

高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器

Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations

(IEC 60099-9:2014, Surge arresters—Part 9: Metal-oxide surge arresters without gaps for HVDC converter stations, MOD)

GB/T 22389—2023

代替 GB/T 22389—2008

目 次

前言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 典型的 HVDC 换流站示意图、避雷器类型、安装位置和运行电压	7
5 标志及分类	12
5.1 避雷器标志	12
5.2 避雷器分类	13
6 运行条件	13
6.1 正常运行条件	13
6.2 异常运行条件	13
7 技术要求	14
7.1 绝缘耐受	14
7.2 参考电压	14
7.3 残压	14
7.4 局部放电	15
7.5 密封性能	15
7.6 电流分布	15
7.7 长期稳定性	15
7.8 重复转移电荷耐受	15
7.9 动作负载试验	15
7.10 短路性能	15
7.11 内部均压元件	15
7.12 机械负荷	16
7.13 电磁兼容	16
7.14 寿命的终结	16
7.15 持续电流	17
7.16 0.75 倍直流参考电压下漏电流	17
7.17 大电流冲击耐受	17
7.18 耐污秽性能	17
7.19 复合外套外观要求	17
7.20 气候老化试验	17
7.21 GIS 避雷器外壳要求	17
7.22 GIS 避雷器绝缘气体的额定密度(额定压力)和最小运行密度(最低运行压力)	18
7.23 GIS 避雷器绝缘气体要求	18
7.24 GIS 避雷器运输振动性能	18

7.25	包装、运输和保管	18
8	试验要求	18
8.1	测量设备及准确度	18
8.2	试品	18
9	型式试验(设计试验)	20
9.1	总则	20
9.2	绝缘耐受试验	20
9.3	短路试验	22
9.4	局部放电试验	22
9.5	机械负荷试验	23
9.6	环境试验	31
9.7	气候老化试验	32
9.8	密封试验	34
9.9	无线电干扰电压(RIV)试验	35
9.10	残压试验	36
9.11	长期稳定性试验	37
9.12	重复转移电荷试验	40
9.13	散热特性试验	42
9.14	动作负载试验	42
9.15	内部部件绝缘耐受试验	44
9.16	内部均压部件试验	44
9.17	工频参考电压试验	46
9.18	直流参考电压试验	46
9.19	0.75 倍直流参考电压下漏电流试验	46
9.20	大电流冲击耐受试验	46
9.21	统一爬电比距检查	46
9.22	电流分布试验	46
9.23	持续电流试验	46
9.24	复合外套外观检查	46
10	例行试验、验收试验、抽样试验和定期试验	47
10.1	例行试验	47
10.2	验收试验	47
10.3	抽样试验	48
10.4	定期试验	48
11	不同类型避雷器试验要求	49
11.1	总则	49
11.2	阀避雷器(V)	49
11.3	桥避雷器以及 HV 和 LV 换流器避雷器(B,CH,CL)	51
11.4	换流器避雷器(C)	52
11.5	中点直流母线避雷器、桥中点避雷器和换流器间避雷器(M,MH,ML,CM)	52

11.6	换流器直流母线避雷器(CB)	53
11.7	直流母线和直流线路/电缆避雷器(DB,DL/DC)	53
11.8	中性母线避雷器(EB,E1,E)	55
11.9	直流和交流滤波器避雷器(FA,FD)	56
11.10	接地极线和金属回线避雷器(EL,EM)	58
11.11	平波电抗器避雷器(DR)	58
11.12	电容器避雷器(CC)	58
11.13	变压器阀侧避雷器(T)	59
附录 A (资料性)	本文件与 IEC 60099-9:2014 的章条编号对照	60
附录 B (资料性)	本文件与 IEC 60099-9:2014 的主要技术差异及其原因	62
附录 C (规范性)	机械试验	67
附录 D (资料性)	包装、运输及保管	72
附录 E (规范性)	热等价性试验	73
附录 F (规范性)	热稳定试验起始温度	75
附录 G (资料性)	不同回路的配置	76
附录 H (资料性)	典型的直流工程用避雷器参数	78
	参考文献	80
图 1	具有双 12 脉动换流器的典型换流站单极示意图	8
图 2	具有单 12 脉动换流器的典型换流站单极示意图	9
图 3	具有双 12 脉动换流器的典型电容换相换流器(CCC)示意图	10
图 4	低频模型中不同类型避雷器典型持续运行电压(具体位置见图 1~图 3,基频 50 Hz)	11
图 5	高频模型中不同类型避雷器典型持续运行电压(具体位置见图 1~图 3,基频 50 Hz)	12
图 6	热机试验	27
图 7	热机试验和弯曲负荷方向的安排	27
图 8	浸水试验	28
图 9	具有电压极性反转加速老化试验方法 a)	39
图 10	阀避雷器(V)的运行电压波形(整流运行)、PCOV 和 CCOV	49
图 11	桥避雷器的持续运行电压的波形、DCOV、PCOV 和 CCOV	51
图 12	电压超过某值的相对持续时间	57
图 C.1	多元件避雷器的弯矩试验	67
图 C.2	机械负载的定义	68
图 C.3	避雷器元件	69
图 C.4	避雷器的尺寸	70
图 C.5	弯曲负荷试验程序流程图	71
图 G.1	具有双 12 脉冲换流器的 CSCC 换流站示意图	76
图 G.2	具有双 12 脉冲换流器的背靠背换流站示意图	77
表 1	局部放电试验电压值	23
表 2	例行试验	47

