

ICS 号 01.040.29
中国标准文献分类号 K46

团 体 标 准

T/CPSS 1005—2019

中压链式静止无功发生器

Medium voltage chain-circuit static var generator

2019-07-31 发布

2019-08-01 实施

中国电源学会 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	2
4 型号命名与产品分类	4
4.1 型号命名	4
4.2 产品分类	5
5 功能要求	5
5.1 控制功能要求	5
5.2 保护功能要求	6
5.3 监测与通信功能要求	6
5.4 人机交互功能	6
6 技术要求	7
6.1 使用条件	7
6.2 结构与导体	7
6.3 性能要求	7
6.4 安全防护要求	9
6.5 绝缘耐压	10
6.6 温升限值	11
6.7 电磁兼容性	11
6.8 电磁发射	12
7 试验方法	12
7.1 试验条件	12
7.2 外观与结构检查	12
7.3 防护等级检验	12
7.4 绝缘性能试验	12
7.5 保护功能试验	13
7.6 控制模式试验	14
7.7 运行性能试验	14
7.8 电磁兼容性试验	16
7.9 电磁发射试验	17
8 检验规则	17
8.1 检验分类	17
8.2 检验项目	17
8.3 出厂检验	17

8.4	型式检验.....	17
8.5	现场试验.....	19
9	标志、包装、运输、贮存.....	19
9.1	标志和随机文件.....	19
9.2	贮存.....	19
图 1	响应时间定义图.....	4
图 2	链式 SVG 型号命名.....	4
图 3	试验电路.....	15
表 1	链式 SVG 的特征代码.....	5
表 2	恒无功控制模式稳态运行下稳态控制精度要求.....	8
表 3	链式 SVG 额定损耗率限值要求.....	8
表 4	不同电压水平下风电场中链式 SVG 运行时间要求.....	9
表 5	不同电压水平下光伏电站中链式 SVG 运行时间要求.....	9
表 6	控制系统的介电强度试验电压.....	11
表 7	一次回路的介电强度试验电压.....	11
表 8	链式 SVG 温升要求表.....	11
表 9	检验项目.....	18

前 言

本标准按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本标准由中国电源学会提出并解释。

本标准起草单位：武汉武新电气科技股份有限公司、新风光电子科技股份有限公司、思源清能电气电子有限公司、株洲变流技术国家工程研究中心有限公司、国网江苏省电力有限公司电力科学研究院、云南电网有限责任公司电力科学研究院、广西电网有限责任公司电力科学研究院、山东山大华天科技集团股份有限公司、北京星航机电装备有限公司、中国科学院等离子体物理研究所、威凡智能电气高科技有限公司、安徽大学、靖江市普瑞电力科技有限公司、国网安徽省电力有限公司电力科学研究院、中国电力科学研究院有限公司武汉分院、国网浙江省电力公司电力科学研究院、安徽华电工程咨询设计有限公司、上海电气电力电子有限公司、国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司、国网江西省电力有限公司电力科学研究院、广东电网有限责任公司电力科学研究院、国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院、国网河北省电力有限公司电力科学研究院、国网山西省电力公司电力科学研究院、亚洲电能质量产业联盟、国网北京市电力公司电力科学研究院、清华大学、同济大学电子与信息工程学院、广州供电局有限公司电力试验研究院、华中科技大学电气与电子工程学院。

本标准主要起草人：孙林波、胡顺全、张秀娟、龙礼兰、陈兵、邢超、周柯、王德涛、古金茂、吴亚楠、刘松斌、张茂松、张乔龙、丁津津、郭浩洲、陈峰、叶金根、周悦、王珊珊、孙旻、刘正富、李胜辉、周文、常潇、王语洁、王海云、耿华、向大为、王勇、戴珂。

本标准为首次发布。

中国电源学会 CPSS 台
全国团体标准
全国 T / CPSS 团体标准

中压链式静止无功发生器

1 范围

本标准规定了中压链式静止无功发生器（以下简称链式SVG）的术语和定义、型号命名及产品分类、功能要求、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输与贮存等要求。

本标准适用于频率50Hz、电压3kV~35kV的电力系统中，采用三相链式电压源变流器组成的静止无功发生器。

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 156—2017 标准电压
- GB/T 3797—2016 电气控制设备
- GB/T 3859.1—2013 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
- GB/T 4208—2017 外壳防护等级（IP代码）
- GB 4824—2013 工业、科学和医疗（ISM）射频设备 骚扰特性 限值和测量方法
- GB 5226.1—2008 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
- GB/T 7251.1—2013 低压成套开关设备和控制设备 第1部分：总则
- GB/T 12668 调速电气传动系统
- GB/T 13384—2008 机电产品包装通用技术条件
- GB/T 13422—2013 半导体变流器 电气试验方法
- GB/T 14715—2017 信息技术设备用不间断电源通用规范
- 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—2008 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 17626.11—2008 电磁兼容 试验和测量技术 电压暂降、短时中断和电压变化的抗扰度试验
- GB/T 17626.12—2013 电磁兼容 试验和测量技术 振铃波抗扰度试验
- GB/T 19963—2011 风电场接入电力系统技术规定
- GB/T 19964—2012 光伏电站接入电力系统技术规定
- GB/T 24343—2009 工业机械电气设备 绝缘电阻试验规范
- GB/T 26218.1—2010 污秽条件下使用的高压绝缘子的选择和尺寸确定
- GB/T 29481—2013 电气安全标志
- GB 50060—2008 3kV~110kV高压配电装置设计规范
- DL/T 1215.1 链式静止同步补偿器 第1部分：功能规范
- DL/T 1216—2013 配电网静止同步补偿装置技术规范

- JB/T 5777.2—2002 电力系统二次电路用控制及继电保护屏(柜、台)通用技术条件
NB/T 42043—2014 高压静止同步补偿装置
NB/T 42057—2015 低压静止无功发生器

