



中华人民共和国国家标准

GB/T 20297—2006

静止无功补偿装置(SVC)现场试验

Static var compensator field tests

2006-07-13 发布

2007-01-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	I
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语定义及缩写	2
3.1 术语和定义	2
3.2 缩写	3
4 现场试验程序的准备	3
4.1 试验计划项目	3
4.2 验收和试验计划(ITP)	4
4.2.1 ITP 的内容	4
4.2.2 ITP 包括的现场试验种类	4
5 现场试验程序的执行	4
5.1 设备试验	4
5.1.1 概述	4
5.1.2 晶闸管阀试验	5
5.1.3 阀冷却设备试验	5
5.1.4 控制设备试验	6
5.1.5 接地变压器试验(若用)	7
5.1.6 接地电容器试验(若用)	7
5.2 子系统试验	7
5.2.1 概述	7
5.2.2 晶闸管阀系统	7
5.2.3 阀冷却子系统试验	8
5.2.4 控制系统试验	8
5.2.5 电容器/滤波器组试验	9
5.3 系统交接试验	9
5.3.1 通电试验	9
5.3.2 运行和性能试验	11
5.3.3 试运行	13
5.4 验收试验	13
5.4.1 静态(稳态)试验	14
5.4.2 动态试验	16
5.4.3 特殊控制功能试验	16
5.4.4 分阶段故障试验	16
5.4.5 电能质量及功率因数测试	16
附录 A (资料性附录) 验收和试验计划示例	17
附录 B (资料性附录) 关于 SVC 斜率的图示说明	18

前 言

本标准是有关静止无功补偿装置(SVC)的现场试验部分,与该标准相关的部分还有 GB/T 20298—2006《静止无功补偿装置(SVC)功能特性》。

本标准参考了 IEEE Std 1303—1994:《IEEE 静止无功补偿装置的现场试验导则》。

本标准的附录 A、附录 B 是资料性附录。

本标准由全国电压电流等级和频率标准化技术委员会提出并归口。

本标准由全国电压电流等级和频率标准化技术委员会负责起草与解释。

本标准主要起草单位:全国电压电流等级和频率标准化技术委员秘书处、全国电力电子学标准化技术委员秘书处、中国电力科学研究院、辽宁荣信电力电子股份有限公司、深圳市领步科技有限公司、西安领步电能质量研究所。

本标准主要起草人:李世林、周观允、林海雪、左强、刘军成。

本标准参加起草单位:中机生产力促进中心、陕西省电力调度中心、中冶京诚工程技术有限公司、凌海科诚电力电器制造有限责任公司、辽宁立德电力电子有限公司、成都电业局。

本标准参加起草人:康文祥、焦莉、曾幼云、王健斌、王春海、周茂兰。

静止无功补偿装置(SVC)现场试验

1 范围

本标准规定了静止无功补偿装置(SVC)的现场试验及交接原则。

本标准不包括 SVC 系统组成部分的工厂试验及仿真试验。

SVC 内部设备的现场试验、SVC 子系统的现场试验及 SVC 全系统的现场交接应由供应商完成，SVC 全系统的现场验收应由用户或双方协议进行。

本标准适用于采用晶闸管技术、应用中压(MV)及以上输配电系统及工业环境中的 SVC。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- GB 1207 电压互感器(GB 1207—1997,eqv IEC 60186:1987)
- GB 1208 电流互感器(GB 1208—1997,eqv IEC 60185:1987)
- GB/T 1236 工业通风机用标准化风道进行性能试验(GB/T 1236—2000,idt ISO 5801:1997)
- GB 1984 交流高压断路器(GB 1984—2003,IEC 62271-100:2001,MOD)
- GB 1985 交流高压隔离开关和接地开关(GB 1985—2004,IEC 62271-102:2002,MOD)
- GB 4824 工业、科学和医疗(ISM)射频设备电磁骚扰特性限值和测量方法(GB 4824—2004,CIS-PR 11:2003,IDT)
- GB 5585.1 电工用铜、铝及其合金母线 第1部分:一般规定(GB 5585.1—1985,neq IEC 60028-25; IEC 60105-58)
- GB 8287.1 高压瓷柱式绝缘子(GB 8287.1—1998,neq IEC 60168:1994)
- GB/T 10229—1988 电抗器(eqv IEC 60289:1987)
- GB/T 11024.1 标称电压1 kV以上交流电力系统用并联电容器 第1部分:总则 性能、试验和定额 安全要求 安装和运行导则(GB/T 11024.1—2001,eqv IEC 60871-1:1997)
- GB 11032 交流式无间隙金属氧化物避雷器(GB 11032—2000,eqv IEC 60099-4:1991)
- GB/T 17702.1 电力电子电容器 (GB/T 17702.1—1999,idt IEC 61071-1:1991)
- GB/T 12325 电能质量 供电电压允许偏差
- GB 12326 电能质量 电压波动和闪变
- GB/T 13026 电容式穿墙套管
- GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波
- GB/T 15543 电能质量 三相电压允许不平衡度
- GB/T 15945 电能质量 电力系统频率允许偏差
- GB/T 18494.1 交流变压器 第1部分:工业用变流变压器(GB/T 18494.1—2001,idt IEC 61378-1:1997)
- GB/T 18889 额定电压6 kV~35 kV 电力电缆附件试验方法(GB/T 18889—2002,IEC 61442:1997,MOD)
- GB 19212.1 电力变压器、电源装置和类似产品的安全 第1部分:通用要求和试验(GB/T 19212.1—2003,IEC 61558-1:1998,MOD)

GB/T 19412 蓄冷式空调系统的测试和评价方法
GB 50229 火力发电厂与变电所设计防火规范
GB/T 20298—2006 静止无功补偿装置(SVC)功能特性
GJB 2828 功率型线绕固定电阻器总规范
JB 5833 电力变流器用纯水冷却装置
JB/T 8757—1998 电力半导体器件用热管散热器

