



中华人民共和国国家标准

GB/T 34139—2017

柔性直流输电换流器技术规范

Technical specification of converters for high-voltage direct current (HVDC)
transmission using voltage sourced converters (VSC)

2017-07-31 发布

2018-02-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

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 符号和缩略语 2

 4.1 符号 2

 4.2 缩略语 2

5 换流器基本参数等级 2

 5.1 额定直流电压等级 2

 5.2 额定直流电流等级 2

6 技术要求 3

 6.1 正常使用环境条件 3

 6.2 特殊使用条件 3

 6.3 换流器电气结构 3

 6.4 阀的设计 4

 6.5 模块化多电平换流器标准组件中的各部件的选型设计 6

 6.6 阀损耗的确定 7

 6.7 阀冷却系统 7

 6.8 防火防爆设计 8

 6.9 阀的控制保护设计 8

 6.10 联接变压器/换流变压器 8

7 试验 8

8 铭牌 9

参考文献 10

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国电器工业协会提出。

本标准由全国电力电子系统和设备标准化技术委员会(SAC/TC 60)归口。

本标准起草单位:南方电网科学研究院有限责任公司、西安高压电器研究院有限责任公司、西安西电电力系统有限公司、国网智能电网研究院、南方电网超高压输电公司检修试验中心、国网北京经济技术研究院、西安许继电力电子有限公司、南京南瑞继保电气有限公司。

本标准主要起草人:朱喆、饶宏、胡治龙、刘大鹏、杨晓辉、杨柳、马为民、黄莹、许树楷、罗雨、吕铮、卢志良、唐金昆、周会高、张晋波、陈志彬、王弋飞、马志荣、吴金龙、杨一鸣、赵峥、彭杨涵、郭宏光、姜田贵。

柔性直流输电换流器技术规范

1 范围

本标准规定了柔性直流输电用模块化多电平换流器(以下简称换流器)的术语和定义、文字符号和缩略语、换流器基本参数等级、技术要求、试验和铭牌。

本标准适用于采用水冷却、空气绝缘、户内安装的换流器,其他拓扑结构的换流器也可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 13498 高压直流输电术语
- GB/T 13540 高压开关设备和控制设备的抗震要求
- GB/T 17741 工程场地地震安全性评价
- GB/T 20989 高压直流换流站损耗的确定
- GB/T 29629 静止无功补偿装置水冷却设备
- GB/T 30425 高压直流输电换流阀水冷却设备
- GB/T 30553 基于电压源换流器的高压直流输电
- GB/T 33348 高压直流输电用电压源换流器(VSC)阀 电气试验
- GB 50260 电力设施抗震设计规范
- GB/T 34118 高压直流系统用电压源换流器术语

IEC 62751-1 高压直流系统用电压源换流器阀损耗的确定 第1部分:一般要求[Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems—Part 1: General requirements]

IEC 62751-2 高压直流系统用电压源换流器阀损耗的确定 第2部分:模块化多电平换流器[Power losses in voltage sourced converter (VSC) valves for high-voltage direct current (HVDC) systems—Part 2: Modular multilevel converters]

3 术语和定义

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

3.1

额定直流电流 **rated direct current**

在规定的运行条件下,换流器长期向负载连续输出的直流电流。

3.2

最大直流电流 **maximum direct current**

在规定的运行条件下,换流器长期向负载连续输出的直流电流最大值。

GB/T 34139—2017

3.3

短时过载(过负荷)直流电流 short time overload direct current

在规定的运行条件下,换流器短时(如 3 s)向负载连续输出的直流电流最大值。

注:一般在不同冷却条件和环境温度下,有不同的短时过载直流电流值。

3.4

额定直流电压 rated direct voltage

在规定的运行条件下,换流器输出的直流电压。

3.5

额定直流功率 rated direct power

额定直流电压与额定直流电流之积。

4 符号和缩略语

4.1 符号

下列符号适用于本文件。

ΔT :冷却水在阀的进口、出口处的温度差。

C :冷却水的比热常数。

F_r :单个桥臂中,串联模块化多电平换流器标准组件的冗余度。

k_d :单个桥臂的总电压分布系数。

k_{dm} :设计余量系数。

N_t :单个桥臂中,串联连接的模块化多电平换流器标准组件总数。

N_r :单个桥臂中,串联连接的模块化多电平换流器标准组件的冗余数。

P_T :阀的总损耗。

q :冷却水流量。

4.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

IGBT:绝缘栅双极晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor)

IEGT:注入增强栅晶体管(Injection Enhanced Gate Transistor)

5 换流器基本参数等级

5.1 额定直流电压等级

额定直流电压(kV)可在下列数值中选取:

