

ICS 31.060.70

CCS K 42

CES

团 体 标 准

T/CES XXX-XXXX

高压直流输电系统换流阀阻尼吸收回路用 电容器试验规范

Test specification for capacitors used in damping and absorption circuits of converter valves
in HVDC transmission systems

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国电工技术学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 使用条件	4
4.1 正常使用条件	4
4.2 特殊使用条件	4
5 试验及要求	4
5.1 试验条件	4
5.2 试验分类	4
5.3 外观检查	6
5.4 外形尺寸和重量	6
5.5 电容和损耗角正切 ($\tan\delta$) 测量	6
5.6 端子间电压试验	7
5.7 端子与外壳间交流电压试验	7
5.8 局部放电试验	7
5.9 密封性试验	7
5.10 谐振频率及等效串联电感 (Lesl) 测量	8
5.11 绝缘电阻测量	8
5.12 自愈性试验	8
5.13 短路放电试验	8
5.14 套管和引出导电螺杆强度试验	8
5.15 热稳定性试验	9
5.16 耐久性试验	9
5.17 破坏试验	10
5.18 恒定湿热试验	10
5.19 机械试验	10
附录 A (规范性) 典型的晶闸管级吸收回路	11
A.1 吸收回路 1	11

A.2 吸收回路 2	11
参考文献	1

前　　言

本文件按照 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》给出的规则起草。

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。

本文件由中国电工技术学会提出。

本文件由中国电工技术学会标准工作委员会高压直流输电设备工作组归口。

本文件起草单位：西安华超电力集团有限公司、西安高压电器研究院股份有限公司、西安西电电力系统有限公司、许继电气股份有限公司、常州博瑞电力自动化设备有限公司、中国南方电网有限责任公司超高压输电公司、国网经济技术研究院、上海交通大学、清华大学能源互联网创新研究院、合容电气股份有限公司、西安理工大学、四川大学电气工程学院、安徽航睿电子科技有限公司。

本文件主要起草人：周会高、戴永然、娄彦涛、张广泰、路伟、张瑞、郑劲、张亚非、刘堃、张松、赵道德、王耀、同向前、周群、张腾、姚宁、顾志斌、袁静、谢桂泉、王江平、李亮、李超。

本文件为首次发布。

高压直流输电换流阀阻尼吸收回路用电容器试验规范

1 范围

本文件规定了安装在高压直流输电换流阀的晶闸管级的阻尼吸收回路中, 起阻尼和均压等作用的干式电容器单元的使用条件、质量要求和试验规范。

本文件适用于安装在高压直流输电换流阀的晶闸管级的阻尼吸收回路中, 起阻尼和均压等作用的干式电容器单元。直流融冰装置、静止无功补偿装置(SVC)、交流耗能装置的晶闸管或二极管阀阻尼吸收回路用电容器可参照执行。

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 311.1 绝缘配合 第1部分: 定义、原则和规则
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分: 试验方法 试验Cab: 恒定湿热试验
- GB/T 2423.5 环境试验 第2部分: 试验方法 试验Ea和导则: 冲击
- GB/T 2423.10 环境试验 第2部分: 试验方法 试验Fc: 振动(正弦)
- GB/T 2423.23 环境试验 第2部分: 试验方法 试验Q: 密封
- GB/T 2423.60 电工电子产品环境试验 第2部分: 试验方法 试验U: 引出端及整体安装件强度
- GB/T 5169.12 电工电子产品着火危险试验 第12部分: 灼热丝/热丝基本试验方法 材料的灼热丝可燃性指数(GWFI) 试验方法
- GB/T 5169.16 电工电子产品着火危险试验 第16部分: 试验火焰50 W水平与垂直火焰试验方法
- GB/T 17702—2021 电力电子电容器
- GB/T 26215—2023 高压直流输电系统换流阀阻尼吸收回路用电容器
- GB/T 2900.16—1996 电工术语 电力电容器
- GB/T 20990.1 高压直流输电晶闸管阀 第1部分: 电气试验

3 术语和定义

GB/T 2900.16—1996、GB/T 17702—2021、GB/T 26215—2023、GB/T 20990.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

电容器元件(元件) **capacitor element (element)**

由电介质和被它隔开的电极所构成的用于储存电荷的部件。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.1]

3.2

电容器单元(单元) **capacitor unit (unit)**

由一个或多个电容器元件组装于单个外壳中，并有引出端子的组装体。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.2]

3.3

电容器 capacitor

在不需要表明其是元件或单元时的一个通用术语。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.3]