表 3	验收试验	47
表 4	抽样试验	48
表 5	定期试验	48
表 6	型式试验	50
表 7	型式试验	55
表 A.1	本文件与 IEC 60099-9:2014 的章条编号对照	60
表 B.1	本文件与 IEC 60099-9:2014 的主要技术差异及其原因	62
表 H.1	典型的±1 100 kV 特高压直流工程避雷器参数	78
表 H.2	典型的±800 kV 特高压直流工程避雷器参数	78
表 H.3	典型的±500 kV 高压直流工程避雷器参数	79

高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器

1 范围

本文件规定了高压直流换流站无间隙金属氧化物避雷器的标志及分类、运行条件、技术要求及试验方法等。

本文件适用于为限制±1 100 kV 及以下两端、多端及背靠背高压直流(HVDC)换流站过电压而设计的瓷外套、复合外套和 GIS(直流母线和直流线路/电缆)无间隙金属氧化物避雷器。本文件不包括电压源型换流器用避雷器。

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 311.1 绝缘配合 第 1 部分:定义、原则和规则(GB/T 311.1—2012,IEC 60071-1:2006,MOD)

GB/T 311.2—2013 绝缘配合 第 2 部分:使用导则(IEC 60071-2:1996,MOD)

GB/T 311.3—2017 绝缘配合 第 3 部分:高压直流换流站绝缘配合程序(IEC 60071-5:2014,MOD)

GB/T 2423.17—2008 电工电子产品环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 Ka:盐雾(IEC 60068-2-11:1981,IDT)

GB/T 2423.22—2012 环境试验 第 2 部分:试验方法 试验 N:温度变化(IEC 60068-2-14:2009,IDT)

GB/T 2900.12 电工术语 避雷器、低压电涌保护器及元件

GB/T 2900.19 电工术语 高电压试验技术和绝缘配合

GB/T 3505 产品几何技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 术语、定义及表面结构参数(GB/T 3505—2009,ISO 4287:1997,IDT)

GB/T 3906—2020 3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备(IEC 62271-200:2011,MOD)

GB/T 6113.101 无线电骚扰和抗扰度测量设备和测量方法规范 第 1-1 部分:无线电骚扰和抗扰度测量设备 测量设备(GB/T 6113.101—2021,CISPR 16-1-1:2019,IDT)

GB/T 7354 高电压试验技术 局部放电测量(GB/T 7354—2018,IEC 60270:2000,MOD)

GB/T 7674—2020 额定电压 72.5 kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备(IEC 62271-203:2011,MOD)

GB/T 8905 六氟化硫电气设备中气体管理和检测导则(GB/T 8905—2012,IEC 60480:2004,MOD)

GB/T 11032—2020 交流无间隙金属氧化物避雷器(IEC 60099-4:2014,MOD)

GB/T 11604 高压电气设备无线电干扰测试方法(GB/T 11604—2015,IEC/TR CISPR 18-2:2010,MOD)

GB/T 22389—2023

GB/T 12022 工业六氟化硫

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

GB/T 16422.1—2019 塑料 实验室光源暴露试验方法 第1部分:总则(ISO 4892-1:2016, IDT)

GB/T 16422.2—2022 塑料 实验室光源暴露试验方法 第2部分:氙弧灯(ISO 4892-2:2013, IDT)

GB/T 16422.3—2022 塑料 实验室光源暴露试验方法 第3部分:荧光紫外灯(ISO 4892-3:2016, IDT)

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第1部分:一般定义和试验要求(GB/T 16927.1—2011, IEC 60060-1:2010, MOD)

GB/T 16927.2 高电压试验技术 第2部分:测量系统(GB/T 16927.2—2013, IEC 60060-2:2010, MOD)

