

T/DIPA 团 体 标 准

T/DIPA 16—2023

柔性直流换流阀功率模块可靠性试验

Reliability testing for voltage source converter power module

2023 - 12 - 29 发布

2024 - 03 - 30 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

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
3.1 功率半导体术语	1
3.2 VSC 结构术语	2
3.3 可靠性术语	2
4 总则	3
4.1 概述	3
4.2 可靠性试验执行	3
4.3 可靠性试验验收	4
5 可靠性试验项目	5
6 最大连续运行负荷试验	6
6.1 试验目的	6
6.2 试验对象	6
6.3 试验要求	6
7 故障旁路试验	7
7.1 旁路开关正常合闸试验	7
7.2 旁路开关误合闸试验	8
8 环境试验	8
8.1 低温试验	8
8.2 高温试验	9
8.3 温度交变试验	10
8.4 交变湿热试验	11
8.5 振动试验	12
8.6 冲击试验	13
9 电磁兼容试验	14
9.1 试验目的	14
9.2 试验对象	14
9.3 试验要求	14
9.4 试验方法	14
10 过压短路试验	15
10.1 试验目的	16
10.2 试验对象	16
10.3 试验要求	16
10.4 试验方法	16
11 长期老化试验	16
11.1 试验目的	16
11.2 试验对象	16
11.3 试验要求	16

11.4 试验方法 17

12 可靠性试验结果的表述 18

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。

本文件起草单位：南方电网科学研究院有限责任公司、广州南网科研技术有限责任公司、南方电网公司输配电部、广东电网直流配用电研究中心、广东电网有限责任公司广州供电局、西安高压电器研究院股份有限公司、工业和信息化部电子第五研究所、许昌开普检测研究院股份有限公司、珠海开普检测技术有限公司、荣信汇科电气股份有限公司、西安西电电力系统有限公司、许继电气股份有限公司、特变电工西安柔性输配电有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、中电普瑞电力工程有限公司、上海交通大学、海南电力产业发展有限责任公司。

本文件主要起草人：姬煜轲、李岩、袁智勇、廖一帆、邹常跃、侯婷、李凌飞、熊岩、周月宾、罗炜、陈俊、杨柳、徐义良、简淦杨、吴宏远、裴星宇、周会高、黄超、罗琴、陈光华、杨兴超、郭冠生、余琼、周见豪、孙小平、陈荷、韩坤、夏克鹏、盛俊毅、蔺广科、朱铭炼、周亮、王克峰、马柯、邓大帆、卢挺进。

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）。

柔性直流换流阀功率模块可靠性试验

1 范围

本文件规定了柔性直流换流阀功率模块可靠性试验相关的试验目的、试验对象、试验要求、试验方法和验收总则，可用于指导柔性直流换流阀功率模块可靠性试验。

本文件适用于基于绝缘栅双极晶体管（IGBT）的电压源换流器（VSC）柔性直流换流阀功率模块或子单元，基于通过控制动作开通和关断的其他类型半导体器件的电压源换流器（VSC）也可参考本文件。

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 2423.1—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
 GB/T 2423.2—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
 GB/T 2423.4—2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验Db 交变湿热（12h+12h 循环）
 GB/T 2423.5—2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Ea 和导则：冲击
 GB/T 2423.22—2002 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化
 GB/T 13498—2017 高压直流输电术语
 GB/T 16927.1—2011 高电压实验技术 第1部分：一般定义及试验要求
 GB/T 16927.2—2013 高电压实验技术 第2部分：测量系统
 GB/T 16927.3—2010 高电压实验技术 第3部分：现场试验的定义及要求
 GB/T 17626.2—2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
 GB/T 17626.3—2016 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验
 GB/T 17626.4—2018 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验
 GB/T 17626.5—2019 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验
 GB/T 17626.6—2017 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度
 GB/T 17626.8—2006 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验
 GB/T 17626.9—2011 电磁兼容 试验和测量技术 脉冲磁场抗扰度试验
 GB/T 17626.10—2017 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡磁场抗扰度试验
 GB/T 17626.18—2016 电磁兼容 试验和测量技术 阻尼振荡波抗扰度试验
 GB/T 33348—2016 高压直流输电用电压源换流器阀—电气试验
 GB/T 34118—2017 高压直流系统用电压源换流器术语