3 术语和定义

NB/T 42057—2015、DL/T 1215.1、T/CPSS 1003—2018界定的术语和定义以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，重复列出NB/T 42057—2015、DL/T 1215.1、T/CPSS 1003—2018中的一些术语和定义。

3.1

静止无功发生器 static var generator (SVG)

由并联接入电力系统的电压源变流器构成的无功功率补偿装置。其输出的容性或感性无功电流连续可调，且在可运行系统电压范围内与系统电压无关，又称为静止同步补偿装置。

3.2

链式静止无功发生器 chain-circuit static var generator

采用链式电压源变流器拓扑，由多个单相全桥电压源变流器级联组成，无公共的直流母线；一般由电抗器（或启动柜）、功率柜和控制系统三部分组成，称链式静止无功发生器。

3.3

功率单元 power cell

链式SVG中的一个基本变流模块，一般包含变流功率器件及控制、触发和保护单元。

3.4

换流链 converter chain

由多个功率单元级联组成，实现完整换流功能的组装换流设备。

3.5

恒无功控制 constant reactive power control

使静止无功发生器运行在给定无功功率状态的控制模式。

3.6

电压控制 voltage control

使目标点电压维持在允许偏差范围内的控制模式。

[T/CPSS 1003—2018，定义3.3]

3.7

无功功率补偿控制 reactive power compensation control

使目标点无功功率维持在不超过设定水平的控制模式。

[NB/T 42057—2015，定义3.16]

3.8

功率因数控制 power factor compensation control

使目标点功率因数维持在设定水平的控制模式。

[T/CPSS 1003—2018, 定义3.5]

3.9

稳态控制精度 stable control accuracy

链式SVG在不同控制模式下稳态运行时,其控制对象的实际输出值与设定目标值之间偏差绝对值相对于设定目标值的百分比。

公式(1)计算相应值。

$$k = \left| \frac{A_g - A_s}{A_s} \right| \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

恒无功控制模式下,

式中:

A_g ——实际输出的无功功率,单位为乏(var);

A_s ——设定的无功功率目标,单位为乏(var)。

电压控制模式下,

式中:

A_g ——实际控制后的电压,单位为伏[特](V);

A_s ——设定的电压控制目标,单位为伏[特](V)。

无功功率补偿控制模式下,

式中:

A_g ——补偿后的目标点无功功率,单位为乏(var);

A_s ——设定的无功功率补偿目标,单位为乏(var)。

功率因数控制模式下,

式中:

A_g ——实际补偿后的位移功率因数(即基波功率因数);