GB/T 16927.4 高电压和大电流试验技术 第4部分:试验电流和测量系统的定义和要求(GB/T 16927.4—2014, IEC 62475:2010, MOD)

GB/T 22079 户内和户外用高压聚合物绝缘子 一般定义、试验方法和接收准则(GB/T 22079—2019, IEC 62217:2012, MOD)

GB/T 26218.1 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第1部分:定义、信息和一般原则(GB/T 26218.1—2010, IEC/TS 60815-1:2008, MOD)

GB/T 26218.2—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第2部分:交流系统用瓷和玻璃绝缘子(IEC/TS 60815-2:2008, MOD)

GB/T 26218.3 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第3部分:交流系统用复合绝缘子(GB/T 26218.3—2011, IEC/TS 60815-3:2008, MOD)

GB/T 26218.4 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定 第4部分:直流系统用绝缘子

3 术语和定义

GB/T 311.1、GB/T 311.3—2017、GB/T 2900.12、GB/T 2900.19、GB/T 11032—2020、GB/T 13498、GB/T 26218.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

无间隙金属氧化物避雷器 metal-oxide surge arrester without gaps

由装在具有电气和机械连接端子外套中的非线性金属氧化物电阻片串联和(或)并联组成且无并联或串联放电间隙的避雷器。

[来源:GB/T 11032—2020, 3.1]

3.2

避雷器元件 unit of an arrester

一个完全封装好的避雷器部件,可与其他元件串联和(或)并联,构成更高额定电压和(或)更大标称放电电流等级的避雷器。

[来源:GB/T 11032—2020, 3.23]

3.3

电气元件 electrical unit

元件两端电极均暴露在外部环境中的避雷器部分。

注:一个电气元件准许包含有多个机械元件(见 GB/T 11032—2020 的图 5)。

[来源:GB/T 11032—2020, 3.24]

3.4

机械元件 mechanical unit

元件内部电阻片被机械固定防止轴向移动的避雷器部分。

注 1: 一个电气元件准许包含多个机械元件(见 GB/T 11032—2020 的图 5)。

注 2: 一个机械元件准许包含多个电气元件(见 GB/T 11032—2020 的图 5)。

[来源:GB/T 11032—2020,3.25]

3.5

避雷器比例单元(比例单元) section of an arrester(prorated section)

一个完整的、组装好的对某种特定试验代表整只避雷器特性的避雷器部件。

注: 避雷器比例单元不一定是避雷器元件。对于某些试验,电阻片准许单独构成比例单元。

[来源:GB/T 11032—2020,3.26]

3.6

额定电压 rated voltage of an arrester

U_r

等于避雷器最小工频参考电压或直流参考电压乘以制造商规定因数的工频电压有效值或直流电压平均值。

注: 额定电压是表明避雷器运行特性的一个参考参数。

3.7

持续运行电压 continuous operating voltage of an HVDC-arrester

U_{cHVDC}

允许持久地施加在避雷器端子间最大持续电压。

注: 用 CCOV、PCOV、DCOV 及 DF_{COV} (适用时)来表征。

3.8

峰值持续运行电压 crest value of continuous operating voltage;CCOV

换流站直流侧避雷器两端出现的不包括换相过冲的最高持续运行电压峰值。

注 1: 计算模型对 5 kHz 及以下有效。

注 2: 阀避雷器的 CCOV 示例见图 10。

[来源:GB/T 311.3—2017,3.11,有修改]

3.9

最大峰值持续运行电压 peak value of continuous operating voltage;PCOV

换流站直流侧避雷器两端出现的包括换相过冲的最高持续运行电压峰值。

注 1: 计算模型考虑了换流变压器、阀、母线等的杂散电容和电感,对 50 kHz 及以上有效。

注 2: 阀避雷器的 PCOV 示例见图 10。

[来源:GB/T 311.3—2017,3.12,有修改]

3.10

持续运行电压的直流分量 d.c. component of the continuous operating voltage;DCOV

不包括谐波和换相过冲的避雷器最大持续运行电压平均值。

注: 桥避雷器的 DCOV 示例见图 11。

3.11

持续运行电压的主频率 dominant frequency of continuous operating voltage; DF_{COV}

在直流和交流滤波器避雷器两端出现的最大谐波电压有效值对应的频率。

3.12

无显著持续运行电压 non-significant continuous operating voltage;NCOV

在避雷器上产生很低的功率损耗,以至于在注入规定能量后,不需要验证避雷器热稳定的持续运行

电压。

注 1: 持续运行电压是显著的还是不显著的取决于所施电压和避雷器设计。

注 2: 例如, 中性母线避雷器、金属回线避雷器、地极线避雷器或平波电抗器避雷器是无显著持续运行电压的避雷器。

3.13

等效持续运行电压 equivalent continuous operating voltage of an arrester; ECOV

与任何波形的实际持续运行电压在避雷器上产生相同功率损耗的工频电压(有效值)或直流电压。

3.14

持续电流 continuous current of an arrester

施加持续运行电压时流过避雷器的电流。

注 1: 持续电流由阻性和容性分量组成, 其值会随温度、杂散电容和外部污秽情况而变化。因此试品的持续电流可能会与整只避雷器的持续电流存在差异。

注 2: 为了便于比较, 持续电流准许统一用方均根值或峰值表示。

[来源: GB/T 11032—2020, 3.32]