3 术语定义及缩写

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1.1

竣工图 as-built drawings

除原有的设计施工图纸外,还包括在施工中所有准确记载设备和子系统在安装与投运时发生变化的修改图纸的一套完整的图纸。

3.1.2

降额运行 derated operation

指设备或系统在比原有设计性能更低水平上的运行,降额运行通常是在预防故障或在系统发生故障时进行。

3.1.3

带电试验 energization test

指给设备施加系统电压后的任何一种试验。

3.1.4

验收及试验计划(ITP) inspection and test plan

指包含有规定条件、系统结构、试验步骤和评判标准的验收及试验的文件。

3.1.5

接口试验 interface test

检查永久性连接的设备间的相互作用的试验。

3.1.6

IT 乘积 IT product

以电流(I)的方均根值(安培)与电话干扰因数(TIF)的乘积表示的感应影响。

3.1.7

公共连接点(PCC) point of common coupling

用户接入公用电网的连接处。

3.1.8

子系统 subsystem

在一个较大的装置或设备中,服务于某一单一基本功能而相互连接和关联的设备组。

3.1.9

晶闸管控制电抗器(TCR) thyristor-controlled reactor

与电网并联连接的、晶闸管控制的电抗器,通过对晶闸管阀导通角的控制,其有效感抗可以连续变化。

3.1.10

晶闸管投切电容器(TSC) thyristor-switched capacitor

与电网并联连接的、晶闸管投切的电容器,通过控制晶闸管阀的导通与关断,其有效容抗可以阶梯式变化。

3.1.11

晶闸管投切电抗器(TSR) thyristor-switched reactor

与电网并联连接的、晶闸管投切的电抗器,通过控制晶闸管阀的导通与关断,其有效感抗可以阶梯式变化。

3.1.12

试运行 trial operation

在一段时间内,将设备或系统投入工作状态,并监视它的稳定性、调节平滑性和可靠性的运行。

3.1.13

触发脉冲转换器(TPC) trigger pulse converter

控制系统里的一个装置,其功能是把控制信号转换为可输送到晶闸管去的脉冲。

3.1.14

阀基电子单元(VBE) valve base electronics

是控制系统与晶闸管阀之间的接口处于地电位的电子单元。

3.1.15

阀电子单元(VE) vale electronics

与晶闸管相连并与其处于同一电位的电子电路。

3.2 缩写

ITP:验收及试验计划(inspection and test plan)

PCC:公共连接点(point of common coupling)

SER:事件顺序记录仪(sequence of events recorder)

TCR:晶闸管控制电抗器(thyristor-controlled reactor)

TFR:暂态故障记录仪(transient fault recorder)

TIF:电话干扰因数(telephone influence factor)

TSC:晶闸管投切电容器(thyristor-switched capacitor)

TSR:晶闸管投切电抗器(thyristor-switched reactor)

4 现场试验程序的准备

应该为每一个 SVC 项目准备一套特定的现场验收和试验计划(ITP)。在现场,这些计划用于检验 SVC 的特定用途,验证其是否符合性能规范。

本章描述如何为 SVC 系统提供一个完整的现场试验程序。

4.1 试验计划项目

现场试验程序应包括以下主要项目:

- a) 完备的试验计划及组织,包括为执行试验对权限的界定和说明;
- b) 文件及数据资料调查,包括合同、系统研究、工厂试验报告、图纸、用户使用手册以及对交流系统要求或限制的规定;
- c) 为分项设备试验、子系统试验、系统试验及 SVC 系统的验收试验的 ITP 准备;
- d) 由用户评审及批准或经用户同意的试验程序;
- e) 安装及试验计划的协调以及与系统运行配合的计划方案;
- f) 相关资料(包括竣工图纸)的分发。

本标准仅规定 c) 项内容。

4.2 验收和试验计划 (ITP)

通常将整个试验计划分解为一系列单一用途的 ITP。

4.2.1 ITP 的内容

ITP 至少应包括以下内容：

- a) 描述性的标题及试验序号；
- b) 试验负责人及与其协调配合完成试验的人员；
- c) 试验明细；
- d) 预计完成试验的时间；
- e) 可以用 SVC 的单线图描述的试验前系统主结线；
- f) 按照试验目的制定的试验步骤；
- g) 整理试验文件,完成记录摘要；
- h) 引用相关参考资料及规范的描述；
- i) 采用的试验设备,包括型号、序列号、校验记录；
- j) 带有测量数据的试验记录(用于故障诊断)。

附录 A 提供了一个 ITP 示例,该示例仅是对 ITP 应用的举例说明,对于特定项目及组织情况,应作必要的修改。

4.2.2 ITP 包括的现场试验种类

一个 SVC 项目现场试验应由一系列单独 ITP 的试验文件所组成,根据确认的图纸、说明书和用户手册,从检查设备的安装检验开始,到机械试验和相继进行的电气及功能试验、子系统以及整个 SVC 系统试验。

通常 ITP 应包括以下现场试验：

- a) 检查核实设备或子系统的完好性与完整性；
- b) 安装检查,核实设备或子系统是根据图纸和说明书来安装的,并取得满意的结果；
- c) 机械试验,在调整、校准以及机械(手动)操作时,应进行此试验；
- d) 电气试验,使用试验设备并在交流或直流电压通电时进行；
- e) 功能试验,根据接线图和说明书,去验证设备的控制电路。

5 现场试验程序的执行

现场试验分成以下几步：

- a) 设备试验,见 5.1；
- b) 子系统试验,见 5.2；
- c) 交接试验,见 5.3；
- d) 验收试验,见 5.4。

所有试验程序应依次完成。

5.1 设备试验

设备试验包括下列内容：

- a) 设备到达现场后的检查；
- b) 安装检查(包括固定是否牢固,连结及接地是否正确以及绝缘件是否清洁无损等)；
- c) 机械试验及调整；
- d) 电气试验。

5.1.1 概述

依照合同说明书或国家相关标准对下列设备进行现场试验：

- a) 变压器,按 GB/T 18494.1 和 GB 19212.1;
- b) 隔离开关和接地开关,按 GB 1985;
- c) 断路器,按 GB 1984;
- d) 互感器,按 GB 1207 和 GB 1208;
- e) 避雷器,按 GB 11032;
- f) 电容器,按 GB/T 11024.1;
- g) 电抗器,参照 GB/T 10229 中的调谐电抗器和滤波电抗器规定进行试验;
- h) 电阻器,按 GJB 2828;
- i) 辅助电源,按 GB 19212.1;
- j) 穿墙套管,按 GB/T 13026;
- k) 绝缘子,按 GB 8287.1;
- l) 母线,按 GB 5585.1;
- m) 电缆(动力和控制的),按 GB/T 18889;
- n) 通风设备,按 GB/T 1236;
- o) 空调设备,按 GB/T 19412;
- p) 运行状态下的防火和防火检测系统,按 GB 50229。