3 术语和定义

GB/T 13498和GB/T 34118界定的术语和定义适用于本文件。

3.1 功率半导体术语 power semiconductor terms

3.1.1

可关断半导体器件 turn-off semiconductor device

能通过控制信号进行开通和关断的可控半导体器件，如IGBT。

注：有多种可关断半导体器件可用于高压直流输电VSC换流器。为方便起见，本文件所用术语IGBT指代主要的可关断半导体器件。然而，本文件同样适用于其他可关断半导体器件。

[来源：GB/T 34118—2017，7.1]

3.1.2

绝缘栅双极晶体管 insulated gate bipolar transistor; IGBT

具有三个端子的可关断半导体器件:一个栅极端子(G)和两个负荷端子,即发射极(E)和集电极(C)。

注:通过在栅极和发射极之间施加适当的电压可控制负载电流,即开通和关断。

[来源:GB/T 33348—2016, 3.2.2]

3.1.3

续流二极管 free-wheeling diode; FWD

具有二极管特性的功率半导体器件。

注1:每个续流二极管有两个端子:一个阳极(A)和一个阴极(K)。

注2:续流二极管中的电流方向和与其反并联的IGBT中的电流方向相反。

[来源:GB/T 34118—2017, 7.3]

3.1.4

IGBT-二极管对 IGBT-diode pair

IGBT和与其反并联的续流二极管的组合。

[来源:GB/T 34118—2017, 7.4]

3.1.5

开关单元 switch position

功能相当于一个独立、不可分割的开关半导体器件。

注:一个开关单元可由单个的IGBT-二极管对组成,或者在级联两电平换流器下,串联多个IGBT-二极管对。

[来源:GB/T 34118—2017, 7.12]

3.2 VSC 结构术语 VSC construction terms

3.2.1

模块化多电平换流器 modular multi-level converter; MMC

每个电压源换流器阀由若干模块化多电平换流器标准组件串联组成的多电平换流器。

[来源:GB/T 34118—2017, 6.4]

3.2.2

级联两电平换流器 cascaded two-level converter; CTLC

每个开关单元由一个以上IGBT-二极管对串联组成的模块化多电平换流器。

[来源:GB/T 34118—2017, 6.5]

3.2.3

模块化多电平换流器标准组件 MMC building block

由带有两个端子的独立可控电压源以及直流电容器和直属辅助设备组成的组件,构成模块化多电平换流器的一部分。

[来源:GB/T 34118—2017, 7.11]

3.2.4

功率模块 power module

模块化多电平换流器标准组件,其中每个开关单元仅由一个IGBT-二极管对组成。

[来源:GB/T 34118—2017, 7.13, 有修改]

3.2.5

子单元 cell

模块化多电平换流器标准组件,其中每个开关单元由一个以上IGBT-二极管对串联组成。

[来源:GB/T 33348—2016, 3.4.8]

3.3 可靠性术语 reliability terms

3.3.1

非关联故障 no-relevant failure

已经证实是未按规定的条件使用而引起的故障;或已经证实仅属某项将不采用的设计所引起的故障。否则视为关联故障。

3.3.2

非责任故障 no-chargeable failure

非关联故障或事先已经规定不属于某个特定组织提供的产品的关联故障。否则为责任故障。

4 总则

4.1 概述

本文件从连续运行能力、故障旁路能力、环境适应能力、电磁兼容能力、过压短路能力以及长期老化能力六个方面提出了柔性直流换流阀功率模块的可靠性试验方法，并对试验目的、试验对象、试验要求和验收准则做出规范和说明。