3.15

工频参考电流 power-frequency reference current of an arrester

I_{refAC}

用于确定避雷器工频参考电压的工频电流阻性分量峰值(如果电流是非对称的, 取两个极性中较高的峰值)。

注: 工频参考电流足够大, 杂散电容对所测避雷器元件(包括设计的均压系统)的工频参考电压的影响可以忽略, 该值由制造商规定。对单柱避雷器, 通过电阻片截面的工频参考电流密度值的典型范围为 $0.02 \text{ mA/cm}^2 \sim 1.0 \text{ mA/cm}^2$ 。

[来源: GB/T 11032—2020, 3.34.1]

3.16

直流参考电流 DC reference current of an arrester

I_{refDC}

用于确定避雷器直流参考电压的直流电流平均值。

注: 对单柱避雷器, 直流参考电流通常取 $1 \text{ mA} \sim 5 \text{ mA}$ 。

[来源: GB/T 11032—2020, 3.34.2]

3.17

工频参考电压 reference voltage(a.c.) of an arrester

U_{refAC}

在避雷器流过工频参考电流时所测的避雷器端子间的工频电压峰值除以 $\sqrt{2}$ 。

注 1: 多元件串联避雷器的工频参考电压是整只避雷器测量的结果, 如果是用每个元件工频参考电压之和代替, 则充分考虑杂散电容对所测整只避雷器工频参考电压值的影响。

注 2: 工频参考电压的测量对动作负载试验中正确选择试品是必要的(见 9.14)。

[来源: GB/T 11032—2020, 3.35.1]

3.18

直流参考电压 reference voltage(d.c.) of an arrester

U_{refDC}

在避雷器流过直流参考电流时所测出的避雷器端子间的直流电压平均值(如果电压与极性有关, 取低值)。

注 1: 多元件串联避雷器的直流参考电压为每个元件直流参考电压之和。

注 2: 直流参考电压的测量对动作负载试验中正确选择试品是必要的(见 9.14)。

[来源:GB/T 11032—2020,3.35.2]

3.19

放电电流 discharge current of an arrester

流过避雷器的冲击电流。

[来源:GB/T 11032—2020,3.37]

3.20

残压 residual voltage of an arrester

U_{res}

放电电流流过避雷器时其端子间的电压峰值。

[来源:GB/T 11032—2020,3.38]

3.21

配合电流 co-ordination current of an arrester

对给定系统中的每一种类型的过电压进行研究时,确定的代表性过电压下通过避雷器的电流。

注 1: GB/T 11032—2020 中给出了陡波前、雷电和操作冲击电流标准波形。

注 2: 配合电流是由系统研究决定。

[来源:GB/T 311.3—2017,3.15]

3.22

陡波冲击电流 steep current impulse of an arrester

视在波前时间为 $0.9\ \mu\text{s}\sim 1.1\ \mu\text{s}$,视在波尾半峰值时间不大于 $20\ \mu\text{s}$ 的一种视在波前时间为 $1\ \mu\text{s}$ 的冲击电流。

注: 在残压试验时,波尾半峰值时间的偏差不作要求。

[来源:GB/T 11032—2020,3.39]

3.23

陡波冲击配合电流 steep impulse coordination current

I_{stico}

波形与陡波冲击电流相同的配合电流。

3.24

雷电冲击电流 lightning current impulse of an arrester

视在波前时间为 $7\ \mu\text{s}\sim 9\ \mu\text{s}$,波尾视在半峰值时间为 $18\ \mu\text{s}\sim 22\ \mu\text{s}$ 的一种 8/20 波形的冲击电流。

注: 在残压试验时,波尾半峰值时间的偏差不作要求。

[来源:GB/T 11032—2020,3.41]

3.25

雷电冲击配合电流 lighting impulse coordination current

I_{lico}

波形与雷电冲击电流相同的配合电流。

3.26

操作冲击配合电流 switching impulse coordination current

I_{swico}

波形与操作冲击电流相同的配合电流。

3.27

避雷器的保护特性 protective characteristics of an arrester

由以下各项组合:

a) 陡波冲击电流残压(包含和不包含等效电感电压);