5.1.2 晶闸管阀试验

5.1.2.1 阀电子单元电源

阀电子单元的电源试验包括以下内容:

- a) 检查阀电子单元部件的电源(电流和电压);
- b) 检查相应的输出;
- c) 检查失去电源时的报警信号。

5.1.2.2 光纤

光纤的试验包括以下内容:

- a) 测量从控制装置到控制极单元(或相反方向)的每一根光纤的衰减;
- b) 检查每根光纤连结是否正确;
- c) 验证晶闸管控制部件接收的脉冲的正确次序和开通脉冲的波形;
- d) 验证发送和接收的监视信号。

5.1.2.3 冷却回路

冷却回路试验包括以下内容:

- a) 检查在所有并联路径中冷却回路无阻塞;
- b) 检查冷却回路的连结;
- c) 验证漏泄检测和报警信号。

5.1.2.4 接触电阻

接触电阻试验包括以下内容:

- a) 确定晶闸管弹簧的压紧以保证晶闸管与散热器之间的接触电阻合格;
- b) 测量晶闸管阀主回路上每个连接点的电阻以及确定连接螺栓是否牢固。

5.1.2.5 回路阻抗

测量每相的总电阻(R)和电容(C)及检验 RC 阻尼回路的完好性。

5.1.3 阀冷却设备试验

采用液体冷却系统应执行本标准的 5.1.3.1~5.1.3.8,采用热管冷却系统应执行 5.1.3.9。

5.1.3.1 安装检验

阀冷却设备应预组装,在工厂完成一部分试验并在现场整体组装调试。在现场的整个系统安装的

完善性与正确性应当借助检验单、图表、图纸及说明书进行可视检查。检查步骤应当包括冷却系统相关设施(比如安装螺栓)、间隙(为振动、热膨胀、排气等预留的)、窗孔、自动闸门、通道及维修空间、警告及标志信号、照明、漏水收集、地板及其他。

检验冷却介质以及易耗品的完善性和质量(如水、过滤器、去离子树脂及其他化学品等)。

对于水冷却系统,对第一次充满的水质量(pH 值等)应注意进行跟踪。这个过程应当包括对旁通管路中的冲洗操作(即不通过晶闸管阀),需进行几个小时,包括所有分支路、热交换器、去离子器等。反复启动及停止水泵,重复地操作阀门,直至在过滤器里没有杂质积存为止。

5.1.3.2 冷却电源

冷却电源试验包括:

- a) 记录电源输入电压;
- b) 观察输入电压消失时的报警信号。

5.1.3.3 冷却辅助设备

冷却辅助设备试验包括以下内容:

- a) 检查全部自动操作的阀门、放热孔、闸门等部件的动作和位置;
- b) 检查备用设备。

5.1.3.4 水泵及风机

水泵及风机试验包括以下内容:

- a) 检查旋转方向;
- b) 检查启动;
- c) 检查旋转的水泵供电电源停电时,备用水泵的启动;
- d) 记录电动机的起动和运行电流;
- e) 检查所有三相电动机,在人为使之单相运行时的过载跳闸时间;
- f) 检查噪声和振动。

5.1.3.5 去离子器

检查当生水流过时,冷却剂的导电率下降到报警水平以下时的情况。

5.1.3.6 测量

测量试验包括:

- a) 检查导电率测量表;
- b) 观察并校对压力及温度表。

5.1.3.7 热交换器

在子系统试验期间,应对所有管路、焊接处以及连接处进行压力试验。

5.1.3.8 流量计

流量计试验包括以下试验:

- a) 检查流量计安装的正确性;
- b) 检查流量计的正常运行。

5.1.3.9 热管散热器

- a) 根据图纸、说明书及 JB/T 8757—1998 中 6 的规定进行外观可视检查,包括热管,基板,翅片、绝缘件及紧固连接件等,确认其完好性及连接的紧固性;
- b) 确认热管散热器的安装角度是否符合设计要求。

5.1.4 控制设备试验

5.1.4.1 电源

电源试验包括以下内容:

- a) 记录电源的输入电压并确保子系统电源指示的正确;

- b) 观察输入电源失去时备用电源自动切换良好；
- c) 观察在失去电源时报警信号的正确动作；
- d) 确认在最高和最低的规定电压下的控制性能。

5.1.4.2 监视系统

检查 SVC 系统开关量、模拟量、报警及事故信息是否能可靠传送到监视系统(例如,一次及二次电压、电源故障、断路器或隔离开关断开、使用冗余晶闸管)。

5.1.4.3 控制整定值

- a) 检查所有整定值与设计值一致；
- b) 检查监视系统能否正确显示整定值及报警信号值。

5.1.5 接地变压器试验(若用)

接地变压器试验包括以下内容：

- a) 检查相位联结；
- b) 检查油位及压力；
- c) 如果变压器的第二或第三绕组用来做辅助电源,应进行普通变压器的整套试验(依照 GB/T 10229—1988 第六篇第 43 章“试验”进行)。

5.1.6 接地电容器试验(若用)

接地电容器试验包括以下内容：

- a) 用适当仪器测量电容量；
- b) 列出测出的电容量并与铭牌比较；
- c) 进行高电压试验。

上述试验依照 GB/T 11024.1 进行。

5.2 子系统试验

5.2.1 概述

子系统试验涉及交/直流控制电路通电、接口、操作和功能试验,这些均需在设备试验通过后才能进行。由于子系统是相互联系的,会有不少试验重叠存在。

子系统试验是在 5.1 叙述过的所有单个设备试验和安装检查已完成的情况下进行的。

5.2.2 晶闸管阀系统

本条所述子系统包括:与整个阀结构连在一起的户内母线、穿墙套管、互感器、冷却管路、触发及监视信号传输系统和触发脉冲变换器(TPC)或阀基电子单元(VBE)和阀电子单元(VE)。