3.4

阻尼电容器 snubber capacitor

在晶闸管换流阀中抑制电压突变，使过电压的陡度和幅值降低的电容器。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.4]

3.5

干式电容器 dry capacitor

固体介质不浸于液体介质中的电容器。

[来源：GB/T 2900.16—1996, 2.2.15, 有修改]

3.6

自愈 self-healing

在电介质被局部击穿的情况下，电容器的电气属性基本上能够快速自行恢复。

[来源：GB/T 17702—2021, 3.8]

3.7

额定电容 rated capacitance

C_N

设计电容器时所规定的电容值。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.7]

3.8

额定电压 rated voltage

U_N

设计电容器时所规定的运行周期性峰值电压，如正负峰值不相等时，取较高值。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.8]

3.9

电容器的损耗 capacitor losses

电容器所消耗的有功功率。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.9]

3.10

电容器的损耗角正切 tangent of the loss angle of a capacitor

$\tan\delta$

在规定的正弦交流电压、频率和温度下电容器的等效串联电阻和容抗之间的比值。

[来源：GB/T 26215—2023, 3.10]

3.11

绝缘电压 insulation voltage

U_i

为电容器端子对壳或对地之间的绝缘而设计的正弦电压的方均根值。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.11]

3.12

最大峰值电流 maximum peak current

\hat{I}

在连续运行中出现的最大重复峰值电流。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.12]

3.13

最大方均根电流 maximum rms current

I_{max}

换流阀单级晶闸管正向过电压连续保护动作时电容器的最大方均根电流值。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.13]

3.14

最大冲击电流 maximum surge current

\hat{I}_s

由投切或系统中任何其他扰动所引起的非重复峰值电流, 允许出现有限的次数, 持续时间短于基本周期。基本周期为一个工频周期。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.14, 有修改]

3.15

非周期冲击电压 non-recurrent surge voltage

U_s

由投切或系统中任何其他扰动所引起的非重复峰值电压, 允许出现有限的次数, 持续时间短于基本周期。基本周期为一个工频周期。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.15, 有修改]

3.16

谐振频率 resonance frequency

f_r

当电容器的阻抗达到最小值时的最低频率。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.16]

3.17

稳态条件 steady-state conditions

电容器在恒定的输出和恒定的冷却条件下所达到的热平衡。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.17]

3.18

最高运行温度 highest operating temperature

θ_{max}

电容器可在稳态条件下运行的外壳最高温度。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.18]

3.19

冷却空气温度 cooling-air temperature

θ_{amb}

在稳态条件下, 在电容器最热位置的两单元之间的中点所测得的冷却空气的温度。

注: 如果只涉及一个单元, 则为距电容器外壳大约0.1 m且距基底三分之二高度处所测得的温度。

[来源: GB/T 17702—2021, 3.33]

3.20

最大损耗功率 maximum power loss

P_{max}

电容器可在最高外壳温度下运行的最大功率损耗。

[来源: GB/T 17702—2021, 3.41]

3.21

电容器的等效串联电感 equivalent series inductance of a capacitor

L_{esl}

一个有效电感, 当串联连接于一个理想电容器, 其容值与所探讨的电容器的容值相等时, 在谐振频率下, 其产生的感抗与电容器的容抗相等。

[来源: GB/T 26215—2023, 3.19, 有修改]

4 使用条件

4.1 正常使用条件

4.1.1 海拔

一般按海拔1 000 m设计。

4.1.2 环境条件

运行环境温度: +5 °C~+60 °C;

储存环境温度: -40 °C~+85 °C;

相对湿度最大值为70%。

4.2 特殊使用条件

海拔高于1 000 m时, 应根据GB/T 311.1的规定进行海拔修正。

其他不符合4.1的规定时, 应制造方和购买方协商确定。

5 试验及要求

5.1 试验条件

除对具体的试验或测量另有规定外, 电容器介质的温度应在+5 °C~+35 °C范围内, 并与环境温度相同。

当必须进行校正时, 使用的参考温度为+20 °C, 但制造方和购买方另有协议时除外。

如果电容器在不通电状态下在恒定环境温度中放置12 h, 则可认为电容器的介质温度与环境温度相同。

除非另有规定, 交流试验和测量应在50 Hz的频率下进行。

5.2 试验分类

5.2.1 概述

试验分为: 例行试验、型式试验和验收试验、检修试验。装置试验类别及项目表见表1。

5.2.2 例行试验

应由制造方在交货前对每一台电容器进行例行试验。其项目如下：

- a) 外观检查；
- b) 外形尺寸和重量；
- c) 电容和损耗角正切（ $\tan\delta$ ）测量；
- d) 绝缘电阻测量；
- e) 端子间电压试验；
- f) 端子与外壳间交流电压试验；
- g) 局部放电试验；
- h) 密封性试验。