注 1: 避雷器陡波冲击电流保护水平是在陡波冲击配合电流下的最大残压(见 9.10.2)。

b) 雷电冲击残压;

注 2: 避雷器的雷电冲击保护水平是在雷电冲击配合电流下的最大残压(见 9.10.3)。

c) 操作冲击残压。

注 3: 避雷器的操作冲击保护水平是在操作冲击配合电流下的最大残压(见 9.10.4)。

3.28

额定重复转移电荷 repetitive charge transfer rating

Q_{rs}

由单次或者多次冲击电流产生,通过避雷器转移,并且不会引起电阻片的损坏或者不可接受的电气性能劣化的避雷器最大电荷转移能力。

注: 通过电流对时间的积分(绝对值)来计算电荷值。本文件中,电荷值是由单次冲击电流或者 2 s 内多次冲击电流累积的电荷值,并且接下来准许在不少于 60 s 的时间间隔再次承受冲击电流。

[来源:GB/T 11032—2020,3.46]

3.29

额定热能量 thermal energy rating

W_{th}

在热稳定试验中,3 min 内可注入避雷器或避雷器比例单元而不会导致热崩溃的最大规定单位额定电压下的能量(用 kJ/kV 表示)。

注: 额定热能量通过动作负载试验来验证。

[来源:GB/T 11032—2020,3.48]

3.30

避雷器的热崩溃 thermal runaway of an arrester

当避雷器的持续功率损耗超过外套和连接件的散热能力而引起电阻片温度逐渐升高,最终导致避雷器损坏的情况。

[来源:GB/T 11032—2020,3.54]

3.31

避雷器的热稳定 thermal stability of an arrester

当避雷器在动作负载试验引起温度上升后,在规定的条件下对避雷器施加规定的持续运行电压过程中,电阻片的温度能随时间而降低的状态。

[来源:GB/T 11032—2020,3.55]

3.32

密封(气/水密封性) seal(gas/water tightness)

避免对电气和(或)机械性能有影响的物质进入避雷器内部的能力。

[来源:GB/T 11032—2020,3.60]

3.33

型式试验 type test

设计试验 design test

完成一种新的避雷器设计时,为确定代表性的性能并证明符合有关标准所做的试验。

注: 型式试验做一次即可,但是如果在设计和工艺上有所变更对产品性能有影响时,重新进行相关项目的试验。

[来源:GB/T 11032—2020,3.85]

3.34

例行试验 routine test

为保证产品符合设计规范,对每只避雷器或部件进行的试验。

[来源:GB/T 11032—2020,3.86]

3.35

抽样试验 sample test

对避雷器产品的主要部件,按批次以一定比例抽取试品进行抽样检查以控制避雷器产品质量的试验。

[来源:GB/T 11032—2020,3.87]

3.36

定期试验 periodic test

制造厂在特殊情况下或规定的年限内进行的产品质量监督试验。

[来源:GB/T 11032—2020,3.88]

3.37

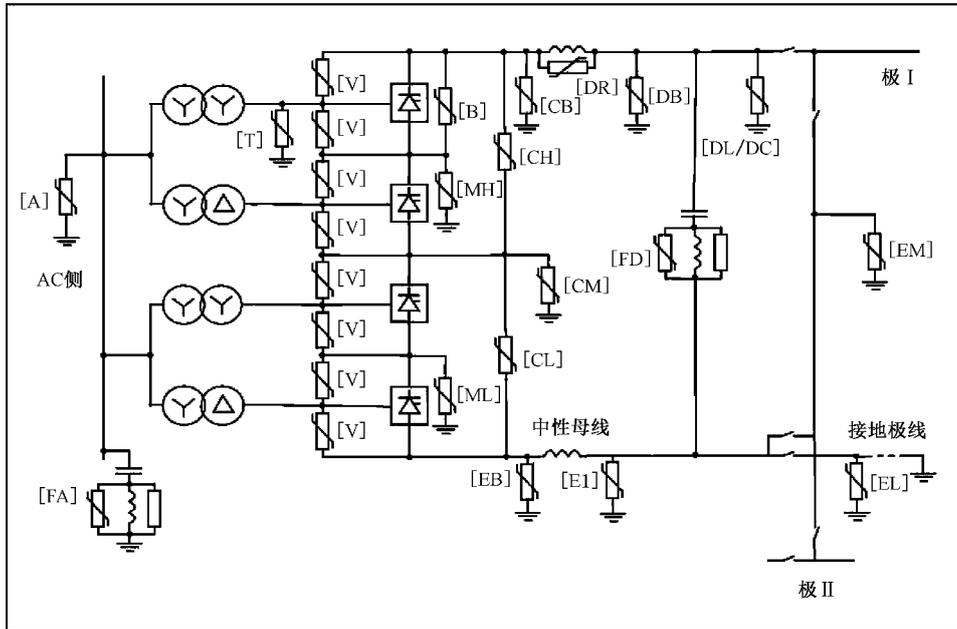
验收试验 acceptance test

经供需双方协商,对避雷器或代表性试品进行的试验。

[来源:GB/T 11032—2020,3.89]