应利用有关文件(图纸、手册、试验计划、检验单、软件一览表、功能框图等)进行试验。

5.2.2.1 接口试验

根据相关图纸逐步地检验所有设备端子间相互连接的正确性。

5.2.2.2 阀和触发电路的配合

用于把控制信号变换成能送到晶闸管阀上去的信号的 TPC 或 VBE 单元,应被装到每一个三相阀单元附近。

- a) 开通脉冲相位的相关性检验

本试验应包含完成控制和保护设备子系统(包括 TPC 或 VBE)的试验(见 5.2.4)。

本试验的目的是确保对每相发出正确导通信号。试验范围应覆盖阀设备试验和控制子系统试验(即应按此选择周围信号测量点)。可用下列基本方法：

送到晶闸管的触发脉冲对所有相和电流极性应当使用一台示波器去与其相关的控制信号作比较。利用晶闸管阀端交流电压信号作控制,试验能扩展到包括控制系统。宜使用光—电变换器。

- b) 监测脉冲试验

该试验主要是检验每一个晶闸管和晶闸管电子单元状态监视电路的完整性和相关性(直至晶闸管

上可能没有电压)。

5.2.3 阀冷却子系统试验

阀冷却子系统包括阀体外的全部冷却回路(即管道、泵、热交换器;过滤器、净化器、控制器、量表、阀门、风机及指示表、热管散热器)。阀冷却系统主要有以下几种不同形式:

- a) 单回路或双回路水冷,采用干式或蒸发式水/风热交换器或水/水热交换器;
- b) 闭环或开环空气冷却,采用或不采用中间的水回路;
- c) 热管散热器冷却,采用自然空气冷却或强迫风冷。

晶闸管阀冷却子系统的试验计划取决于系统的类型,该试验计划主要根据供应商提供的文件与说明书。这里只规定总的原则。

5.2.3.1 安装检验

液体冷却设备安装检验后(见 5.1.3.1),应冲洗旁通管路。当没有杂质积存在管路中时,拿开旁通管,将晶闸管阀连接至冷却回路,填充冷却剂。首先在静压,然后在超静压下检查管路是否漏水。实际施加的压力和时间的详细数据由供应商规定,并在 ITP 中列出。

冷却系统电源安装检验后,应检验冷却系统控制与保护设备,包括控制单元、保护继电器定值、传感器、仪器指示数以及报警。漏水检测系统、气压继电器、室内恒温器及其他相关系统也应检验。水冷系统执行 JB 5833 标准。

在热管冷却系统安装检验后(见 5.1.3.9)应根据设计要求及 JB/T 8757—1998 的规定对其进行相应检查。

5.2.3.2 冷却系统试验

在完成所有检验之后,根据供应商的说明书,启动阀冷却系统。如采用液体冷却系统,则开启泵运转几个小时,以除去管路、散热器、电阻器等中的残留空气;对于空气冷却的系统,方法类同。对于液体冷却系统和风冷却系统应提供风机、导管、挡板、热交换器及相关部件进行运转试验的记录。根据 ITP 应测量和记录电流、辅助电能消耗、冷却剂流量和压力、电导率、温度、噪声以及其他重要参数,模拟所有可能的故障以便试验有关的传感器、报警和跳闸。用这种方法检验报警、跳闸及控制和保护系统的反应是否正确。

对于液体冷却系统,需要彻底检查其漏水,并应反复进行。在这些试验期间,因为阀还没有通电,所以不是热运行试验。在后续交接试验或验收试验期间应保留所完成的热运行试验记录。

对于液体冷却系统和风冷却系统应进行冷却系统的备用装置的切换试验(从一个电源转到另一个电源,从一个泵转到另一个泵,从一个冷却器转到另一个冷却器,从一个风机转到另一个风机,从一个控制器转到另一个控制器),在转到备用电源或切换失败时应能分别产生报警或使装置跳闸。

对于热管冷却系统,其具体试验方法参照 JB/T 8757—1998。

5.2.4 控制系统试验

本标准中的 SVC 控制设备包括开环和闭环控制。控制设备的现场试验将着重进行接口检查及定值试验,以核实运输对其性能的影响。该试验包括以下内容:

- a) 接收试验,见 5.2.4.1;
- b) 互感器接口试验,见 5.2.4.2;
- c) 系统控制接口试验,见 5.2.4.3;
- d) TPC、VBE 以及 VE 接口试验,见 5.2.4.4。

5.2.4.1 接收试验

- a) 控制设备的外观检查;
- b) 电源检查(接上电源并检测各单元工作电压是否正常);
- c) 定值试验(对电流和电压整定值在控制器端子上进行试验)。

5.2.4.2 互感器接口试验

所有互感器(与 SVC 控制相关的)应检验变比和相位。

5.2.4.3 系统控制接口试验

对 SVC 控制部分和变电站控制部分,通过输入并测试信号来检验相关接口的输入输出信号是否正常。此方法应包括 SVC 控制部分与变电站部件(如断路器和开关)的信号连接。

5.2.4.4 TPC 或 VBE 和 VE 接口试验

应试验所有触发信号通道,尽可能包括对单个晶闸管位置的触发试验。

该试验的一些内容已包括在 5.2.2 中。同步触发脉冲应由控制系统发出,也可由辅助试验设备产生。

5.2.5 电容器/滤波器组试验

谐波滤波器有两种基本型式:

- a) 单调谐滤波器;
- b) 高通滤波器。

每一种型式滤波器都由电容器、电抗器及某些情况下加电阻器所组成。除了滤波器调谐要求之外,一般检验滤波器的方法是相同的。

通常检验保护和报警功能的方法是在一次侧或二次侧实施通电试验。

如滤波器是调谐型的,则应:

- a) 测量每相元件的电容、电感和电阻;
- b) 画出阻抗、频率特性;
- c) 用一台频率发生器和示波器或数字万用表(DMM)检查调谐,找出谐振点;
- d) 可将滤波器调谐值做适当调整。

对高通滤波器,工厂检验的电容器、电抗器和电阻器数据,可以用于确定滤波器的调谐值。

5.3 系统交接试验

在完成设备与子系统试验后,可通知准备 SVC 系统交接试验。

系统交接试验是在运行现场检验 SVC 规定的性能的试验。

测试程序中应包括:

- a) 确立试验人员的权利与职责;
- b) 制定紧急措施与安全标示要求;
- c) 根据用户的情况制定试验计划;
- d) 履行安全操作手续。

每次试验应用相关的配电系统图,确认开关指令,并显示 SVC 系统的单线图。对于所做试验的所有控制开关设备的开或合的位置,应专门加以标记。

系统交接试验可分为:

- a) 通电试验,见 5.3.1;
- b) 运行(操作)和性能试验,见 5.3.2;
- c) 试运行,见 5.3.3。

5.3.1 通电试验

通电试验的主要项目包括:

- a) 通电前检验,见 5.3.1.1;
- b) 低压通电试验(可选的)5.3.1.2;
- c) 第一次通电试验 5.3.1.3;
- d) 运行启动试验 5.3.1.4。

5.3.1.1 通电前的检验

应检查确认所有的接地开关均断开,安全接地被拆除,松动的母线连接处被复原。应确认恢复了所有的安全防护装置的功能。在通电之前应该再度强调所有安全事项。

5.3.1.2 低压通电试验(可选的)

SVC 在施加系统电压之前可进行低电压通电试验。

在低电压下,可安全地检验 SVC 控制、同步及控制器的稳定性;能够确定主电路和脉冲开通电路之间相位关系的正确性,以及所有晶闸管及晶闸管电子单元的故障报警电路完好;试验期间,也能检查差动继电保护的极性。任何安装或试验前的错误都能以最小的设备损坏风险被安全地检查出来。总之,这个试验是整个系统在加全电压之前的最全面的检验。

使用试验电压及电流进行下列工作:

- a) 操作每种保护继电器;
- b) 检查继电器的动作逻辑,并验证跳闸接点可靠性;
- c) 检验或调整继电器的定值。

同全压通电时一样,应注意所有必要的安全措施。在此之前应完成一系列的分步跳闸试验。

SVC 的某些部件,要求在低电压环境下调整操作(即可用若干辅助电压互感器(VT)逐步升高同步 VT 输出电压;或用与 VT 输出同相位的三相可变交流电压来代替这些 VT)。TSC 的电压测量单元也许需要并联,以提高其灵敏度。晶闸管阀需要一些晶闸管短接,以使每一晶闸管得到足够的最低电压。试验时,这些晶闸管的短接应被轮替,以确保所有晶闸管都被通电和控制过。

对于这个试验,提供的电流值,可用下式计算:

$$I_{\text{test}} = Q_{\text{max}} \frac{V_{\text{test}}}{(V_{\text{nominal}})^2}$$

式中:

Q_{max} 是下列无功中的较大者。

Q_{maxL} ——SVC 的最大感性输出;

Q_{maxC} ——SVC 的最大容性输出;

V_{test} ——试验电压;

V_{nominal} ——标称电压。

应通过此试验,测试尽可能多的 SVC 功能。TCR、TSC 以及滤波器电流同其不平衡电流一样,应加以测量并外推到全电压水平下的值。

如果可能,控制器的基本阶跃响应试验,可用适当的低压负荷或电压阶跃响应来完成。在低压试验期间,对电力系统影响最小,可进行手动操作。

5.3.1.3 第一次通电试验

第一次通电试验前,系统运行人员要做出安排,以保证交流电网能吸收或发出所要求的无功功率(Mvar)。

第一次通电试验可按以下步骤进行,无需按常规运行启动次序:

- a) 给空载电力变压器送电;
- b) 给空载母线送电;
- c) 给谐波滤波器送电。

典型做法是先给最低次滤波器送电以避免产生谐振过电压。如果系统条件允许,则所有滤波器可同时送电。滤波器送电时,应监视母线电压变化。

SVC 系统的每一支路都应通电一次。

第一次通电试验应根据供应商的推荐文件执行。

TCR 或 TSR 支路应在未触发时,首先通电(即晶闸管被闭锁,以检验其完整性和电压承受能力)。

根据阀的设计可用不同的方法确定有无触发脉冲。

TSC 支路可以按类似方法进行通电试验。

可以依据 SVC 各相电压电流的测试值计算实际阻抗。

如果相位平衡电路被用在 TCR 支路,则应调整它们以保证三相电路每一相的电流相等。

对于 TCR,对应于不同的晶闸管开通角,其支路阻抗是不同的;对于 TSC、TSR 以及谐波滤波器,其支路阻抗值几乎是常数。

在同一支路里按相测量出的相阻抗差异,表示其电感值或电容值的误差。对于 TCR,相阻抗值的差异也可能表示晶闸管开通角的不对称。

5.3.1.4 运行启动试验

在运行启动试验前应首先进行紧急停止功能的试验,以便验证运行的正确性。

应在 SVC 每一支路中进行自动和手动启动、关停的顺序试验。这将显示出每一支路晶闸管阀的可控性和解除闭锁及闭锁能力。

5.3.2 运行和性能试验

5.3.2.1 SVC 连续运行范围

SVC 的连续运行试验范围,从最大容性无功功率(Mvar)到最大感性无功功率(Mvar)。

在标称电压(V_{nominal})(kV)下,SVC 输出的实际无功功率 Q_{actual} (Mvar)可在公共连接点(PCC)处直接测量并用下列公式确定:

$$Q_{\text{actual}} = Q_{\text{measured}} \left(\frac{V_{\text{nominal}}}{V_{\text{measured}}} \right)^2$$

式中:

Q_{actual} ——实际无功功率,单位为兆乏(Mvar);

Q_{measured} ——实测无功功率,单位为兆乏(Mvar);

V_{measured} ——实测电压,单位为千伏(kV)。

5.3.2.2 SVC 斜率特性的验证

SVC 的斜率特性应该用测量和计算验证。在电压控制运行模式下,SVC 的无功功率输出应采用改变参考电压 V_{ref} 来调节。

有关 SVC 斜率的具体图示说明参见附录 B。

5.3.2.3 负载特性的检验

SVC 应在其全部工作范围内进行调整,特别是对 TSC 或 TSR 的分支作投切时。用系统运行电压、SVC(变压器一次)的电流以及无功功率(Mvar)的控制信号,检验 SVC 的输出(包括分支投切)。SVC 的输出应在规定范围之内。