5.2.3 型式试验

进行型式试验是为了确定电容器在设计、尺寸、材料和制造方面是否满足本文件中所规定的性能和运行要求。

型式试验应对与有相同设计的电容器或者对在试验中给出相同的或更为严酷的试验条件而设计的电容器进行。

全部型式试验可在同一批次的多组电容器中进行。

用来做型式试验的电容器必须是经例行试验合格的电容器，除例行试验项目外，增加下列试验项目：

- a) 谐振频率及等效串联电感（ L_{esl} ）测量；
- b) 自愈性试验；
- c) 冲击放电试验；
- d) 套管和引出导电螺杆强度试验；
- e) 热稳定性试验；
- f) 耐久性试验；
- g) 破坏试验；
- h) 恒定湿热试验；
- i) 机械试验。

5.2.4 验收试验

验收试验应由购买方或在购买方见证下进行，具体项目是本文件规定的例行试验项目中的部分项目。验收项目及试验方法依据购买方内部的物料验收标准或与制造商协商一致。

5.2.5 检修试验

检修试验是系统在检修期间对电容器所开展的试验项目，应由购买方或在购买方见证下进行，具体项目是本文件规定的例行试验项目中的部分项目。检修试验项目及试验方法依据购买方内部的检修试验标准或与制造商协商一致。

表1 试验类别及项目表

序号	检验项目	试验方法条款号	例行试验	型式试验	验收试验	检修试验
1	外观检查	5.3	●	●	●	●
2	外形尺寸和重量	5.4	●	●	●	●
3	电容和损耗角正切 ($\tan\delta$) 测量	5.5	●	●	●	●
4	绝缘电阻测量	5.11	●	●	○	●
5	端子间电压试验	5.6	●	●	○	○
6	端子与外壳间交流电压试验	5.7	●	●	○	○
7	局部放电试验	5.8	●	●		○
8	密封性试验	5.9	●	●		○
9	谐振频率及等效串联电感 (L_{esl}) 测量	5.10		●		
10	自愈性试验	5.12		●		○
11	冲击放电试验	5.13		●		○
12	套管和引出导电螺杆强度试验	5.14		●		
13	热稳定性试验	5.15		●		
14	耐久性试验	5.16		●		
15	破坏试验	5.17		●		
16	恒定湿热试验	5.18		●		
17	机械试验	5.19		●		

●表示应进行该项试验；○表示现场有试验条件下应进行该项实验。

5.3 外观检查

电容器表观应光洁、无明显划伤及凹痕；标志应清洗牢固，内容完整。

用目视法观察外观质量和标志。

5.4 外形尺寸和重量

电容器的外形结构、安装尺寸和重量应符合制造方与购买方签定的相关要求。

使用量具和衡器，测量外形尺寸，称量产品重量。

5.5 电容和损耗角正切 ($\tan\delta$) 测量

5.5.1 测量程序

电容应在 $0.9 \sim 1.1$ 倍 $U_N/\sqrt{2}$ 电压和 50 Hz 的频率下进行测量，采用电桥法测量。

所用方法应足以排除由谐波或由被测电容器的外在附件，诸如测量电路中的电抗器和旁路电路所导致的误差。

应给出测量方法，电容的测量准确度应优于 0.2%， $\tan\delta$ 测量准确度应优于 10%。

5.5.2 电容偏差

如果没有其他规定，所测得的电容与额定电容之差不应超过额定值的 $-3\% \sim +3\%$ 。

5.5.3 电容一致性

如果没有其他规定，同一批次所测得的电容偏差最大值与最小值之差不应超过3%。

5.5.4 损耗角正切($\tan\delta$)要求

如果没有其他规定，所测得的损耗角正切值($\tan\delta$)不应超过0.0005。

5.6 端子间电压试验

电容器端子间应能承受表1规定的试验电压值选取一种，优先采用交流电压试验方法，例行试验施加10 s，型式试验施加1 min。试验期间，不应发生击穿及闪络。

试验电压施加在电容器端子间，逐渐升压至规定值，并保持至规定时间。

在端子间电压试验前后应进行电容和 $\tan\delta$ 测量，均应满足5.5.2和5.5.4的要求，且电容变化不应超过 $\pm 0.5\%$ ，（明确一个指标）损耗角正切的增加不应大于初始值的20%。