A_s ——设定的位移功率因数(即基波功率因数)控制目标。

3.10

补偿响应时间 response time of compensation

链式SVG处于稳态运行,在链式SVG额定容量运行范围内,从补偿对象开始突变到链式SVG输出达到目标值的90%所需要的时间,且期间没有产生过冲(见图1)。

3.11

阶跃响应时间 step response time

链式SVG处于稳态运行,在额定容量运行范围内,链式SVG输入阶跃控制信号后,输出达到目标值的90%所需要的时间,且期间没有产生过冲(见图1)。

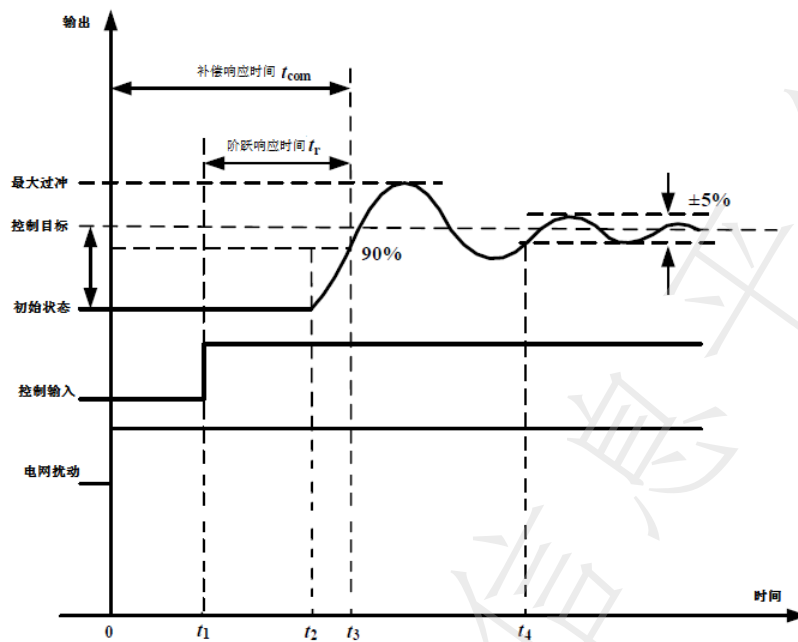


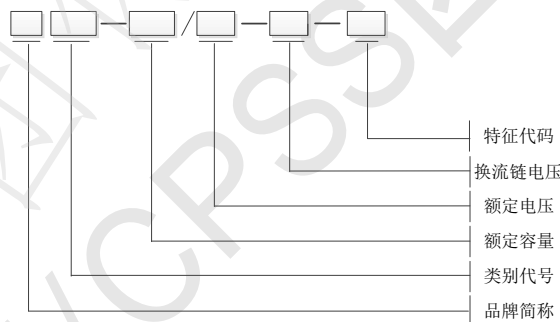
图1 响应时间定义图

注：参考DL/T 1215.1。

4 型号命名与产品分类

4.1 型号命名

链式SVG的全型号由品牌简称、类别代号、额定容量、额定电压、换流链电压、特征代码组成。其具体表述形式如图2所示。



说明：

品牌简称由生产厂家自行确定，一般为1~3个大写英文字符。

类别代号为SVG，表示为链式SVG。

额定容量，单位为兆乏（Mvar）。

额定电压指链式SVG并网点电压等级，单位为千伏[特]（kV）。

换流链电压指链式SVG换流链的端电压等级，单位为千伏[特]（kV）。

特征代码由2~3个字母组成，表示链式SVG的有关特征，具体内容见表1。

图2 链式 SVG 型号命名

表1 链式 SVG 的特征代码

第一个字母		第二个字母			第三个字母		
Y	D	A	W	T	R	C	H
三相星形	三相角形	强迫风冷	液冷	其他方式	可移动式	集装箱式	户内式

4.2 产品分类

4.2.1 安装类别

链式SVG按换流链安装方式可分为户内式、集装箱式、可移动式等。

4.2.2 电气接线方式

链式SVG按主电路电气接线方式，可分为三相星接方式、三相角接方式。

4.2.3 额定电压

按照GB/T 156—2017规定的标准电压，确定链式SVG的额定电压序列。接入电网标称电压值(U_n): 3kV、6kV、10kV、35kV。特殊要求由链式SVG制造方和购货方协商确定。

4.2.4 额定容量

额定容量可选取范围：0.5 Mvar~120 Mvar。特殊要求由链式SVG制造方和购货方协商确定。

4.2.5 冷却方式

链式SVG按冷却方式分为强迫风冷（含热管冷却）方式、液冷方式等。

5 功能要求

5.1 控制功能要求

5.1.1 系统无功控制功能

在恒无功控制、无功功率补偿或功率因数控制模式下运行，链式SVG在其补偿容量范围内控制系统无功或功率因数达到设定的参考值，实现稳态无功功率、无功电流或功率因数控制的功能。

5.1.2 电压控制功能

在电压控制模式下运行，链式SVG应能在其补偿容量范围内控制电网公共连接点或目标考核点电压达到设定的参考范围，实现电压稳定控制功能。

5.1.3 谐波补偿控制功能

该项为可选功能，在谐波补偿控制模式下运行，链式SVG应能在其补偿容量范围内补偿系统谐波分量，实现电网公共连接点或目标考核点的电流/电压谐波补偿功能。

5.1.4 三相不平衡补偿功能

该项为可选功能，在三相不平衡补偿控制模式下运行，且在补偿容量范围内，链式SVG应能在控制范围内补偿系统不平衡分量，实现电网公共连接点或目标考核点的电流/电压不平衡补偿功能。

5.1.5 电压波动和闪变抑制功能

该项为可选功能，链式SVG应能通过快速控制电网公共连接点或目标考核点的电压，补偿次同步分量，实现电压波动和闪变抑制功能。

5.2 保护功能要求

5.2.1 功率单元保护

功率单元应具备以下保护：直流侧过电压保护、通信异常保护、过温保护等。

5.2.2 控制失电保护功能

链式SVG控制系统应具备能在外部控制电源突然失电瞬间保护功率单元而封锁驱动脉冲的功能。

5.2.3 通电自检和告警功能

链式SVG控制系统通电时，控制系统应具有自我检测功能，自检异常时闭锁全部操作，并发出告警信息。

5.2.4 系统过流、过压、欠压和不平衡保护

链式SVG发生系统过流、过压、欠压和不平衡时，控制系统应具有自我检测功能，自检异常时闭锁全部操作，并发出告警信息。

5.2.5 过温保护

链式SVG应具有冷却系统过温保护功能。

5.3 监测与通信功能要求

链式SVG应具备与上位机通信的功能，并可远程监控链式SVG的工作状态。通信接口及通信协议应符合下列规定：

——当物理接口为RS485接口时，通信协议宜采用标准MODBUS RTU通讯协议。

——当物理接口为以太网接口时，通信协议宜为IEC 60870-5-104通讯规约。

——自动电压控制（AVC）通信功能：链式SVG控制系统应能接受电网调度端或升压站监控系统发出的无功电压控制指令，自动调节其发出或吸收的无功功率，实现对并网点电压的控制功能。链式SVG的控制系统应与变电站综合自动化通讯联网，接受变电站综合自动化的AVC的控制指令（链式SVG必须能通过AGC/AVC实现远方控制调节），即具有接收和执行变电站综合自动化和电网公司下达的指令所需的四遥（遥控、遥信、遥测、遥调）功能。

注1：通信配线方式：建议采用多芯屏蔽通讯电缆，RS485通讯建议采用双绞线或光纤。

注2：如购货方需链式SVG具备IEC 61850通信规约、多套无功发生器并联运行时，应由链式SVG制造方和购货方协商确定。

5.4 人机交互功能

链式SVG应具有友好的人机界面，提供如下功能：

——工作状态监视功能。

——系统运行参数和系统状态监视功能，能显示主接线图、目标线路的电压、电流、功率因数、无功功率、有功功率，还能显示链式SVG输出侧的电压、电流，显示链式SVG输出电流的波形，显示各个链式功率单元的工作状态和直流电压值。

——运行参数和保护定值设置功能。

- 事件显示与记录功能，通过实时和历史数据、曲线显示，显示各类保护动作及故障告警等信息。
- 链式 SVG 应具有 6 个月以上数据存储功能。

6 技术要求

6.1 使用条件

6.1.1 环境条件

链式SVG应满足以下使用环境要求：

- 环境空气温度： $-25\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 相对湿度：15%~90%（装置内既不能凝露，也不能结冰）；
- 周围介质无爆炸及易燃、易爆危险，无腐蚀性气体，无导电尘埃；
- 海拔高度不超过 2000m（超过则可降额使用）；
- 污秽条件：GB/T 26218.1 中规定的 C 级污秽。