60、160、320、400、500、640、700、1 000、1 600。

注:以上额定值是参考 GB/T 3859.1,结合已有直流工程的电压等级给出的。

5.2 额定直流电流等级

额定直流电流(A)可在下列数值中选取:

156、250、500、625、750、1 000、1 250、1 560、2 000、2 500、3 000。

注:以上额定值是参考 GB/T 3859.1,结合已有直流工程的电流等级给出的。

6 技术要求

6.1 正常使用环境条件

6.1.1 抗震要求

换流阀(以下简称阀)的设计和使用应考虑换流站站址的地震条件,并符合 GB/T 13540、GB 50260、GB/T 17741 的规定。

6.1.2 阀的环境条件

阀的设计和使用应考虑的环境条件包括以下方面:

- 阀厅一般按海拔 1 000 m 设计(海拔高于 1 000 m 时,应根据相关标准修正设计);
- 阀厅正常温度范围为 10 ℃~50 ℃;
- 相对湿度最大值为 60%;
- 爬电比距一般为 14 mm/kV;
- 阀厅气压应保持微正压。

6.1.3 控制保护设备的环境条件

控制保护设备的设计和使用应考虑的环境条件包括以下方面:

- 户内,带通风和空调,需控制湿度和空气温度以防止发生凝露;
- 正常温度范围为 5 ℃~45 ℃;
- 相对湿度为 25%~60%。

6.2 特殊使用条件

不符合 6.1 的规定时,应在工程技术规范中提出,制造商在设计时充分考虑。

6.3 换流器电气结构

6.3.1 概述

柔性直流输电系统多采用模块化多电平换流器拓扑结构(见图 1)。其中,单个阀一般由三相、六个桥臂组成,每个桥臂由阀组件及桥臂电抗器组成,每个阀由若干个阀塔串联组成,每个阀塔一般分层布置有多个阀组件,每个阀组件由多个模块化多电平换流器标准组件(功率模块)串联组成。

6.3.2 模块化多电平换流器标准组件

模块化多电平换流器标准组件为最小换流电路单元,由全控型开关器件(IGBT、IEGT 等)、直流电容器等构成,具备完整的交流-直流变换功能。模块化多电平换流器标准组件有半桥式、全桥式等拓扑结构形式。半桥式模块化多电平换流器标准组件的典型拓扑结构如图 1 所示。

6.3.3 阀组件

阀组件(也称为阀段)由若干个相同的模块化多电平换流器标准组件串联组成。每个阀组件承受的电压为模块化多电平换流器标准组件的数量乘以每个模块化多电平换流器标准组件的工作电压。阀组件的拓扑结构如图 1 所示。

阀设计时应考虑以下基本技术要求(但不限于):

- 阀塔的类型;
- 阀的组成元件的类型和数量,包括功率器件、直流电容器等;
- 阀保护的类型;
- 阀的电压应力,包括过电压水平等;
- 阀的电流应力,包括故障电流、过载等;
- 阀冷却系统的形式和相关技术参数。

6.4.2 机械性能

机械性能包括以下方面:

- 阀的机械结构应简单而坚固,能承受 6.1.1 规定的抗震要求及检测人员到阀体上工作时产生的应力。阀宜设计为组件式,便于安装、检修和更换;
- 阀中的各种金属构件应耐腐蚀,以保证阀的设计寿命;
- 阀中的各种非金属构件应耐电弧,避免因放电而导致快速老化;
- 阀中与冷却水接触的各种材料应耐受表面腐蚀和老化,以保证阀的设计寿命;
- 阀中的光纤布置应便于光纤通道内相关部件的更换;
- 阀的冷却设计应避免在运行期间出现冷却水泄漏或堵塞,且保证在发生冷却水少量泄漏时,阀仍能运行,并发出报警信号。阀的结构设计应考虑使泄漏的冷却水直接沿沟槽流出,离开带电部件;
- 阀的机械结构设计应考虑在一根支撑(或悬吊)绝缘子损坏的情况下,剩余支撑(或悬吊)绝缘子承受的负荷不超过其额定机械强度的 50%。

6.4.3 电气性能

6.4.3.1 电压耐受能力

阀的绝缘设计应考虑阀和阀支架耐受交流电压、直流电压、操作冲击电压、雷电冲击电压、陡波前冲击电压的能力,并满足规定范围内电晕及局放要求。

阀的过电压能力设计应考虑足够的安全系数,且承受各种过电压的要求。安全系数的确定除考虑电压不均匀分配、过电压保护水平的分散性外,还应考虑阀内非线性因素对阀耐压能力的影响。