4 典型的 HVDC 换流站示意图、避雷器类型、安装位置和运行电压

图 1~图 3 给出了典型的由 1 个或 2 个串联的 12 脉动换流器组成的 HVDC 换流站单极示意图。示意图之间的区别在于在 HVDC 换流站交流侧是否装有换相电容器或可控串联电容器。图 1~图 3 给出了避雷器可能的安装位置。根据具体设计,可能会省去或增加某些类型的避雷器。典型的运行电压波形见图 4、图 5。图 4 是采用低频模型计算而得到的典型电压波形,图 5 是采用更精确的高频模型计算而得到的典型电压波形。通常更精确的计算模型会得到高的电压峰值,在避雷器的设计和试验中需予考虑。通常低频模型在约 5 kHz 以下有效,而高频模型则是在 50 kHz~1 MHz 有效。由于阀避雷器会影响换相过冲,在计算持续运行电压时计算模型应包含阀避雷器。如果用避雷器来限制换流阀运行期间的换相过冲,在确定避雷器的功率损耗时需考虑这种工况。

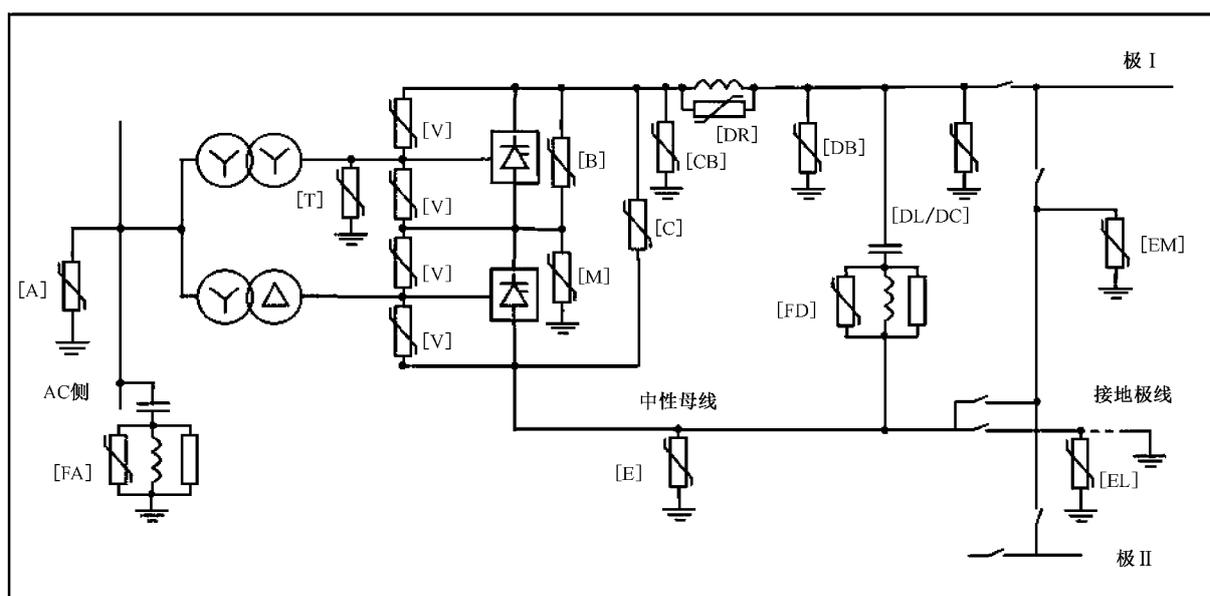


标引符号说明：

- | | | | |
|-------|-------------------------|----|-------------------------|
| A | ——交流避雷器； | EL | ——接地极线避雷器； |
| B | ——桥避雷器； | EM | ——金属回线避雷器； |
| CB | ——换流器直流母线避雷器； | E1 | ——直流中性母线避雷器(平波电抗器的线路侧)； |
| CH | ——高压换流器避雷器(高压桥)； | FA | ——交流滤波器避雷器； |
| CL | ——低压换流器避雷器(低压桥)； | FD | ——直流滤波器避雷器； |
| CM | ——换流器间避雷器； | MH | ——高压桥中点避雷器； |
| DB | ——直流母线避雷器； | ML | ——低压桥中点避雷器； |
| DL/DC | ——直流线路/电缆避雷器； | T | ——换流变压器阀侧避雷器； |
| DR | ——平波电抗器避雷器； | V | ——阀避雷器。 |
| EB | ——换流器中性母线避雷器(平波电抗器的阀侧)； | | |