注：如要求与上述任一环境条件不符的条件下使用时，应由链式SVG制造方和购货方协商确定。

6.1.2 电气条件

本标准对中压链式SVG的控制系统供电和冷却系统供电的要求包括：

- 链式 SVG 的控制系统电源应满足：交流电源应为 50Hz 单相额定电压 220V 或三相额定电压 380V，电源额定容量请参考随机运输的配线图，且电压总畸变率不大于 8%；直流电源为额定电压 110V 或 220V，且电压纹波系数不大于 5%。
- 冷却系统交流动力电源应满足额定电压 380V、电压偏差为额定电压的 $-20\%\sim+20\%$ 。

6.2 结构与导体

6.2.1 主电路接线

链式SVG连接导线应符合JB/T 5777.2—2002中5.5的规定。主电路连接线的长期载流能力，不应小于1.5倍的额定电流。连接线的连接应牢固，不应自由晃动。布线应整齐美观，连接线的额定电压不应低于相应电路的额定工作电压。

产品绝缘导线的敷设和连接应符合JB/T 5777.2—2002中5.6的规定。其他要求如下：

- 产品的一次大电流电路的连接应尽量使用铜排连接，铜排处理工艺为酸洗或搪锡，使用导线连接时除导线截面满足要求外，大电流导线的布线应考虑导线的通风散热，避免多根导线成束走线。
- 链式 SVG 的布线应将一次二次分开、强电弱电分开，以避免强弱电之间的电磁耦合作用。

6.2.2 结构外观要求

满足GB/T 3797中4.1和4.2的要求，包装好的链式SVG外观和结构应满足：

- 链式 SVG 壳体外表面油漆不得有起泡、裂纹等缺陷。
- 铭牌参数标志清晰，数据正确。
- 元器件安装布局应经济合理、安全可靠、维修方便，需手动操作的器件应操作灵活、无卡住或操作力过大现象。
- 所选用的指示灯、按钮、导线及母线颜色应符合 GB 5226.1—2008 要求。

6.3 性能要求

6.3.1 输出电流畸变率

链式SVG工作在非谐波补偿模式下，且并网点母线谐波电压满足GB/T 14549-93限值要求，在额定容量运行时输出电流总谐波畸变率应小于2%，10%额定容量运行时输出电流总谐波畸变率应小于20%。

6.3.2 稳态控制精度

链式SVG的控制精度应满足：

- 恒无功控制模式稳态运行下，无功输出与设定值之间的偏差应符合表2规定。
- 电压控制模式稳态运行下，控制目标点实际电压与设定值之间偏差的绝对值不大于设定值的1%。
- 功率因数控制模式稳态运行下，控制目标点功率因数波动范围不应大于设定值的3%。

表2 恒无功控制模式稳态运行下稳态控制精度要求

输出无功功率/额定功率	无功输出与设定值之间的偏差的绝对值
20%~50%	≤（5%的设定值）
50%~110%	≤（2.5%的额定值）

6.3.3 动态响应时间

链式SVG动态响应时间应满足：在额定容量运行条件下补偿响应时间不大于30ms，阶跃响应时间不大于20ms的要求。

6.3.4 最小运行电流

链式SVG在无功率补偿模式下空载运行的最小输出电流应小于 I_N 的3%（ I_N 为链式SVG输出工频额定电流）， I_N 的3%小于1A则按1A进行要求。

6.3.5 整机额定损耗

针对本标准直挂并网型链式SVG，运行在额定输出（输出感性/容性无功功率）情况下，链式SVG额定损耗率不应超过2.5%（额定损耗率：链式SVG总损耗与额定容量的百分比，包含电抗器、控制保护监测系统、冷却系统等），且额定容量绝对值大于20Mvar情况下，链式SVG额定损耗率不应超过1.5%。

表3 链式SVG额定损耗率限值要求

无功发生器额定容量 Q_N Mvar	额定损耗率限值 %	
	风冷	液冷
$Q_N \leq 3$	2	2.5
$3 < Q_N \leq 20$	1.8	2
$Q_N > 20$	1.2	1.5

6.3.6 噪声

链式SVG在输出额定容量且环境噪声不大于40 dB条件下，其可听噪声水平应满足环保标准要求，距离噪声源水平位置1 m处测得的链式SVG噪声最大值不应大于80 dB。

6.3.7 过载能力要求

链式SVG在额定电压且1.1倍额定电流时应能连续运行，在1.2倍额定电流时可运行时间不应低于60 s。

6.3.8 电压适应性要求

链式SVG的稳态工作电压允许值范围为0.9 p.u.~1.1 p.u.。另外，电网故障或异常引起连接点电压变化，链式SVG应参照GB/T 19963和GB/T 19964要求，满足电网电压适应性要求：

——风电场无功装置电压适应性要求：

- 针对风力发电场，链式SVG宜具备低电压和高电压穿越功能，参照GB/T 19963，满足如表4电压适应性要求。考虑并网点电压变化时，风电场无功动态调整的响应速度应与场站内风电机组高电压穿越能力相匹配，确保在调节过程中风电机组不因高电压而脱网。
- 风电场中链式SVG宜按照表4中的要求运行。

——光伏电站无功装置电压适应性要求

- 针对光伏电站，链式SVG宜具备低电压和高电压穿越功能，参照GB/T 19964，满足如表5的电网电压适应性要求。考虑并网点电压变化时，无功动态调整的响应速度应与光伏电站电压适应性要求相匹配，确保在调节过程中光伏电站不因高电压而脱网，因此链式SVG宜具备高电压和低电压穿越功能，如表5所示电网电压适应性要求。
- 光伏电站内链式SVG建议按照表5中的要求运行。