应结合工程实际情况,考虑适当的绝缘裕度系数,在假定所有冗余模块化多电平换流器标准组件都损坏的情况下,确定阀的绝缘裕度。

应计算功率器件在各种故障下的耐受能力,以确定模块化多电平换流器标准组件的试验电压。计算时,耐受各种电压的模块化多电平换流器标准组件数量为 $N_t - N_r$ 。

由于串联电路电压分配的不均匀性,阀的电压设计应考虑各种情况下的电压分布系数 k_d 。 k_d 的大小与阀的均压回路、功率器件、冷却水路等的设计有关。

为了得出功率器件在运行中的最大耐受电压值,应考虑设计余量系数 k_{dm} 。 k_{dm} 的选择与电压应力形式有关。

6.4.3.2 电流耐受能力

阀的电流耐受能力设计应考虑阀的部件(功率器件、电容器等)承受正常运行电流和暂态过电流的水平,包括幅值、持续时间、周期数、电流上升率等,同时还应考虑足够的安全裕度。阀的暂态过电流与

GB/T 34139—2017

故障类型、交流系统短路容量、直流系统电压、模块化多电平换流器标准组件的数量和电容值以及桥臂电抗值等有关。

交流系统故障(三相短路、相间短路及接地故障)和直流系统故障(极间短路、桥臂短路及接地故障)等都会产生暂态过电流。

阀设计主要考虑直流极间短路故障下,暂态过电流对阀的部件的影响。这时的暂态过电流相当于交流系统三相短路电流和模块化多电平换流器标准组件电容器放电电流的叠加。

在某些工况下,暂态过电流远远超过阀的部件(功率器件、电容器等)的过电流能力。例如桥臂短路时(不经桥臂电抗器,相当于电容器经故障回路放电),若未采取措施,将会产生幅值非常大的暂态过电流,远远超过阀的部件本身的过电流能力,将对模块化多电平换流器标准组件造成破坏。阀的设计应考虑这种工况。

短时过载电流取决于阀的损耗、冷却条件、环境条件、功率器件等部件的温度限值。应依据工程技术规范对短时过载电流的要求,设计阀的部件(主要有功率器件、电容器等)及冷却系统。

6.4.4 冗余度

在单阀中,除了耐受规定试验电压的模块化多电平换流器标准组件的串联数量,还应考虑模块化多电平换流器标准组件的冗余数。规定的冗余度 F_r 应保证在两次计划检修之间的运行周期内,单个桥臂的模块化多电平换流器标准组件的损坏数量不应超过模块化多电平换流器标准组件的冗余数。

冗余度 F_r 的计算见式(1):

$$F_r = N_r / (N_t - N_r) \quad \dots\dots\dots (1)$$

6.5 模块化多电平换流器标准组件中的各部件的选型设计

6.5.1 功率器件 IGBT/IEGT

功率器件 IGBT/IEGT 的选型应考虑集电极-发射极直流电压、集电极连续电流、集电极重复峰值电流、最高结温、封装形式等。

6.5.2 二极管(如有)

二极管的选型应考虑反向重复峰值电压、正向平均电流、正向重复峰值电流、 I^2t 值(热累积)等参数。

6.5.3 电容器

电容器的选型主要是确定如下几个参数:

- a) 电容值,应满足模块化多电平换流器标准组件电压波动的要求;
- b) 额定工作电压,通常应大于 1.1 倍的模块化多电平换流器标准组件的额定工作电压;
- c) 额定工作电流,可根据工程设计需求,并考虑一定裕度选取。

6.5.4 放电电阻器

电容器应配置放电电阻器。其电阻值的选择应综合考虑模块化多电平换流器标准组件的静态均压、放电时间及运行损耗的要求。静态均压指的是在不依赖于控制系统情况下,阀的自然均压能力。放电时间一般取 4 倍~5 倍放电时间常数,且考虑放电结束时,模块化多电平换流器标准组件的电容器上的残压低于安全操作电压。考虑运行损耗时,应考虑模块化多电平换流器标准组件直流电压波动的影

响,可选取 1.1 倍模块化多电平换流器标准组件额定直流电压。

6.5.5 取能电源

主要考虑取能电源正常工作的输入电压范围应满足最低启动电压、最高耐受电压要求,考虑其局部放电、温升、绝缘、抗电磁干扰能力等。

6.5.6 旁路开关

主要考虑旁路开关的动作时间(一般小于 5 ms)、操作功率以及与模块化多电平换流器标准组件参数的配合(如耐受电流、额定电压等)。

6.5.7 旁路晶闸管(如有)

