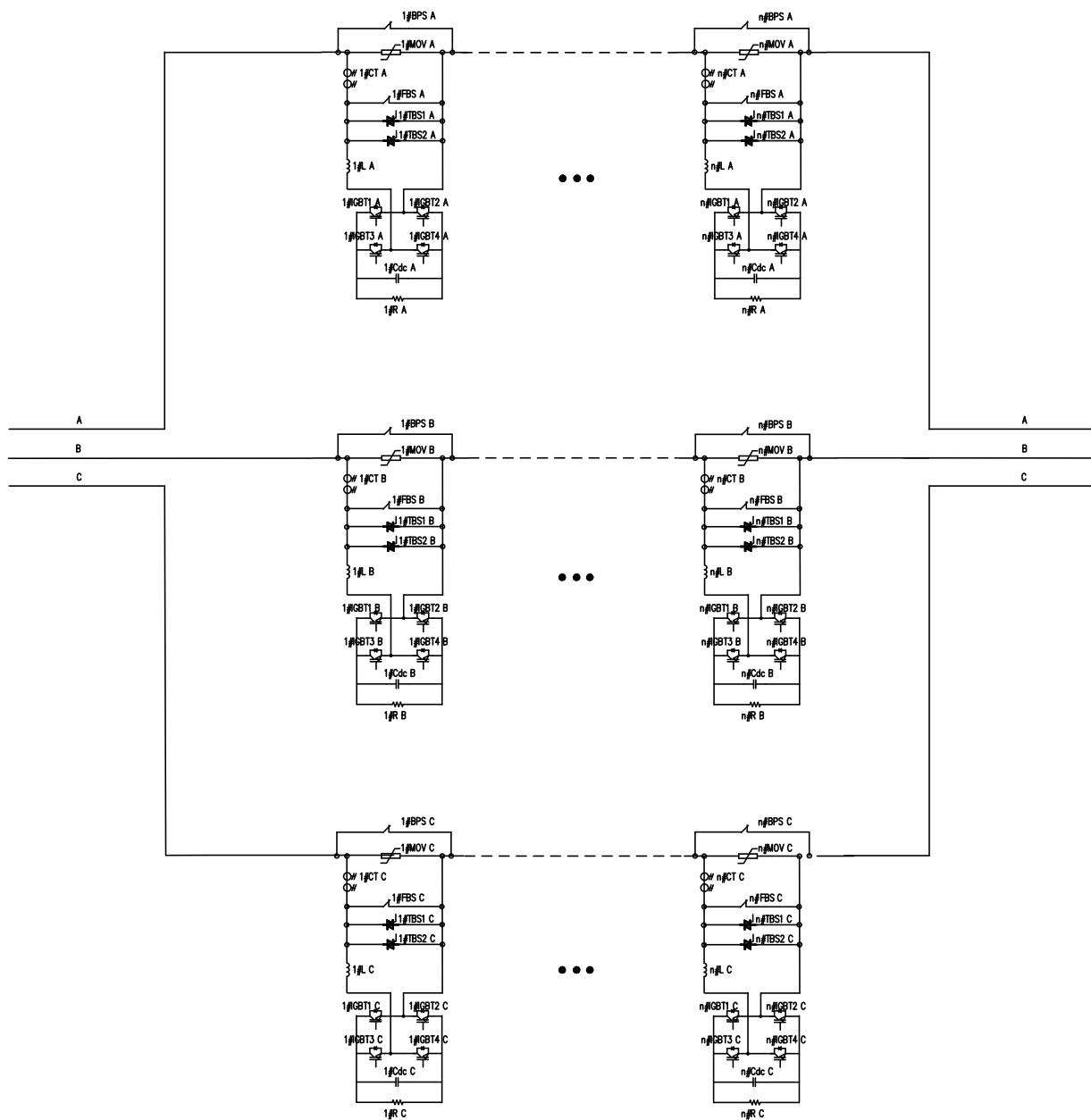
- a) DPFC 子模块：可根据容量需求，采用多个可独立运行的 DPFC 子模块级联型式；
- b) 交流开关设备：两端线路的开关刀闸；
- c) 控制单元：接收调度管理系统下发的潮流调节指令并快速响应执行，向各模块下发调节参考电压控制模式，接收各换流模块的运行状态并实时上送调度管理系统。