表4 不同电压水平下风电场中链式SVG运行时间要求

并网点工频电压值 p.u.	运行时间
$0.2 \leq UT \leq 0.9$	不少于风电场低电压穿越持续时间要求
$0.9 < UT \leq 1.10$	连续运行
$1.10 < UT \leq 1.15$	具有每次至少运行5 min能力
$1.15 < UT \leq 1.20$	具有每次至少运行1 min能力
$1.20 < UT \leq 1.30$	具有每次至少运行5 s能力
$1.30 < UT$	具有每次至少运行2 s能力

表5 不同电压水平下光伏电站中链式SVG运行时间要求

并网点工频电压值 p.u.	运行时间
$0.2 \leq UT \leq 0.9$	不少于光伏电站低电压穿越持续时间要求
$0.9 < UT \leq 1.10$	连续运行
$1.10 < UT \leq 1.20$	具有每次至少运行1 min能力
$1.20 < UT \leq 1.30$	具有每次至少运行5 s能力
$1.30 < UT$	具有每次至少运行1 s能力

6.4 安全防护要求

6.4.1 标识

安全标志尺寸与观察距离的关系应满足GB/T 29481—2013要求。

6.4.2 围栏

围栏应符合GB 50060—2008中5.4的要求：

- 对于屋外配电装置，其周围宜设置高度不应低于1500mm的围栏。
- 配电装置中电气设备的栅状遮栏高度不应小于1200mm，栅状遮栏最低栏杆至地面的净距不应大于200mm。
- 配电装置中电气设备的网状遮栏高度不应小于1700mm，网状遮栏网孔不应大于40mm×40mm。围栏门应装锁。

6.4.3 户内设备防护等级

6.4.3.1 户内风冷设备：整机壳体防护等级宜参考GB/T 4208要求，符合IP20规定；

6.4.3.2 户内液冷设备：整机壳体防护等级宜参考GB/T 4208要求，符合IP20规定。

6.4.4 户外设备防护等级

6.4.4.1 户外风冷设备：整机壳体防护等级宜参考GB/T 4208要求，符合IP44及以上规定；

6.4.4.2 户外液冷设备：整机壳体防护等级宜参考GB/T 4208要求，符合IP45及以上规定。

6.5 绝缘耐压

6.5.1 通则

链式SVG的绝缘耐压应符合GB/T 24343—2009中第六章的要求。

6.5.2 控制部分绝缘电阻

链式SVG控制系统的带电部分和非带电金属部分及外壳之间，以及电气上无联系的各电路之间，分别用开路电压500V的兆欧表测量其绝缘电阻值。

正常试验大气条件下，各回路绝缘电阻应不少于10MΩ。

6.5.3 一次主回路绝缘电阻

链式SVG一次主回路和地之间用开路电压2500V的兆欧表测量其绝缘电阻值。

正常试验大气条件下，绝缘电阻应不少于1000Ω/V。

6.5.4 介电强度

6.5.4.1 控制部分介电强度

在正常试验大气条件下，链式SVG控制系统部分能承受频率为50Hz，历时1min工频耐压试验无击穿闪络及元器件损坏现象。

试验电压值按表6进行选择。

表6 控制系统的介电强度试验电压

单位为伏[特]		
被试电路	绝缘电压等级	试验电压
交流回路—地	<250	2000
模拟量—地	$60 < U \leq 250$	1000

6.5.4.2 一次主回路部分介电强度

链式SVG的一次主回路部分满足表7绝缘要求。

表7 一次回路的介电强度试验电压

单位为千伏[特]		
电压等级	设备的最高电压 U_m (有效值)	额定短时工频耐受电压 (有效值)
3	3.6	10
6	7.2	25
10	12	35
35	40.5	85

6.6 温升限值

温升限值应符合GB/T 7251.1—2013中9.2的要求。

连续运行试验和温升试验同时进行，链式SVG额定连续运行2h，控制系统（包括PLC、人机界面、继电器及控制电源等）、电抗器及散热风机等运行正常；产品达到热平衡后的温升不应超过表8中的相应要求。

表8 链式 SVG 温升要求表

元器件或部位	温升值 K
电力电子器件散热器	≤40
变压器、电抗器	≤80 (B级及以下绝缘强度情况)
铜-铜	≤50
铜搪锡-铜搪锡	≤60
可接触的外壳和覆板：金属表面	≤30
可接触的外壳和覆板：绝缘表面	≤40

6.7 电磁兼容性

6.7.1 静电放电抗扰度

链式SVG控制系统中各部件应具有承受GB/T 17626.2—2006中试验等级4的放电试验能力。

6.7.2 射频电磁场辐射抗扰度

链式SVG控制系统应具有承受不低于GB/T 17626.3—2016中试验等级为3的射频电磁场辐射干扰试验的能力。

6.7.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

链式SVG控制系统的电源、接地、信号和控制端口应具有承受不低于GB/T 17626.4—2018中试验等级4的电快速瞬变脉冲群干扰试验的能力。

6.7.4 浪涌(冲击)抗扰度

链式SVG控制系统的电源、接地、信号和控制端口应具有承受不低于GB/T 17626.5—2008中试验等级4的浪涌冲击抗扰度试验的能力。

6.7.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度

链式SVG控制系统应具有承受不低于GB/T 17626.6—2017中试验等级3的射频场感应的传导骚扰试验的能力。

6.7.6 电压暂降抗扰度

链式SVG控制系统应依据GB/T 17626.11—2008中规定,针对电源端口进行以下等级试验:

——暂降电压: 100% UT 、60% UT 、30% UT ;

——对应持续时间: 10 ms、200 ms、500 ms。

注: UT 代表设备的额定电压。

6.7.7 振铃波抗扰度

链式SVG控制系统应具有承受不低于GB/T 17626.12—2013中规定的试验等级3的100 kHz振铃波抗扰度试验的能力。

6.8 电磁发射

6.8.1 传导骚扰限值

链式SVG运行过程中,其控制系统电源线及端子所产生的传导电压干扰应符合GB 4824规定的A类限值要求。

6.8.2 辐射骚扰限值

链式SVG在运行过程中产生的电磁辐射干扰应符合GB 4824规定的A类限值要求。

7 试验方法

7.1 试验条件

7.1.1 环境要求

除非另有规定,试验在以下条件下进行:

——温度: 5℃~40℃;

——相对湿度: 45%~75%;

——气压：86kPa~106kPa；

——海拔：1000m及以下。

7.1.2 试验用电源要求

试验用电源频率应在50Hz±2.5Hz范围之内。

7.2 外观与结构检查

检查链式SVG的结构、外观及其元器件的安装和配线，应符合6.2.1的规定。

7.3 防护等级检验

检查链式SVG的防护与安全标识，应满足6.4的规定。

7.4 绝缘性能试验

7.4.1 试验内容

试验前将不易承受电压的避雷器等拆除，试验项目包括：

——绝缘电阻测试；

——工频耐压试验；

——雷电冲击试验；

——换流链端间耐压试验。

7.4.2 绝缘电阻测试

试验前短接A、B、C三相，按GB/T 3859.1中的方法试验。测量结果应符合6.5的规定。

7.4.3 工频耐压试验

试验前分别将每相换流链各链端间及外壳短接。相对地、相间应能承受表7中规定的工频电压，持续时间1min。试验中无击穿和闪络现象，视为试验通过。

7.4.4 雷电冲击试验

试验波形：1.2/50μs波形，试验电压按表7的规定执行。试验应在相对地以及相间分别施加5次正极性和5次负极性雷电冲击。试验中无击穿和闪络现象，视为试验通过。

7.4.5 换流链间耐压试验

试验时，链式SVG控制回路带电，短接冗余链节，在每相换流链端间分别进行。在换流链两端缓慢施加到6.5.3规定的工频电压，持续时间1min，试验中无击穿、闪络和损坏性放电现象，视为试验通过。

为保证试验安全，换流链的一端可接地，试验加电压过程需注意监控充电电流和各链节直流电压；对于他励启动的链式SVG，端间耐压试验也可通过控制他励供电电压使换流链自行输出电压至规定值。

7.5 保护功能试验

7.5.1 概述

保护功能检验时，模拟故障，确认保护正确动作，故障显示与故障项目相符，驱动信号可靠封锁。

进行各种保护和警告功能验证试验时，应该在主电路上模拟被保护设备的异常状态，或者在二次回路上设定等价故障信号。保护装置在整定范围内应能正常动作且保护动作值与保护定值间误差小于 $\pm 5\%$ 。试验次数不少于3次。保护和警告功能应符合5.2的规定。

7.5.2 输出过流保护

调节输出电流模拟量从小于保护动作值开始，增加至达到保护动作值，链式SVG运行应符合5.2.4的规定。

7.5.3 过温保护

链式SVG处于待机状态，通过对器件温度传感器加热的方法使其过温，过温允差为过温保护点 $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内，链式SVG的功率器件过温保护功能应符合5.2.5的规定。

7.5.4 交流输入欠压保护

按图3连接试验电路。调节交流电源输出电压，使链式SVG交流输入电压低于欠电压设定值，链式SVG应能与电网断开，应符合5.2.4的规定。

7.5.5 交流输入过压保护

按图3连接试验电路。调节交流电源输出电压，使链式SVG交流输入电压高于过电压设定值，链式SVG应能与电网断开，应符合5.2.4的规定。

7.5.6 功率模块直流过压保护

按图3连接试验电路。调节交流电源输出电压幅值，使链式SVG的功率模块直流电压高于直流过压保护设定值，链式SVG应能与电网断开，应符合5.2.1的规定。

7.6 控制模式试验

7.6.1 恒无功控制试验

将链式SVG设定为恒无功控制方式，逐步增加容性无功设置值，直至输出电流达到额定值；在感性输出范围内重复上述实验，链式SVG的功能应符合5.1.1的规定。

7.6.2 电压控制试验

将链式SVG设定为电压控制方式，在链式SVG监测的二次侧施加电压信号，模拟电网目标点电压变化，调整目标电压设定值，使链式SVG输出从额定感性无功到额定容性无功，应符合5.1.2的规定。

7.6.3 无功功率补偿控制试验

将链式SVG设定为无功功率补偿控制方式，在链式SVG并网点并联接入可调负载，通过调节可调负载的无功使得电网目标点无功变化；调整目标无功设定值，使链式SVG输出从额定感性无功到额定容性无功，应符合5.1.1的规定。

7.6.4 功率因数补偿控制试验

将链式SVG设定为功率因数补偿控制方式，在链式SVG并网点并联接入可调负载，通过调节可调负载的有功和无功，使得电网目标点功率因数变化；调整目标功率因数设定值，使链式SVG输出从额定感性无功到额定容性无功，应符合5.1.1的规定。

7.6.5 谐波补偿控制试验（可选）

将链式SVG设定为谐波补偿控制方式，在链式SVG并网点并联接入谐波功率源，通过谐波功率源分次输出谐波电流。链式SVG根据谐波功率源或系统侧的电流变化进行谐波补偿，同时用电能质量分析仪检测系统侧及链式SVG输出侧的电流大小、波形及谐波含量，应符合5.1.3的规定。

7.6.6 不平衡补偿控制试验（可选）

将链式SVG设定为不平衡补偿控制方式，在链式SVG并网点并联接入高压功率源，通过高压功率源分相输出不平衡电流。链式SVG根据高压功率源或系统侧的电流变化进行不平衡补偿，同时用电能质量分析仪检测系统侧及链式SVG输出侧的电流的大小、波形及不平衡度，应符合5.1.4的规定。

