



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 20996.1—2020/IEC TR 60919-1:2020  
代替 GB/Z 20996.1—2007

---

## 采用电网换相换流器的 高压直流系统的性能 第1部分：稳态

Performance of high-voltage direct current (HVDC) systems with  
line-commutated converters—Part 1: Steady-state conditions

(IEC TR 60919-1:2020, IDT)

2020-12-14 发布

2021-07-01 实施

国家市场监督管理总局 发布  
国家标准化管理委员会

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
采用电网换相换流器的  
高压直流系统的性能 第 1 部分:稳态  
GB/T 20996.1—2020/IEC TR 60919-1:2020

\*

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.org.cn](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2020 年 12 月第一版

\*

书号: 155066 · 1-66712

版权专有 侵权必究

## 目 次

前言 .....	V
引言 .....	VIII
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	2
4 高压直流系统的类型 .....	2
4.1 概述 .....	2
4.2 背靠背高压直流系统 .....	2
4.3 单极大地回路高压直流系统 .....	2
4.4 单极金属回路高压直流系统 .....	5
4.5 双极大地回路高压直流系统 .....	5
4.6 双极金属回路高压直流系统 .....	8
4.7 每极两个 12 脉波(动)换流器 .....	8
4.8 换流变压器的布置 .....	10
4.9 直流开关场接线方式 .....	11
4.10 串联电容补偿的高压直流系统 .....	13
4.11 LCC/VSC 混合双极系统 .....	15
5 环境信息 .....	16
6 额定功率、额定电流和额定电压 .....	18
6.1 额定功率 .....	18
6.2 额定电流 .....	19
6.3 额定电压 .....	19
7 过负荷和设备容量 .....	19
7.1 过负荷 .....	19
7.2 设备容量 .....	20
8 最小输送功率和空载备用状态 .....	21
8.1 概述 .....	21
8.2 最小电流 .....	21
8.3 降低直流电压运行 .....	22
8.4 空载备用状态 .....	22
9 交流系统 .....	23
9.1 概述 .....	23
9.2 交流电压 .....	23

9.3	频率	24
9.4	系统工频阻抗	24
9.5	系统谐波阻抗	24
9.6	正序和零序波阻抗	25
9.7	其他谐波源	25
9.8	次同步谐振(SSTI)	25
10	无功功率	25
10.1	概述	25
10.2	常规高压直流系统	25
10.3	串联电容补偿的 HVDC 设计	26
10.4	换流器消耗的无功功率	26
10.5	与交流系统的无功功率平衡	27
10.6	无功功率源	27
10.7	可投切无功功率组的最大容量	27
11	HVDC 输电线路、接地极线路和接地极	27
11.1	概述	27
11.2	架空线路	28
11.3	电缆线路	28
11.4	接地极线路	29
11.5	接地极	29
12	可靠性	29
12.1	概述	29
12.2	停运	29
12.3	容量	30
12.4	停运时间术语	30
12.5	能量不可用率(EU)	31
12.6	能量可用率(EA)	31
12.7	最大允许强迫停运次数	32
12.8	停运概率	32
13	HVDC 控制	32
13.1	控制目的	32
13.2	控制结构	32
13.3	控制指令设置	36
13.4	电流限制值	37
13.5	控制回路冗余	37
13.6	保护系统	37
13.7	测量	37

14	远动通信 .....	38
14.1	通信系统的类型 .....	38
14.2	电话 .....	38
14.3	电力线载波(PLC) .....	38
14.4	微波 .....	38
14.5	无线电系统 .....	39
14.6	光纤通信 .....	39
14.7	传输数据的分类 .....	39
14.8	快速响应的通信 .....	40
14.9	可靠性 .....	40
15	辅助电源 .....	40
15.1	概述 .....	40
15.2	可靠性和负荷分类 .....	40
15.3	交流辅助电源 .....	41
15.4	蓄电池和不间断电源(UPS) .....	41
15.5	应急电源 .....	42
16	可听噪声 .....	42
16.1	概述 .....	42
16.2	公害 .....	42
16.3	工作区内的噪声 .....	43
17	交流侧谐波干扰 .....	43
17.1	交流侧谐波的产生 .....	43
17.2	滤波器 .....	44
17.3	谐波干扰判据 .....	46
17.4	谐波干扰水平 .....	47
17.5	滤波器性能 .....	47
18	直流侧谐波干扰 .....	48
18.1	直流侧干扰 .....	48
18.2	直流滤波器性能 .....	49
18.3	规范要求 .....	50
19	电力线载波(PLC)干扰 .....	52
19.1	概述 .....	52
19.2	性能规范 .....	52
20	无线电频率干扰 .....	53
20.1	概述 .....	53
20.2	高压直流系统的无线电频率干扰 .....	53
20.3	无线电频率干扰性能规范 .....	54