注：直流和交流滤波器可能比图中所示更复杂。对于具体的工程并不一定包含图示的所有避雷器。图中并未显示避雷器的确切位置，例如，交流避雷器通常位于换流变压器附近。

图 1 具有双 12 脉动换流器的典型换流站单极示意图

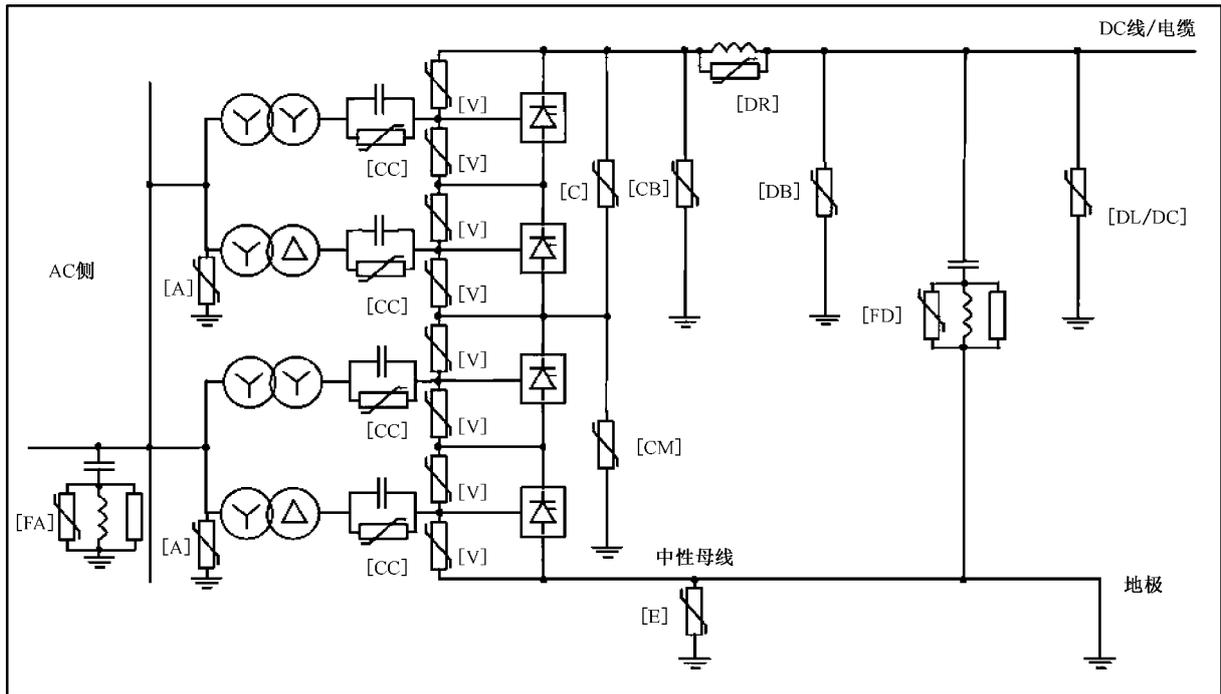


标引符号说明：

- | | | | |
|-------|---------------|----|---------------|
| A | ——交流避雷器； | EL | ——接地极线避雷器； |
| B | ——桥避雷器； | EM | ——金属回线避雷器； |
| C | ——换流器避雷器； | FA | ——交流滤波器避雷器； |
| CB | ——换流器直流母线避雷器； | FD | ——直流滤波器避雷器； |
| DB | ——直流母线避雷器； | M | ——中点直流母线避雷器； |
| DL/DC | ——直流线路/电缆避雷器； | T | ——换流变压器阀侧避雷器； |
| DR | ——平波电抗器避雷器； | V | ——阀避雷器。 |
| E | ——直流中性母线避雷器； | | |

注：直流和交流滤波器可能比图中所示更复杂。对于具体的工程并不一定包含图示的所有避雷器。

图 2 具有单 12 脉动换流器的典型换流站单极示意图



标引符号说明：

- | | |
|-------------------|----------------------|
| A —— 交流避雷器； | DL/DC —— 直流线路/电缆避雷器； |
| C —— 换流器避雷器； | DR —— 平波电抗器避雷器； |
| CB —— 换流器直流母线避雷器； | E —— 直流中性母线避雷器； |
| CC —— 电容器避雷器； | FA —— 交流滤波器避雷器； |
| CM —— 换流器间避雷器； | FD —— 直流滤波器避雷器； |
| DB —— 直流母线避雷器； | V —— 阀避雷器。 |