7.7 运行性能试验

7.7.1 电压适应性测试（可选）

按图3连接试验电路。链式SVG采用恒无功控制方式运行，调节并网系统电压至链式SVG下限正常工作电压0.9p.u.（并网点电压标幺值）和上限正常工作电压1.1p.u.，链式SVG应能稳定运行，期间不应出现闭锁或退出运行。

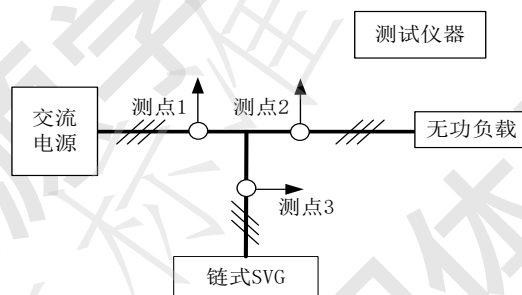


图3 试验电路

应用于风电场和光伏电站的链式SVG可按照6.3.8的要求进行试验，期间不应出现闭锁或退出运行。试验过程采用波形记录仪记录并网点电压及链式SVG输出电流波形，试验结果应符合表4和表5的规定。

7.7.2 输出电流畸变率测试

链式SVG采用恒无功控制方式运行，且并网点母线谐波电压满足GB/T14549-93限值要求，10%额定容量运行时输出电流总谐波畸变率应小于20%。设定链式SVG输出 $0.1I_N$ 、 $1.0I_N$ 容性和感性电流，分别测量其输出电流谐波畸变率，试验结果应满足6.3.1的规定。

7.7.3 稳态控制精度测试

按图3连接试验电路，主电路通电，链式SVG稳态运行后，按照6.3.2设定链式SVG的运行模式和相关控制目标，在测量仪器上读取并记录相关数据。

根据3.9中式（1）计算稳态控制精度，取计算结果的最大值为最终稳态控制精度，应符合6.3.2中表2的规定。

7.7.4 响应时间测试

响应时间试验按以下步骤进行：

- 按图 3 接好试验电路，试验负载为无功负载。
- 试验时，应保证负载处于工作状态，设置链式 SVG 为无功功率补偿模式。
- 调节无功负载，使其从 10% 的链式 SVG 额定电流阶跃至 90% 的链式 SVG 额定电流输出；用测试仪器分别测量测点 2 和测点 3 的电压、电流波形数据。
- 按照 3.10 和 3.11 的定义，根据记录的数据分析链式 SVG 响应时间，所测补偿响应时间和阶跃响应实际应满足 6.3.3 的规定。

7.7.5 最小运行电流测试

将链式 SVG 设置为恒无功控制方式，调节输出处于空载状态，记录链式 SVG 输出电流的大小，试验结果应满足 6.3.4 的规定。

7.7.6 损耗测试

损耗试验按以下步骤进行：

- 按图 3 接好试验电路，试验负载为无功负载；
- 试验时，应保证负载处于工作状态，设置链式 SVG 为无功补偿模式；
- 调节无功负载，使其输出的无功功率分别为链式 SVG 额定容性无功功率和额定感性无功功率，各稳定运行 1h。

测定每种工况下测点 3 的有功功率，计算链式 SVG 在两种工况下的有功功率平均值，应满足 6.3.5 表 3 的要求。

7.7.7 噪声测试

按 GB/T 13422 中 5.1.16 的方法测量，测量频率范围为 (2~20) kHz 频段。测量值均应符合 6.3.6 的规定。

7.7.8 过载能力测试

设置链式 SVG 运行模式为恒无功控制模式。链式 SVG 在 1.1 倍额定电流运行条件下的过载能力试验结合温升试验进行；1.2 倍额定电流运行条件下，连续运行 60s 后恢复至额定电流运行，链式 SVG 应能正常运行，各部件不应出现故障。试验结果均应满足 6.3.7 规定。

7.7.9 温升试验

按 GB/T 7251.1 中的试验方法进行。在链式 SVG 的 1.1 倍额定电流运行条件下，检测系统部件、设备内部及连接点的温度（测温点按照 6.6 的要求），以及周围空气温度，当温度变化连续 3h 不超过 1K/h 时，认为温度达到稳定，主要元器件的温升限值应符合 6.6 表 8 的规定。

7.8 电磁兼容性试验

7.8.1 通则

对链式 SVG 进行电磁兼容测试，受限于其体积，可重点对链式 SVG 控制、保护部分和链节部分分别进行测试。

7.8.2 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 17626.2—2006 规定，对链式 SVG 控制系统进行静电放电抗扰度试验，试验中和试验后链式 SVG 能够正常运行。

7.8.3 射频电磁场辐射抗扰度试验

按照GB/T 17626.3—2016规定，对链式SVG控制系统进行射频电磁场辐射抗扰度试验，试验中和试验后链式SVG能够正常运行。

7.8.4 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

按照GB/T 17626.4—2018规定，对链式SVG控制系统进行电快速瞬变脉冲群抗扰度试验，试验中和试验后链式SVG应能正常运行。

7.8.5 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照GB/T 17626.5—2008规定，对链式SVG控制系统进行浪涌抗扰度试验，试验中和试验后链式SVG应能正常运行。

7.8.6 射频场感应的传导骚扰抗扰度试验

按照GB/T 17626.6—2017规定，对链式SVG控制系统进行射频场感应的传导骚扰抗扰度试验，试验中和试验后链式SVG应能正常运行。

7.8.7 电压暂降抗扰度试验

按GB/T 17626.11—2008的规定，对链式SVG控制系统进行电压暂降抗扰度试验，试验中和试验后链式SVG能够正常运行。

7.8.8 振铃波抗扰度试验

按GB/T 17626.12—2013的规定，对链式SVG控制系统进行振铃波抗扰度试验，试验中和试验后链式SVG能够正常运行。

7.9 电磁发射试验

7.9.1 传导骚扰限值试验

按GB 4824—2013的规定，对链式SVG控制系统进行电源端口进行传导发射水平试验，试验结果应符合6.8.1的规定。

7.9.2 辐射骚扰限值试验

按GB 4824—2013的规定，对链式SVG控制系统进行电源端口进行辐射发射水平试验，试验结果应符合6.8.2的规定。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验分为出厂检验、型式检验和现场检验。