表2 端子间的试验电压

工频交流试验电压(方均根值)	1.5 U_N
直流试验电压	2.15 U_N

5.7 端子与外壳间交流电压试验

试验电压施加在电容器连接在一起的端子与外壳之间，例行试验施加10 s，型式试验施加1 min。试验电压为 $U_t = 2U_i + 1000 V$ ，其中 U_i 为端子与外壳间绝缘电压，单位为V。

电容器的绝缘电压应由用户提出。如果没有其他规定，绝缘电压等于电容器的额定电压(U_N)的 $1/\sqrt{2}$ 。试验期间，不应发生击穿及闪络。

对于一个端子永久连接到外壳的单元应采用制作双或多端子产品的方式验证此单元的端子与外壳间交流电压试验(型式试验)。

注3：双或多端子产品应与试品结构、材质、工艺等一致，仅仅是端子与外壳不相连的验证性产品。

5.8 局部放电试验

采用电测法测量，用正弦交流电压施加在电容器端子与外壳间，加电压直到 $1.75U_N/\sqrt{2}+1000V$ (方均根值)，并且保持此电压1 min。然后降低电压至 $1.5U_N/\sqrt{2}+1000V$ (方均根值)，并保持此电压至少2 min。在最后1 min所测量的局部放电量不应大于10 pC，局部放电熄灭电压不应低于 $1.31U_N/\sqrt{2}$ (方均根值)。

对于一个端子永久连接到外壳的单元应采用制作双或多端子产品的方式验证此单元的端子间局部放电试验(型式试验)。

注1：双或多端子产品应与试品结构、材质、工艺等一致，仅仅是端子与外壳不相连的验证性产品。

5.9 密封性试验

按GB/T 2423.23试验Qm的试验方法2或者试验Qc进行。应对单元进行一项能够有效检测出外壳和端子渗漏的试验。

对于内部填充气体含六氟化硫等可示踪的气体的产品例行试验中可以按照Qm的试验方法2：探针试验，即将探漏器探针靠近样品并在其表面移动，如果示踪气体达到探漏器阈值就给出一个信号，这样就可以找出泄漏部位。型式试验中可以按照Qm的试验方法1：累计试验，即用一种失踪气体将待测样品内腔预先加压，经过规定时间使漏率达到稳定。将密封罩将整个样品(或它表面的一部分)罩住，在测试

期间,从任何缺陷处漏出来的气体聚集在密封罩内,然后测量采集到的气体并计算出漏率。对于试验单元,年泄漏率要求小于1%。

对于内部填充气体为氮气等无法示踪的气体时,采用试验Qc的试验方法2:将试验样品浸没在保持高温的试验液体中。即将加了湿润剂的水加热到最高外壳温度+5℃的温度,将试品浸渍在水中不少于10min。本试验的失效依据,通常是在试验持续时间内的任何时刻,出现明显的连续气泡、两个以上的大气泡或体积逐渐变大的附着气泡。

对于固体浸渍的产品,应采取有效的手段验证外壳的密封性,其试验方法与制造商协商一致。

5.10 谐振频率及等效串联电感(L_{esl})测量

按GB/T 26215-2023中的5.11 谐振频率测量的试验方法及要求。

5.11 绝缘电阻测量

电容器的绝缘电阻值应由制造方与购买方协商确定。

电容器绝缘电阻宜使用绝缘电阻测试仪进行测量,测量端子与外壳间的绝缘电阻大小。

对于一个端子永久连接到外壳的单元应采用制作双或多端子产品的方式验证此单元的绝缘电阻(型式试验)。

注2:双或多端子产品应与试品结构、材质、工艺等一致,仅仅是端子与外壳不相连的验证性产品。

5.12 自愈性试验

该试验仅适用于自愈式电容器,只要被试元件与单元中的元件相同且元件条件与单元中的元件条件相似,试验可在完整单元上、独立元件上或者作为单元部件的一组元件上进行。

电容器单元或元件应承受历时1min的直流耐压试验,其电压值为1.1倍非周期冲击电压(U_S),或等于例行试验电压 $2.15U_N$,选两者之中较高者,在此期间不允许发生自愈。