5.3.2.4 系统动态响应试验

用基准值的阶跃来做 SVC 的响应试验,以检验 SVC 系统的动态特性。对于用于电压控制的 SVC 装置,应采用阶跃变化的参考电压(V_{ref})来做 SVC 的响应试验。如果可能,应保留系统最小短路容量时 SVC 的响应记录。特别是在最小短路容量时 SVC 不应失去稳定,而在最大短路容量时保持良好的响应。

根据应用需要,还可以做附加试验,例如:

- a) 对用于功率调节的 SVC 装置,应使用阶跃变化的参考无功功率(Q_{ref}),通过 Q_{ref} 的阶跃输入,获得在改变扰动时 SVC 的响应记录;
- b) 若被补偿的负载包含有快速变化的直流,应考虑用一个与负载产生的次谐波同频同幅的等效正弦量加到 Q_{ref} 中,SVC 应提供稳定和足够的补偿。

5.3.2.5 特殊控制功能试验

应对所有规定的特殊控制功能进行试验。应完成各种特殊的投切或顺序操作(例如固定的电容器

组或电抗器组的投切),模拟某些已设计好的特殊运行条件或系统条件,试验自动关停功能。

5.3.2.6 备用系统试验

所有备用系统应进行试验,以检验在通电工作状态下,所有备用系统能够正确转换。

对备用电源回路转换以及备用冷却与辅助系统转换宜作出可靠性评价。

应模拟备用系统的故障试验,并确定主、备系统双重故障时是否依次关停或紧急关停。

5.3.2.7 降容运行

应在规定的 SVC 各支路或谐波滤波器退出工作的情况下,进行降容运行模式试验。应记录及估算减小的无功功率输出。

也应检验各种退出运行条件下的联锁性能。

5.3.2.8 谐波和其他电能质量指标的测量

谐波的考核、测量通常应在下列条件下在 PCC 处进行,另有约定者除外:

- a) SVC 系统断开,在正常的系统运行条件下,将得到背景谐波值;
- b) SVC 系统投入,在正常的系统运行条件下,在 TCR 几种运行状态下可得出产生的最高的单次谐波和最高的 THD。

对带有外部熔丝的电容器组,其不平衡保护动作的试验是采用打开熔丝的连接片或端子接线柱的连接来模拟电容器熔丝熔断。应检查报警及随之的跳闸状态,应检查继电器电流以验证继电器的整定值。

当电容器组采用内部熔丝时,可利用附加电容去产生不平衡,以检验不平衡保护的功能。

对于上述两种型式的电容器组,可用不平衡继电器的 CT(电流互感器)二次侧注入一个根据计算得出的不平衡电流,来直接检查报警和跳闸状态。

可根据合同规定,对电压波动和闪变、三相不平衡度等电能质量指标进行测量;SVC 系统功率因数补偿效果应予以验证(参见 5.4.5)。

5.3.2.9 噪声干扰的测量

可选择性地做下列系统干扰测量试验,以检验产品是否与规范书要求一致(应分别在 SVC 投入和退出工作时测量):

- a) 音频噪声(AN);
- b) 无线电干扰(RI);
- c) 电视干扰(TVI);
- d) 电力线载波(PLC);
- e) 电话线载波(TLC)。

具体测量方法参照 GB 4824 执行。

5.3.2.10 热运行试验

该试验是在带载状态下对系统部件以及设备内部或母线连接处的潜在不良接触点进行的检验或检查。

手动调节 SVC 到最大损耗点,并使 SVC 各子系统持续运行,直至温度达到热平衡。记录冷却系统各相应点的温度、环境温度及各电气量的值。根据记录数据将各相应点的温度修正到用户说明书中的大气环境最高温度条件下的数值。

应特别注意阀冷却系统的效率。对于液体冷却系统和风冷系统,当使 SVC 产生最大的损耗、备用设备关闭、系统达到并保持热平衡时,应检测冷却介质的入口和出口处的温度、压力以及流速,确认其在规定范围内。还应检验每台冷却设备被备用冷却设备取代时的情况。对于热管冷却系统,应监视检测散热器基板温度,确定其在规定范围之内。

热运行试验应在低于额定条件及负荷下反复做。因为不同部件的最大损耗不一定会在同一运行点产生,因此必须通过反复试验来检验各部件上的最大热应力。

对设备、母线、接地连接处、围栏仔细进行红外线扫描检查,可以发现潜在发热点和连结不紧或传导性发热处。

5.3.2.11 SVC 损耗的测定

总损耗最好是用工厂试验的数据和现场直接测量的数据,通过计算得出。应在 SVC 的不同运行状态下,包括在额定工况时、零无功功率时以及最大容性和最大感性无功功率输出时确定损耗。

下列设备的损耗是在不同负荷和条件下确定的损耗。条款 a)至 e)是根据谐波和环境状态,基于工厂测量和附加计算确定的损耗。条款 f)至 h)是现场在辅助配电断路器或设备终端处直接测量确定的损耗。应将现场实际环境温度下测量的损耗换算到规定环境温度下的损耗。

- a) 电力变压器
 - 1) 空载损耗;
 - 2) 负载损耗;
 - 3) 谐波损耗。
- b) TCR/TSR 支路
 - 1) 晶闸管阀损耗;
 - 2) 电抗器损耗。
- c) TSC 支路
 - 1) 晶闸管阀损耗;
 - 2) 电容器损耗;
 - 3) 电抗器损耗。
- d) 机械式投切(MS) 电容器或电抗器
 - 1) 电容器或电抗器损耗;
 - 2) 电阻器损耗。
- e) 谐波滤波器
 - 1) 电抗器损耗,包括谐波损耗;
 - 2) 电容器损耗,包括谐波损耗;
 - 3) 电阻器损耗,包括谐波损耗。
- f) 冷却系统
 - 1) 水泵电力消耗;
 - 2) 风机或空调设备电力消耗;
 - 3) 处理冷却介质电力消耗。
- g) 控制系统
 - 控制电力消耗。
- h) 辅助系统
 - 1) 建筑物的电力消耗;
 - 2) 辅助变压器损耗;
 - 3) 接地变压器损耗。