21	功率损耗 .....	56
21.1	概述 .....	56
21.2	主要损耗来源 .....	56
22	高压直流系统扩建的准备 .....	57
22.1	概述 .....	57
22.2	扩建的规范 .....	57
附录 A(资料性附录)	影响换流站可靠性和可用性的因素 .....	59
参考文献	.....	65

## 前 言

GB/T 20996《采用电网换相换流器的高压直流系统的性能》分为 3 个部分：

- 第 1 部分：稳态；
- 第 2 部分：故障和操作；
- 第 3 部分：动态。

本部分为 GB/T 20996 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/Z 20996.1—2007《高压直流系统的性能 第 1 部分：稳态》，与 GB/Z 20996.1—2007 相比主要技术变化如下：

- 将“总则”和“高压直流系统稳态性能规范概述”更改为“范围”、“规范性引用文件”(见第 1 章、第 2 章,2007 年版的第 1 章和第 2 章)；
- “范围”中增加了“本部分仅包括电网换相换流器,包含电容换相电路结构的换流器。不考虑在 IEC 60146-1-1, IEC TR 60146-1-2 和 IEC 60146-1-3 中给出的电压源换流器的电网换相半导体换流器的一般要求。”(见第 1 章)；
- 增加了“术语和定义”(见第 3 章)；
- 增加了单极金属回路高压直流系统的采用情形和故障电流对附近变电站变压器影响的表述(见 4.4)；
- 增加了对固定双极高压直流系统接线方式的规定,修改了图 8(见 4.5)；
- 增加了关于双极金属回路高压直流系统中故障电流对附近变电站变压器影响的表述(见 4.6)；
- 修改了每极两个 12 脉波(动)换流器的规定,增加了图 10、图 11(见 4.7,2007 年版的 3.7)；
- 增加了“换流变压器的布置”中关于直流开关、平波电抗器和具有第三绕组的换流变压器的表述(见 4.8)；
- 增加了“串联电容补偿的高压直流系统”和“LCC/VSC 混合双极系统”的规定(见 4.10、4.11)；
- 将 2007 年版的 5.1、6.2、7.4、11.2、11.5、12.2、15.2、20.2 中的悬置段改为“概述”,其后面的条的编号顺延(见 6.1、7.2、8.4、12.2、12.5、13.2、16.2、21.2,2007 年版的 5.1、6.2、7.4、11.2、11.5、12.2、15.2、20.2)；
- 增加了“过负荷”中无功功率与过负荷的关系说明(见 7.1 第 5 段)；
- 修改了“有效值”为“方均根值”[见 9.2.1、式(9)、式(14)、18.2.3 和 18.3.4,2007 年版的 8.2.1、16.3、17.2.3 和 17.3.4]；
- 增加了交流稳态电压范围中的“短时电压变化范围”和“紧急情况下的电压变化”(见 9.2.2.2 和 9.2.2.3)；
- 增加了“串联电容补偿的 HVDC 设计”及相关内容(见 10.3)；
- 将频率“取到 100 kHz”修改为“取到基频的 49 次谐波”[见 11.2.2 的的 1)、3),2007 年版的 10.2.2)的 a)、c)]；
- 修改了“可靠性”的“概述”(见 12.1,2007 年版的 11.1)；
- 修改了“可靠性”中关于“停运”的规定(见 12.2,2007 年版的 11.2)；
- 增加了“容量”及其相关内容(见 12.3)；
- 增加了“停运时间术语”,将“周期小时数”纳入该条(见 12.4,2007 年版的 11.3)；
- 删除了“基本功率水平”相关内容(见 2007 年版的 11.4)；