起始电压为上述直流耐压值,缓慢地升高电压直到从试验开始起发生了5次自愈为止,或直到电压达到 $3.5U_N$ 。

如果电压达到 $3.5U_N$ 时,发生的自愈仍少于5次,由制造方选择,增加电压继续试验,直到得到5次自愈;或中断试验,而在另一相同的电容器上重新进行,重复只能一次。

应采用超声探测等仪器可靠探测自愈的发生。

试验前后应进行电容及损耗角正切($\tan\delta$)测量,电容变化不应超过 $\pm 0.5\%$,损耗角正切的增加不应大于初始值的20%。

5.13 短路放电试验

采用直流电对电容器单元充电,然后通过尽可能短的装置放电,外部放电回路等效电阻应小于 $30m\Omega$,两次放电间隔控制在10s内,连续进行1000次充放电。在放电试验后应按例行试验参数对电容器进行端子间电压试验(见5.7)。

电容器应能承受不小于 U_N 下的1000次短路放电试验。在放电试验前和端子间电压试验后按5.5.1的规定测量电容和损耗角正切($\tan\delta$)。试验前后电容变化不应超过 $\pm 1\%$,损耗角正切($\tan\delta$)的增加不应大于初始值的20%。

注3:充放电不允许中断,如果中断须重新计,重新开始。

5.14 套管和引出导电螺杆强度试验

按GB/T 2423.60中试验Ud:转矩试验方法进行,按照转矩严酷等级1进行试验。

对于超过上述严酷等级的转矩,按照制造方和购买方的协议执行。

5.15 热稳定性试验

应将试验单元放入加热箱中，单元的间距按照阀组安装间距要求，连接好引出线并做好试验箱的保温和绝缘。每台电容器外壳接近顶部处安装一热电偶供测量试品温度用。箱内冷却温度应保持在（67±2）℃。

将试品电容器及阻尼电阻按照换流阀阻尼回路接线方式连接组成被测试验回路放置在加热箱中，然后通过引线接入到试验电源，在电容器的所有组成部分达到冷却介质的温度以后，通过调整试验电源的参数，使得试品电容的电流为最大方均根电流。典型的晶闸管级阻尼吸收回路见附录A，应注意对于不同类型的吸收回路电容器应采用合适的晶闸管级试验回路。

试验时间不短于48h，在最后2h内，应至少测量4次壳体温度。在整个2 h内温升变化量不应超过1K。试验前后，应在5.1条规定的温度范围按5.5.1测量电容及损耗角正切（ $\tan\delta$ ），两次测量值应校正到同一介质温度下的电容值，两次测量值之差不应超过±1%，损耗角正切的增加不应大于初始值的20%。

如果观察到较大的变化，则试验要继续进行直到在最后2 h内的连续4次测量满足上述要求为止。

注1：试验电源可以采用方波电源或其它类型电源模拟晶闸管工作时的工况。

5.16 耐久性试验

5.16.1 一般要求

耐久性试验旨在验证在实际运行条件下电容器的性能。

耐久性试验应在一个完整单元上进行。

5.16.2 试验前单元的预处理及初始值测量

a) 试验前单元的预处理

单元应在温度不低于+10 ℃的静止空气中耐受 $1.1U_N$ 的电压，历时16 h~24 h。

在预处理后，将单元放置在通风环境下历时12 h冷却并达到热平衡。

b) 初始电容及损耗角正切测量

单元应按5.5.1进行测量，并记录测量期间的环境温度。

5.16.3 试验方法

应将试验箱的温度加热至接近于试验的温度。

应将试验单元放入加热箱中，单元的间距按照阀组安装间距要求，连接好引出线并做好试验箱的保温和绝缘。当单元达到试验温度时，要调节冷却/加热条件以确保试验温度下能够达到稳定。在这一初始稳定之后，冷却/加热温度不允许变化。

在最大连续运行条件下，即排除短时和异常条件，试验温度应保持在 $72\pm2^\circ\text{C}$ （后期根据试验方法来确定）。

将试品电容器及阻尼电阻按照换流阀阻尼回路接线方式连接组成被测试验回路放置在加热箱中，然后通过引线接入到试验电源，在电容器的所有组成部分达到试验温度以后，通过调试试验电源的参数，使得试品电容的电压调整到试验电压 U_t （峰值电压等于 U_N 交流正弦电压乘以加速因数），将电流调整到试验电流 I_t （峰值电流等于 \hat{I} 最大峰值电流乘以加速因数）进行试验，电容器两端的电压和电流可通过传感器获取。典型的晶闸管级阻尼吸收回路见附录A，应注意对于不同类型的吸收回路电容器应采用合适的晶闸管级试验回路。可由制造商根据表3选取不同的加速因数/试验时间。