5.3.3 试运行

试运行的时间长短,应在最后的验收试验前确定,通常试运行时间是 72 h。

只有在成功完成试运行之后,才可开始验收试验。

5.4 验收试验

在交接试验时,应当完成最后的调整、填平补齐、以及消除缺陷工作。SVC 系统的验收试验是建立在以往试验已被证实以及有据可查的基础上的。验收试验是供应商完成交接试验并提交试验报告后,用户要求针对某些项目再次进行的试验。在验收期间,将完成运行系统的正式确认。

根据交接试验和临时试验报告的结果,可对验收试验程序作些修改,需要附加一些新试验或再重做一些试验,来确认交接中出现的问题。

验收试验可能包括下列类别:

- a) 静态(稳态)试验,见 5.4.1;
- b) 动态试验,见 5.4.2;
- c) 特殊控制功能试验,见 5.4.3;
- d) 分阶段的故障试验,见 5.4.4;
- e) 电能质量及功率因数测试,见 5.4.5。

5.4.1 静态(稳态)试验

5.4.1.1 控制功能试验

- a) 控制顺序
 - 1) 启动/停止
 - 手动;
 - 自动。
 - 2) 紧急停止
 - 3) 保护使其启动停止
 - 分断(停止);
 - 再启动。
 - 4) 控制模式选择
 - 恒定无功功率输出;
 - 恒定系统电压;
 - 零无功功率输出。
 - 5) 操作转换
 - 就地/远方;
 - 手动/自动。
- b) 控制范围验证
 - 1) SVC 无功功率输出能力(就地/远方);
 - 2) 基准电压调节能力(就地/远方);
 - 3) 斜率调节能力(就地/远方);
 - 4) 斜率线性度;
 - 5) 电流限制作用。
- c) 控制模式验证
 - 1) 设定参考无功功率并检验无功功率输出恒定;
 - 2) 设定参考电压并检验系统电压恒定;
 - 3) 保持零无功功率输出。

5.4.1.2 负载试验

在额定容性和额定感性两种负载下,检验补偿器的工作:

a) 检验系统参数

例如 PCC 处的电流、电压及无功功率。

b) 检验 SVC 的下列性能参数

- 1) 损耗(SVC 效率);
- 2) 滤波器特性;
- 3) 音频噪声(室内/室外);

- 4) 干扰水平(任选);
- 5) 温升。

5.4.1.3 备用系统功能试验

在各种情况下,随着不同备用系统的退出,应清晰显示出信号电路、监视、闭锁及分断顺序等功能。

- a) 用以下方法检验 SVC 的抗干扰能力:
 - 1) 模拟单个晶闸管故障;
 - 2) 模拟单个电容器单元故障。
- b) 转换到备用系统的情况下检验 SVC 的抗干扰能力:
 - 1) 阀冷却系统转换到备用单元;
 - 2) 辅助交流/直流电源转换到备用单元;
 - 3) 转换到不间断电源(UPS)工作(如果装备有 UPS)。
- c) 检验降额运行及顺序关停。
 - 1) 多重晶闸管故障;
 - 2) 多重电容器故障;
 - 3) 失去任意一个 SVC 支路;
 - 4) 辅助系统的双重故障;
 - 5) 当需要备用电路时,备用电路失效。

5.4.1.4 保护方式试验

保护方式试验可以用模拟 SVC 系统中不同点的故障来完成,以检验保护的有效性。

- a) 主电路故障模拟
 - 1) 主断路器跳闸;
 - 2) 检验备用继电器;
 - 3) 检验断路器拒动保护;
 - 4) 阀故障;
 - 5) 母线故障;
 - 6) 电力变压器故障;
 - 7) SVC 母线故障;
 - 8) SVC 支路故障(对每个支路);
 - 9) 滤波器故障;
 - 10) 电容器组故障;
 - 11) 电抗器故障。

b) 控制系统故障模拟

供需双方应共同制定模拟方法。

c) 阀故障模拟

- 1) 一个晶闸管故障;
- 2) 多个晶闸管故障。

d) 冷却系统故障

冷却系统双重部件故障。

e) 辅助(电源)系统故障

- 1) 双重辅助电源系统故障;
- 2) 直流控制电源故障;
- 3) 在切换期间,UPS 故障。

f) 其他系统故障

- 1) 监视系统故障;
- 2) 报警系统故障;
- 3) 事故记录系统故障;
- 4) 事件顺序记录仪故障。

5.4.2 动态试验

动态试验是通过对系统加扰动去检验 SVC 的性能。这些扰动力求在正常的控制调节范围内使运行点偏移。TSC 和 TCR 均做此试验,以检测 SVC 的响应时间。扰动可用下列运行条件的变化实现:

- a) 输电线投入和退出运行,附近电容器组充电或变压器组带载;
- b) SVC 投入或退出运行;
- c) 在参考点利用参考量(V_{ref} , Q_{ref})的阶跃变化,使 SVC 系统在规定范围内响应。

为了评估暂态的及可能的谐振现象,应当记录在下列 SVC 工作状态中,在每个滤波器组中的电流波形及电压波形:

- 1) 至少有三次连续正常启动及停止 SVC;
- 2) 至少三次正常负载的依次投切。

5.4.3 特殊控制功能试验

合同上所规定的特殊控制功能,如电容器组的投切、专门的调节功能以及备用设备的自动检测等,都应该在实际的运行状态下验证。

5.4.4 分阶段故障试验

只有详尽地研究分阶段故障对交流系统的影响后,才能进行实际的分阶段故障试验。分阶段故障应在用户的监督下完成。

为获得尽可能多的有用数据,应具备正确的步骤、测量方法和试验持续时间。在整个过程中应保证人员和设备的安全。为保证系统安全,可考虑专门的备用保护。

注:在交接试运行期间因交流系统接线方式或负载情况所限,有可能不能进行这些试验。

5.4.5 电能质量及功率因数测试

a) 谐波测试

执行 GB/T 14549。根据需要测量母线的谐波电压和注入系统的谐波电流,分析滤波器不同组合的滤波效果及校核滤波器运行的安全性。

注:系统频率偏差应在 GB/T 15945 规定的范围内,由测试验证。

b) 闪变和电压波动的测量(选项)