图A.2 单回线 DPFC 系统典型接线单线图

A.3 DPFC三相接线图

以单回线路 DPFC 系统为例，其三相接线见图 A.3。



图A.3 DPFC 三相接线图

附 录 B

(资料性)

DPFC 保护配置、试验项目及动作行为

B.1 DPFC保护分区及保护配置

以单回线路 DPFC 系统为例，保护分区及保护配置见图 B. 1。

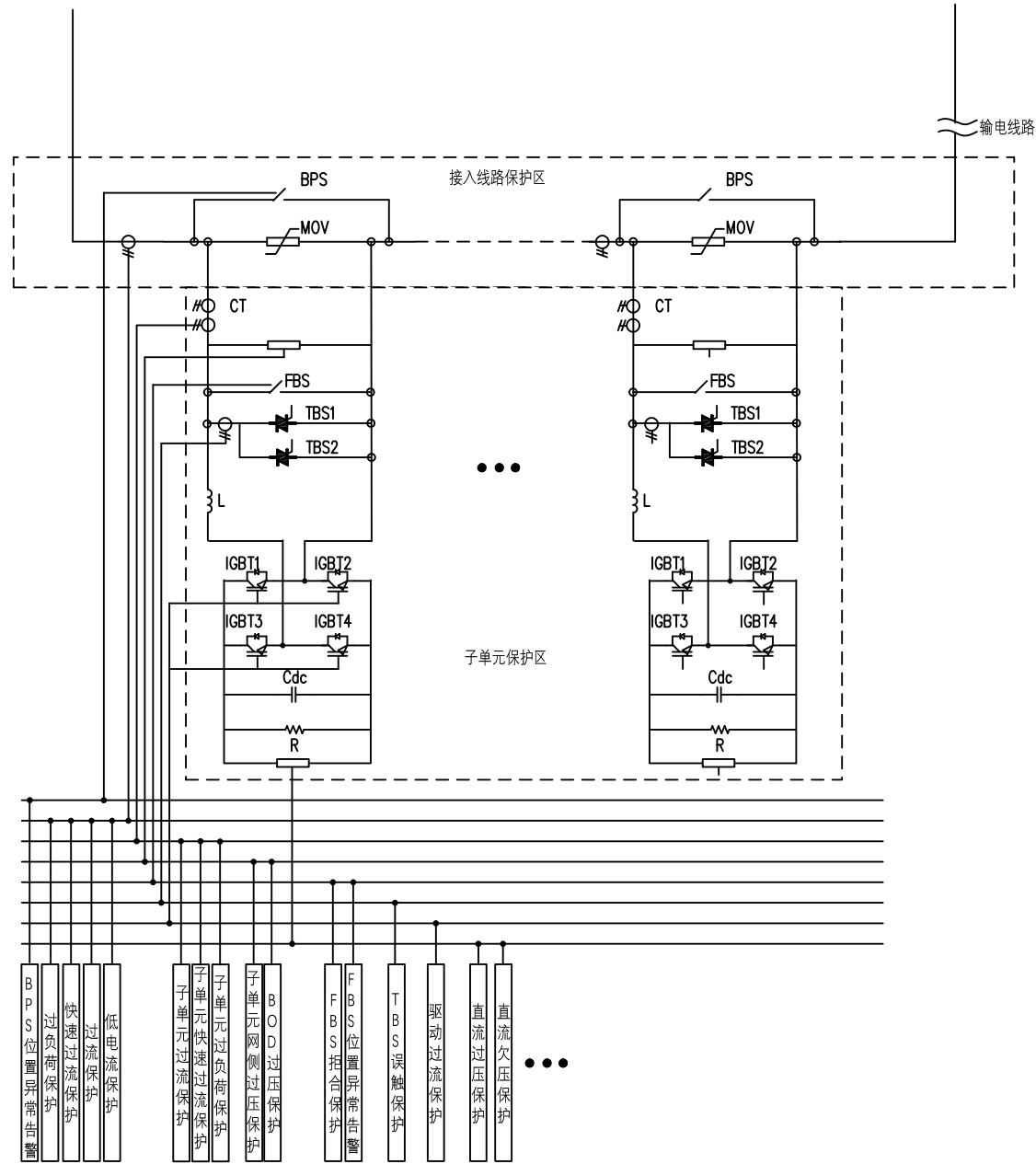


图 B.1 DPFC 典型保护分区及保护配置

B.2 保护试验故障位置

以单回线路 DPFC 系统为例，保护试验的故障位置见图 B. 2。

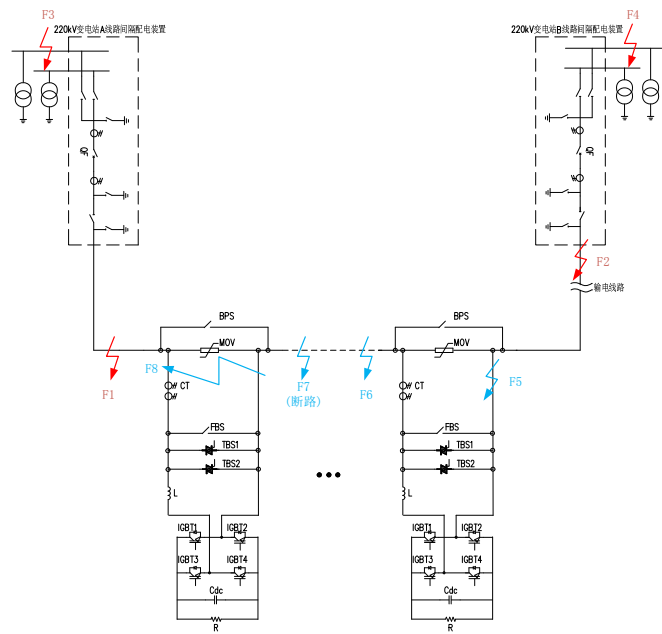


图 B.2 DPFC 保护试验故障位置示意图

B.3 DPFC保护试验项目和动作行为

DPFC 保护典型试验项目及其动作行为见表 B.1。

表 B.1 DPFC 保护典型试验项目及其动作行为
(a) 系统故障

序号	故障点	故障名称	故障说明	保护类型	是否重投
1	F1	近端线路故障	单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（金属接地）	快速过流保护、子单元快速过流保护	是
			单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（高阻接地）	过流保护	否
2	F2	远端线路故障	单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（金属接地）	快速过流保护、子单元快速过流保护	是
			单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（高阻接地）	过流保护	否