8.2 检验项目

出厂试验、型式检验和现场检验项目见表9。

8.3 出厂检验

8.3.1 链式 SVG 的所有电器元件、仪器仪表等配套件，在组装前应检验其型号、规格等是否符合设计要求，并应具有出厂合格证明。

8.3.2 每台链式 SVG 交付前均应进行出厂检验。检验合格后，填写检验记录并签发出厂合格证明。

8.3.3 每台链式 SVG 检验时，若有一项检验不符合本标准规定，则应在找出原因并排除故障后复检。规定 n 次复检后，仍不合格者，则判为不合格品。

8.4 型式检验

8.4.1 型式检验可在一台链式 SVG 上或相同设计，但不同规格的链式 SVG 上进行。

8.4.2 型式检验应在下列任一情况下进行：

- 连续生产的产品每 5 年进行一次型式试验，且应由具有资质的第三方检测机构进行检验；
- 设计、制造工艺或主要元器件改变，应对改变后首批投产的合格品进行型式试验；
- 新设计投产（包括转厂生产）的产品，应在生产鉴定前进行产品定型型式试验。

8.4.3 型式检验时，若有一项检验不符合本标准规定，则应在同一批产品中另外抽取加倍数量的产品，对该项目进行复检。若仍不合格，则应停止生产。同时，应对该批产品的该项目逐台检验，直至找到故障原因，并排除故障后，方可恢复生产。

进行定型型式试验时，允许对产品的可调部件进行调整，但应记录调整情况。设计人员应提出相应的分析说明报告，供鉴定时判定。

表9 检验项目

序号	检验项目	型式检验	出厂检验	现场检验	技术要求章条号	检验方法章条号	备注	
1	结构和外观	√	√	√	6.2	7.2		
2	绝缘耐压试验	√	√	√	6.5	7.4		
3	电气性能	电压适应性试验（可选）	√			6.3.8	7.7.1	现场试验依需方要求定
		输出电流畸变率测量	√	√	√	6.3.1	7.7.2	
		稳态控制精度测量	√	√	√	表2	7.7.3	
		响应时间测量	√	√		6.3.3	7.7.4	
		最小运行电流试验	√	√		6.3.4	7.7.5	
		损耗测量	√	√		表3	7.7.6	
		噪声测量	√	√		6.3.6	7.7.7	
		过载能力测试	√	√		6.3.7	7.7.8	
4	保护功能	输出过流保护	√	√	√	5.2.4	7.5.2	
		过温保护	√	√		5.2.5	7.5.3	
		交流输入欠电压保护	√	√		5.2.4	7.5.4	
		交流输入过电压保护	√	√		5.2.4	7.5.5	
		功率模块直流过压保护	√	√		5.2.1	7.5.6	

表9 (续)

序号	检验项目		型式检验	出厂检验	现场检验	技术要求章条号	检验方法章条号	备注
5	控制功能试验	无功控制功能试验	√	√	√	5.1.1	7.6.1、7.6.3和7.6.4	
		电压控制功能试验	√			5.1.2	7.6.2	
		谐波补偿控制功能试验(可选)	√			5.1.3	7.6.5	
		三相不平衡补偿功能试验(可选)	√			5.1.4	7.6.6	
6	温升试验		√			表8	7.7.9	
7	安全防护要求		√	√	√	6.4.1和6.4.2	7.3	
8	外壳防护试验		√		√	6.4.3和6.4.4	7.3	
9	电磁兼容性试验	静电放电抗扰度试验	√			6.7.1	7.8.1	
		振铃波抗扰度试验	√			6.7.7	7.8.7	
		电快速瞬变脉冲群抗扰度试验	√			6.7.3	7.8.3	
		浪涌(冲击)抗扰度试验	√			6.7.4	7.8.4	
		电磁发射试验	√			6.8	7.9	

8.5 现场试验

现场试验主要是购货方在链式SVG安装后进行的试验。试验目的是为了检测链式SVG在运输和安装后是否受到损伤,检验其能否正确动作以及是否满足相应技术要求,以确保其完好性。可参考DL/T 1216—2013中9.4要求和NB/T 42043—2014中9.1要求进行试验。

如表9所示,投入电网进行试运行试验,试运行时间不小于72h。如果试运行期间出现链式SVG故障,试运行中断,试验应重新开始。试运行工况由供需双方商定。

9 标志、包装、运输、贮存

9.1 标志和随机文件

9.1.1 铭牌

在链式SVG产品铭牌上应标明:

- 产品名称和型号;
- 产品额定值(应至少包括相数、额定电压、额定频率、额定容量 Mvar、防护等级等项目);
- 制造商名称;
- 制造日期(或其代码);
- 产品出厂编号;
- 执行标准。

9.1.2 随机文件

制造商应随机提供下列文件资料:

- 装箱清单;
- 安装与使用说明书;

——产品合格证明。

9.1.3 包装与运输

链式SVG产品包装与运输应符合GB/T 13384的规定。产品运输、装卸过程中，不应有剧烈振动、冲击，不应倾倒倒置。振动、冲击应符合GB/T 14715的规定。

9.2 贮存

链式SVG产品不得曝晒或淋雨，包装好后应存放在空气流通、周围介质温度为 $-10^{\circ}\text{C}\sim+40^{\circ}\text{C}$ 、空气最大相对湿度不超过80%（空气温度 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 时）、无腐蚀性气体的仓库中。