注1：试验电源可以采用方波电源或其它类型电源模拟晶闸管工作时的工况。

表 3 耐久性试验

试验电压 U_t	试验电流 I_t	温度	持续时间
$1.35U_N$	$1.4\hat{I}$	试验温度	500 h
$1.25U_N$	$1.4\hat{I}$	试验温度	1000 h

注2：此项试验中的条件与使用条件有所不同，例如，50 Hz或60 Hz可用于所有交流电容器。
注3：如果外壳温度超过最高运行温度，则可使用附加冷却。

5.16.4 最终电容和 $\tan\delta$ 测量

在完成耐久性试验后的两天内，按照5.5.1进行测量。最终测量的环境温度与初次测量记录的环境温度偏差应在 ± 2 °C范围内。

5.16.5 验收准则

电容值测量之差不应大于初始值的 $\pm 3\%$ ，损耗角正切的增加不应大于初始值的20%，且在额定容量偏差及损耗角正切值要求范围内。如果电容器试验失败，应重复试验且不允许再次失败。

5.17 破坏试验

按GB/T 26215-2023中的5.17破坏试验的方法及要求。

对于金属箔电容器，可能上述方法一直不能损坏电容器，可以采取人工穿刺或提前破坏电介质等方法加速损坏。

5.18 恒定湿热试验

恒定湿热试验（试验Cab）应按照GB/T 2423.3进行，严酷等级为：温度 40 °C ± 2 °C，相对湿度93% $\pm 3\%$ ，持续时间10 d。在此项试验后，应分别按照5.6、5.7中例行试验要求进行端子间电压试验和端子与外壳间交流电压试验，电容变化不应大于1%，损耗角正切（ $\tan\delta$ ）的增加不应大于初始值的20%。

5.19 机械试验

按GB/T 2423.5和GB/T 2423.10进行。在常温、常压下，把试品用夹具安装在试验台上，分别按三个相互垂直的方向（X、Y、Z）进行振动（正弦）、冲击试验。

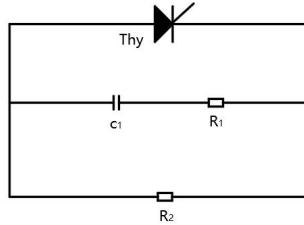
按照GB/T 2423.10 试验Fc振动（正弦）及下列严酷等级：试验频率为 10 Hz ~ 150 Hz，最大位移幅值为 0.15 mm，加速度为 20 m/s 2 ，在三个相互垂直的方向进行振动试验，每个轴方向扫描循环20次，每个轴方向试验持续时间为 2 h 30 min。

按照GB/T 2423.5试验Ea冲击及下列严酷等级：脉冲形状为半正弦波，峰值加速度为 150 m/s 2 ，脉冲持续时间为 11 ms，在三个相互垂直的方向进行冲击试验，冲击次数：18次（三个相互垂直的方向正向和反向各3次）。

试验后，应分别按照5.6、5.7中例行试验要求进行端子间电压试验和端子与外壳间交流电压试验，电容变化不应大于 0.5% ，损耗角正切（ $\tan\delta$ ）的增加不应大于初始值的20%。

附录 A
(资料性)
典型的晶闸管级吸收回路

A. 1 吸收回路 1

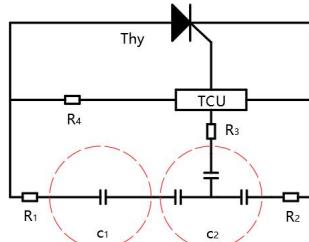


图中：

- Thy ——晶闸管；(修改成实际图)
C1 ——阻尼吸收电容；
R1 ——阻尼吸收电阻；
R2 ——一直流均压电阻。

图 A. 1 典型的晶闸管级吸收回路 1

A. 2 吸收回路 2



图中：

- Thy ——晶闸管；
C1 ——阻尼吸收电容1；
C2 ——阻尼吸收电容2；
R1 ——阻尼吸收电阻1；
R2 ——阻尼吸收电阻2；
R3 ——TCU取能电阻；
R4 ——一直流均压电阻；
TCU ——晶闸管控制单元；

图 A. 2 典型的晶闸管级吸收回路 2

参 考 文 献

- [1] GB/T 13498—2017 高压直流输电术语
 - [2] GB/T 36559—2021 高压直流输电用晶闸管阀
-