3	F3	变电站 1 母线故障	单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（金属接地）	快速过流保护、子单元快速过流保护	是
			单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（高阻接地）	过流保护	否
4	F4	变电站 2 母线故障	单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（金属接地）	快速过流保护、子单元快速过流保护	是
			单相接地、两相短路、两相接地、三相接地（高阻接地）	过流保护	否

(b) DPFC 本体区域故障

序号	故障点	故障名称	故障说明	保护类型	是否重投
1	F5	子模块出口故障	单相接地	快速过流保护、子单元快速过流保护	是
2	F6	子模块间短路故障	单相接地	快速过流保护、子单元快速过流保护	是
3	F7	子模块间断路故障	-	小电流自动停运	否
4	F8	子模块内短路故障	-	子单元过流保护	否

				子单元快速过流保护	
5	-	BPS 拒合	线路故障、子模块停运时 BPS 拒合, 配置 BPS、双 KM, 不考虑 BPS 失灵情况	BPS 位置信号异常告警	否
6	-	FBS 拒合	线路故障、子模块停运时 FBS 拒合, 配置 BPS、双 KM, 不考虑 KM 失灵情况	FBS 拒合保护	否
7	-	TBS 拒合	线路故障、子模块停运时 TBS 拒合, 配置 BPS、双 KM, 不考虑 TBS 失灵情况	-	-
8	-	TBS 误触	TBS 误触故障	TBS 误触保护	否
9	-	BOD 动作	子模块端口电压过高	BOD 过压保护	是
10	-	线路电流过低	线路电流过低	低电流保护	是
11	-	直流电容故障	直流电容过压故障	直流电容过压保护	是
12		交流开关偷跳	线路两侧交流开关单相偷跳、三相偷跳	子单元快速过流保护/开关偷跳保护	是