主要考虑晶闸管的伏安特性与二极管的伏安特性的匹配,以及额定电流和 I^2t 参数。发生系统故障时,晶闸管经受的电流能量累积不应超过其承受能力。

6.5.8 控制电路

应考虑在阀带电情况下可靠实现规定的控制保护和测量功能,包括但不限于:触发控制、旁路控制、阀过电流保护等。

6.5.9 电容电压测量传感器

电容电压测量传感器应符合以下几点:

- a) 测量范围、准确度及精度满足模块化多电平换流器标准组件测量要求;
- b) 测量输出不易受外界因素干扰;
- c) 测量接口匹配板卡设计要求;
- d) 绝缘强度满足工程要求。

6.6 阀损耗的确定

阀的损耗由功率器件的损耗和阀内辅助系统元件或设备的损耗组成,主要包括:功率器件的通态损耗、阀开关的损耗、放电电阻器的损耗、电容器的损耗、控制板等其他电路板卡的损耗。阀的总损耗为以上损耗之和。

阀的各部件损耗的计算按 GB/T 20989、GB/T 30553、IEC 62751-1 和 IEC 62751-2 的规定进行。

6.7 阀冷却系统

阀冷却系统是阀的重要组成部分,分为内冷却系统和外冷却系统。内冷却系统又称为一次循环水系统,主要用来吸收功率器件及其辅助元件产生的热量。外冷却系统的主要功能是对一次循环水系统进行冷却。

阀冷却系统应满足 GB/T 30425 和 GB/T 29629 的相关要求。

冷却水在阀的进、出口处的温度差按式(2)计算:

$$\Delta T = \frac{P_T}{q \times C} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

ΔT ——冷却水在阀的进口、出口处的温度差,单位为开尔文(K);

P_T —— 阀的总损耗,单位为瓦(W);

q —— 冷却水流量,单位为千克每秒(kg/s);

C —— 冷却水的比热常数,单位为焦耳每千克开尔文[J/(kg·K)]。

6.8 防火防爆设计

为了减小火灾的风险,阀的设计应尽可能消除导致火灾的因素,将火灾在阀内蔓延的可能性降至最低。防火防爆设计应遵守以下原则:

- 阀内的非金属材料宜是阻燃的,并具有自熄灭性能;
- 避免电子元件超过其耐受的热应力;
- 减少电接触点的数量;
- 采用无油元件;
- 减小绝缘部分的电势差,避免在污染和潮湿环境下产生较大的泄漏电流;
- 模块化多电平换流器标准组件的结构不得使其内部故障产生爆炸而致使事故扩大。

6.9 阀的控制保护设计

6.9.1 基本要求

阀的控制保护应设计为完全冗余系统,并具有完善的自检功能和符合规范要求的接口,用于触发和监测阀。阀控制保护的故障不应造成阀损坏。

6.9.2 功能设计

阀的控制保护系统应根据接收的上级控制保护系统发送的控制信号,转换为控制脉冲后分配给模块化多电平换流器标准组件的控制器,监测模块化多电平换流器标准组件的状态并上传至上级控制保护系统。

模块化多电平换流器标准组件的控制板实现模块化多电平换流器标准组件单元的控制、电容器电压监测和模块化多电平换流器标准组件状态监测,并将电容器电压、模块化多电平换流器标准组件状态等信息回传给阀的控制保护系统。

任一模块化多电平换流器标准组件损坏时,阀的控制保护系统应发出报警信号。如果模块化多电平换流器标准组件损坏的数量超过冗余数,应向上级控制保护系统发出跳闸请求。

6.9.3 接口设计

阀的控制保护系统应具备(但不限于)与上级控制保护系统、时钟同步系统、故障录波系统和测量系统的通信接口。

6.10 联接变压器/换流变压器

换流器中的联接变压器/换流变压器的技术要求参见相关的变流/换流变压器标准。

7 试验

电气试验应按照 GB/T 33348 的规定进行。

环境试验、振动试验的试验项目由购买方和供应方协商确定。

8 铭牌

换流器应有铭牌。铭牌应由耐腐蚀材料制成,字样、符号应清晰耐久。铭牌的安装位置应在正常运行时明显可见。

换流器的铭牌应包含以下信息:

- 型号;
- 额定直流电压;
- 额定直流电流;
- 模块化多电平换流器标准组件数量;
- 阀塔的结构型式;
- 质量;
- 供应方名称;
- 出厂日期。

参 考 文 献

- [1] GB/T 3859.1 半导体变流器 通用要求和电网换相变流器 第 1-1 部分:基本要求规范
-

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
柔性直流输电换流器技术规范
GB/T 34139—2017

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 22 千字
2017年8月第一版 2017年8月第一次印刷

*

书号: 155066 • 1-56358 定价 18.00 元



GB/T 34139—2017