闪变和电压波动的测量,按 GB 12326 的规定进行。

c) 三相不平衡度的测试(选项)

三相不平衡度的测试参照 GB/T 15543 进行。

d) 功率因数测试

功率因数是配电和工业用 SVC 关注的指标(由合同规定),应用现场测量(和计量)数据予以验证。

附 录 A
(资料性附录)
验收和试验计划示例

试验说明：

试验号 No:×××

TCR 阀第一次通电(见 5.3.1.3)

试验负责人：

厂家试验配合人员：

- 允许做试验的命令来自：
- a) 用户交接工程师；
 - b) 电力调度中心。

预试与条件：

- a. 试验 5.1——设备试验；
- b. 试验 5.2——子系统试验；
- c. 试验 5.3.1.1——通电前的检查；
- d. 试验 5.3.1.2——低压通电试验。

预计完成试验的时间：

试验准备：

- a. 合上辅助电源；
- b. 主保护与后备保护投入；
- c. SVC 冷却装置投入；
- d. SVC 控制装置投入；
- e. 打开滤波器组开关；
- f. 断开电源主断路器。

试验操作：

- a. 撤除阀厅及电抗器间的所有人员及工具和其他器具；
- b. 试验配合人员进行最后的检查并确认试验区域已经清空；
- c. 关闭防护区并加锁,拿去联锁钥匙,使电源断开；
- d. 监视人员与阀厅及室外电抗器场所保持安全距离；
- e. 确认所有仪器(暂态故障记录仪、事件程序记录仪、专用记录仪)处于工作状态；
- f. 合上电源隔离开关；
- g. 从-3 s 开始至+3 s 按下列顺序,以 1 s 为间隔进行操作：
 - 3 s
 - 2 s——手动起动暂态故障记录仪和示波器
 - 1 s
 - 0 s——合上主断路器
 - +1 s——打开主断路器
 - +2 s——关停暂态故障记录仪和示波器
 - +3 s

评价：

- a. 检查有没有观察到电弧,火花或其他电气击穿的信号；
- b. 检查保护继电器是否动作；
- c. 检查暂态故障记录仪及专用示波器的记录,确认所有晶闸管阀都能耐受电压,没有被击穿或晶闸管被触发的任何迹象。

记录保护：

将示波器记录标注上“试验号 No:×××

结论：

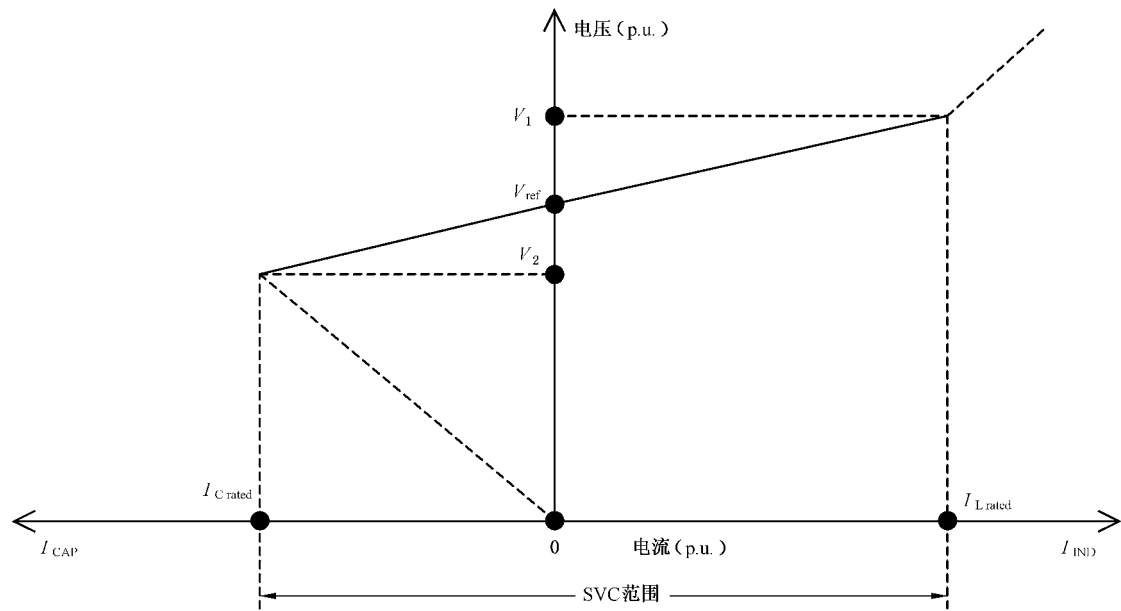
该试验成功的结论,由见证试验的下列人员在试验文件上签字承认试验取得成功。

制造厂试验配合人员：_____ (签字)

用户交接工程师：_____ (签字)

附录 B
(资料性附录)
关于 SVC 斜率的图示说明

SVC 的斜率是在 SVC 系统的控制范围内,电压变化的标幺值和电流变化的标幺值之比(见图 B.1)。



$$V_{\text{slope(L)}} \% = \frac{(V_1 - V_{\text{ref}})100}{V_{\text{ref}}}$$

$$V_{\text{slope(C)}} \% = \frac{(V_{\text{ref}} - V_2)100}{V_{\text{ref}}}$$

$I_{\text{C.rated}}$ ——额定容性电流;

$I_{\text{L.rated}}$ ——额定感性电流;

V_1 ——在额定感性电流时的被控电压;

V_2 ——在额定容性电流时的被控电压。

$$\text{总斜率} = V_{\text{slope(L)}} \% + V_{\text{slope(C)}} \%$$

图 B.1 静止无功功率补偿系统的斜率

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
静止无功补偿装置(SVC)现场试验

GB/T 20297—2006

*

中国标准出版社出版发行
北京西城区复兴门外三里河北街16号
邮政编码:100045

<http://www.spc.net.cn>

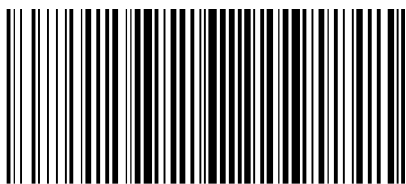
电话:(010)51299090、68522006

2006年12月第一版

*

书号:155066·1-28512

版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68522006



GB/T 20297-2006