- 修改了“能量不可用率”中的计算公式(见 12.5,2007 年版的 11.5);
- 修改了高压直流系统控制结构的解释,并修改了图 20(见 13.2.1,2007 年版 12.2 和图 16);
- 修改了“换流器触发控制”的功能要求(见 13.2.2,2007 年版的 12.2.1);
- 增加了“极控制”的基本控制功能的表述和图 21c)及其相关内容(见 13.2.3,2007 年版的 12.2.3 和图 17);
- 增加了高压直流系统“保护系统”(见 13.6);
- 修改了“微波”的内容(见 14.4,2007 年版的 13.4);
- 将全文中的“直流电抗器”修改为“平波电抗器”,图 1~图 26 中增加了图说明;
- 增加了对换流站光纤通信系统要求及特点的表述(见 14.6);
- 增加了信号传输格式的内容(见 14.7);
- 增加了“e)高压直流输电线路保护;f)电力系统安全控制。”和“通信系统的性能要求将取决于高压直流控制系统、远程控制设施等设置的具体要求。由于这些在不同的高压直流输电方案之间差别很大,应通过对特定的高压直流输电系统的详细分析,确定通信系统规范。”(见 14.8);
- 增加了将多种通信通道结合的表述(见 14.9);
- 增加了蓄电池组需要考虑和规定“温度条件”和“通风要求”的内容,删除了不间断电源宜规定电压允差的内容(见 15.4,2007 年版的 14.4);
- 增加了干式平波电抗器设计安装降噪装置的内容(见 16.2.4);
- 修改了“交流滤波电抗器”的内容(见 16.2.5,2007 年版的 15.2.4);
- 增加了“接于双极高压直流系统交流馈线上交流谐波滤波器”的示例图(见图 22,2007 年版的图 18);
- 增加了对采用有源滤波器的原因及特点的表述以及不同类型滤波器电路图(见 17.2 和图 23,2007 年版的 16.2 和图 19);
- 增加了“直流滤波器”中的直流线路路径选择的相关内容(见 18.1.7);
- 修改了谐波干扰电流计算公式(见 18.3.4,2007 年版的 17.3.4);
- 修改了电力线载波干扰和无线电频率干扰中“噪声”为“干扰”(见第 19 章、第 20 章,2007 年版的第 18 章、第 19 章);
- 增加了“宜考虑宽带 PLC 滤波器的成本显著高于窄带 PLC 滤波器的成本。特别是,20 kHz~50 kHz 较低频率的滤波器的成本显著高于较高频率的 PLC 滤波器。”(见 19.2);
- 增加了“无线电频率干扰”的“概述”作为一条(见 20.1);
- 增加了换流站交流高压开关场的交流电晕及直流电晕影响因素分析(见 20.2.1);
- 修改了“无线电干扰传播”的内容(见 20.2.2,2007 年版的 19.1.2);
- 增加了“RFI 特征”及相关内容(见 20.2.3);
- 修改了“无线电频率干扰性能规范”的内容(见 20.3,2007 年版的 19.2);
- 删除了“高压直流系统扩建方式”的部分图示(见图 26,2007 年版的图 21);
- 增加了附录 A 和参考文献。

本部分使用翻译法等同采用 IEC TR 60919-1:2020《采用电网换相换流器的高压直流系统的性能 第 1 部分:稳态》。

与本部分中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下:

- GB/T 13498 高压直流输电术语(GB/T 13498—2017,IEC 60633:2015,MOD)

本部分由中国电器工业协会提出。

本部分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。

本部分起草单位:中国电力科学研究院有限公司、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、西安电力电子技术研究所、清华大学、全球能源互联网研究院有限公司、西安西电电力系统有限公司、南京南瑞继保电气有限公司、国网经济技术研究院有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、许继电气股份有限公司、西安端怡科技有限公司、平高集团有限公司。

本部分主要起草人：谢国平、邱伟、周会高、蔚红旗、刘琳、余占清、傅闯、杨晓辉、王薇薇、王高勇、任军辉、王明新、赵彪、韩从达、王俊生、李亚男、严喜林、王永平、李婧靓、申笑林、李媛、洪波、吴战锋、王向克、高子健、许韦华、董添华、朱艺颖。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/Z 20996.1—2007。