注：直流和交流滤波器可能比图中所示更复杂。对于具体的工程并不一定包含图示的所有避雷器。

图 3 具有双 12 脉动换流器的典型电容换相换流器(CCC)示意图

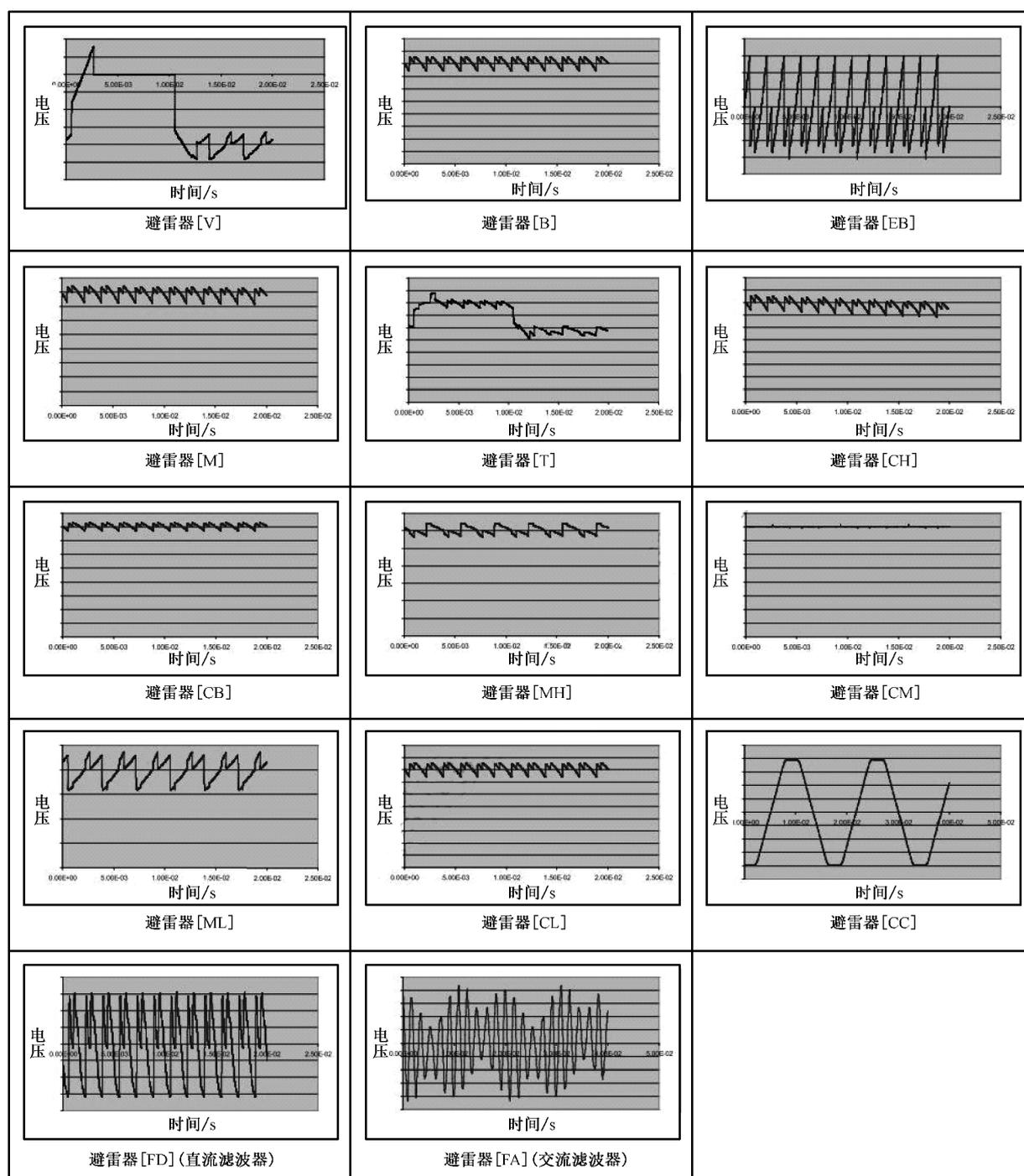


图 4 低频模型中不同类型避雷器典型持续运行电压(具体位置见图 1~图 3,基频 50 Hz)

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/008060026140006071>