4.2 可靠性试验执行

4.2.1 替代证明

功率模块的每一种设计都应以本文件规定的可靠性试验为依据。同时满足以下情况，可提供产品可靠性试验采信报告，供买方评估与采信：

- a) 试验样品的技术状态无变化；
- b) 可靠性试验技术条件完全覆盖；
- c) 具有完整的可靠性试验采信报告，报告中应详述产品技术状态、试验技术条件的对比分析，充分论证可靠性试验的可替代性。

4.2.2 试验类别

根据可靠性试验项目对试验样品是否造成不可逆损伤将其进行如下分类：

- a) 1类试验项目，该类试验对试验样品不会造成不可逆损伤，包括：最大连续运行负荷试验、电磁兼容试验、长期老化试验；
- b) 2类试验项目，该类试验对试验样品会造成不可逆损伤，包括：故障旁路试验、环境试验、过压短路试验。

4.2.3 试验样品

试验样品原则上为完整的功率模块，但对于环境试验中的部分项目（低温、高温、温度交变、交变湿热）可为除电容器以外的功率模块整体，或仅针对功率模块取能电源和控制板卡开展。

在可靠性试验开始之前，试验样品均应通过例行试验和型式试验，确保制造是正确的。

当功率模块的拓扑结构不同，或采用的可控功率器件型号不同时，应针对每种类型的功率模块分别选取试验样品进行验证。

4.2.4 样品数量

试验样品最小数量取决于单个阀的功率模块总数和所开展可靠性试验项目的要求。

- a) 1类试验项目，应采用抽样试验的方式开展，每类试验样品数量不应小于单个阀功率模块总数的1%；
 - b) 2类试验项目，应采用抽样试验的方式开展，每类试品抽样数量一般为1个功率模块。
- 通常，1类试验项目应在同一试验样品上进行，2类试验项目可在不同的试验样品上进行。

4.2.5 试验顺序

试验顺序应遵循前一试验不影响后一试验效果为原则，必要时，试验顺序可根据实际情况进行适当调整。

4.2.6 试验程序

试验应按照 GB/T 16927.1—2011、GB/T 16927.2—2013、GB/T 16927.3—2010 进行。环境试验应按 GB/T 2423.1—2008、GB/T 2423.2—2008、GB/T 2423.22—2002、GB/T 2423.4—2008、GB/T 2423.5—2019 的规定进行。电磁兼容试验应按 GB/T 17626.2—2018、GB/T 17626.3—2016、GB/T 17626.4—2018、GB/T 17626.5—2019、GB/T 17626.6—2017、GB/T 17626.8—2006、GB/T 17626.9—2011、GB/T 17626.10—2017、GB/T 17626.18—2016 的规定进行。

4.2.7 试验要求

完成试验程序后,功率模块应经历一系列检查试验,至少应包括如下几项:

- a) 通过功率模块端间耐压试验检查功率模块的电压耐受能力,施加的试验电压可为直流试验电压或交流-直流叠加试验电压,试验电压的最大值应不低于功率模块闭锁状态下的耐受电压水平,时间不少于 10s;
- b) 通过最大连续运行负荷试验检查门极触发电路;
- c) 通过最大连续运行负荷试验检查监测电路;
- d) 通过最大连续运行负荷试验、故障旁路试验(旁路开关正常合闸工况)检查功率模块旁路开关、取能电源、控制板卡各项功能。

每次在下一步试验前,可靠性试验中或试验后发现的故障IGBT/二极管或辅助元件可更换。

4.2.8 试验环境温度

除特别指定说明外,试验应在试验室常规环境温度下进行。

4.3 可靠性试验验收

4.3.1 故障分类

可靠性试验过程中出现的故障可分为责任故障和非责任故障。只有责任故障才适用于可靠性试验统计的故障。

4.3.1.1 非责任故障

下列为非责任故障:

- a) 误操作引起的受试产品故障;
- b) 试验设施及测试仪表故障引起的受试产品故障;
- c) 超出设备工作极限的环境条件和工作条件引起的受试产品故障;
- d) 修复过程中引入的故障;
- e) 将有寿命件超期使用,使得该器件产生故障及其引发的从属故障(需事先说明不更换的原因)。

4.3.1.2 责任故障

除可判定为非责任的故障外,其他所有故障均判定为责任故障,如:

- a) 由于设计缺陷或制造工艺不良而造成的故障;
- b) 由于元器件或部件潜在缺陷致使其失效而造成的故障;
- c) 由于软件引起的故障;
- d) 间歇故障;
- e) 超出规范正常范围的调整;
- f) 试验期间所有非从属性故障原因引起的故障征兆(未超出性能极限)而引起的更换;
- g) 无法证实原因的异常。

4.3.2 故障统计

试验过程中,只有责任故障才适用于可靠性试验统计的故障,统计原则如下:

- a) 可证实是由于同一原因引起的间歇故障只计为一次故障;
- b) 当可证实多种故障模式由同一原因引起时,整个事件计为一次故障;
- c) 对于电子类附件,有多个元器件在试验过程中同时失效时,当不能证明是一个元器件失效引起了另一失效时,每个元器件的失效计为一次独立的故障;若可证明是一个元器件的失效引起的另一些失效时,则所有元器件的失效合计为一次故障;
- d) 已经报告过的由同一原因引起的故障,由于未能真正排除而再次出现时,应和原来报告过的故障合计为一次故障;
- e) 多次发生在相同部位、相同性质、相同原因的故障,若经分析确认采取纠正措施经验证有效后将不再发生,则多次故障合计为一次故障;

- f) 在故障检测和修理期间，若发现被试产品中还存在其他故障而不能确定为由原来故障引起的，则应将其视为单独的责任故障进行统计。

4.3.3 1 类试验项目故障处置策略

针对 1 类试验项目，故障处置策略如下：

- a) 试验过程中若未出现责任故障，则终止试验；
- b) 试验过程中若出现 1 个责任故障，且未超过 1%的试验样品出现责任故障，则修复故障并重复该项可靠性试验；
- c) 试验过程中若出现 2 个及以上责任故障，或超过 1%的试验样品出现责任故障，则按照 1%比例重新进行抽样，进行二次试验；
- d) 在所有可靠性试验期间，若责任故障的试验样品数量累计大于受试样品的 3%，则终止试验。

4.3.4 2 类试验项目故障处置策略

针对2类试验项目，故障处置策略如下：

- a) 试验过程中若未出现责任故障，则终止试验；
- b) 试验过程中若出现 2 个以下责任故障，则重新进行抽样试验，数量不少于 2 个，进行二次试验；
- c) 试验过程中若出现 3 个及以上责任故障，则终止试验。

4.3.5 1 类试验验收准则

对于1类试验中的某项可靠性试验,有一个以上的阀级(若更多,且超过受试阀级的1%)发生短路或开路,则认为该阀未通过可靠性试验。

当使用百分比准则来决定允许的短路或开路阀级最大数目和允许的未导致短路或开路的故障阀级最大数目时，通常是向上取整，如表1所示。

表 1 可靠性试验中允许出现的责任故障数量

受试的功率模块数量	在任一单项可靠性试验中允许出现的责任故障数量	在全部可靠性试验中允许出现的责任故障数量
33 及以下	1	1
34~67	1	2
68~100	1	3
其他	1%	3%

4.3.6 2 类试验验收准则

全部2类试验完成前，出现3个及以上责任故障，则可靠性试验不通过。

5 可靠性试验项目

表2列出了第6章至第11章给出的可靠性试验项目。

表 2 功率模块可靠性试验项目

试验类型	章条款	试验对象
最大连续运行负荷试验	6	功率模块
故障旁路试验	7	功率模块

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/785020213121012113>