## 引 言

要意识到系统性能规范和系统中单个元件的设备设计规范之间的差异。通常,对于一个具体工程的两个高压直流换流站,其性能规范作为一个整体编写。高压直流系统的一些部分也能单独规定和采购,在此情况下,充分考虑每一部分与整个高压直流系统性能目标的配合,并明确规定每一部分与系统之间的接口。比较容易划分并明确接口的典型部分有:

- a) 直流输电线路、接地极线路和接地极;
- b) 远距离通信系统;
- c) 阀厅、基础和其他土建工程;
- d) 无功功率源,包括交流并联电容器组、并联电抗器、同步和静止无功补偿装置;
- e) 交流开关设备;
- f) 直流开关设备;
- g) 辅助系统;
- h) 交流滤波器;
- i) 直流滤波器;
- j) 平波电抗器;
- k) 换流变压器;
- l) 避雷器;
- m) 串联换相电容器;
- n) 换流阀及其辅助设备;
- o) 控制和保护系统。

注:后四项很难分开。实际上,分开这四项是不可取的。

本部分第4章~第22章全面论述了高压直流系统的稳态性能。

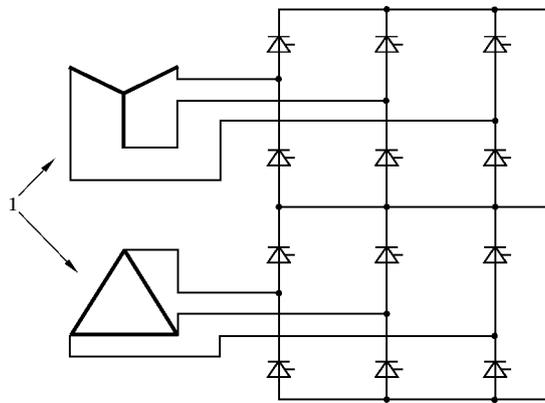
由于设备通常是单独规定和采购的,考虑到对高压直流系统性能的影响,本部分仅包括高压直流输电线路、接地极线路和接地极(见第11章)。

本部分假定高压直流换流站包含一个或多个安装在单一位置的换流器单元及其配套的建筑物、电抗器、滤波器、无功功率源、控制、保护、监视、测量和辅助设备。本部分没有讨论交流开关设备,但包括交流滤波器和无功功率源,尽管它们能连接至独立于高压直流换流站的交流母线(见第17章)。

# 采用电网换相换流器的 高压直流系统的性能 第1部分：稳态

## 1 范围

GB/T 20996 的本部分给出了高压直流系统稳态性能的综合导则,涉及使用三相桥式(双路)联结构成12脉波(动)换流器单元(见图1)的两端高压直流系统的稳态性能,但不包括多端高压直流输电系统。两端换流站均考虑采用晶闸管阀作为半导体换流阀,具有双向功率输送能力。本部分未考虑二极管阀。



说明:

1——变压器阀侧绕组。

图1 12脉波(动)换流器单元

本部分仅涵盖电网换相换流器,包括电容换相电路结构的换流器。在 IEC 60146-1-1、IEC TR 60146-1-2和 IEC 60146-1-3<sup>1)</sup>中给出了电网换相半导体变流器的一般方面。本部分不考虑电压源换流器。

系统性能规范与系统中单个部件的设备设计规范之间存在差异。本部分没有规定设备规范和试验要求,也没有包括详细的抗震性能要求。另外,不同的高压直流系统可能存在许多不同之处,本部分未考虑这些细节。因此,本部分不宜直接用作具体工程项目的技术规范。但是,可以此为基础用作具体的输电系统编制满足实际系统要求的技术规范。

本部分涵盖稳态性能,IEC TR 60919-2 故障和操作以及 IEC TR 60919-3 动态性能另有单独的文件。编制两端高压直流系统规范时,三个部分一并考虑。

## 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。

IEC 60633 高压直流输电术语[high-voltage direct current (HVDC) transmission—Vocabulary]

1) IEC 60146-1-3 已废止,被 IEC 61378 系列和 IEC/IEEE 60076-57-129 覆盖。