



中华人民共和国国家标准

GB/T 20298—2006

静止无功补偿装置(SVC)功能特性

The functional specification of static var compensator

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

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
静止无功补偿装置(SVC)功能特性
GB/T 20298—2006

*

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

网址 www.spc.net.cn

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 2.25 字数 52 千字
2006 年 12 月第一版 2006 年 12 月第一次印刷

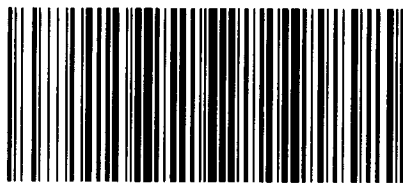
*

书号: 155066 · 1-28514 定价 17.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533



GB/T 20298-2006

前 言

本标准是有关静止无功补偿装置功能特性部分,与该标准相关的部分还有 GB/T 20297—2006《静止无功补偿装置(SVC)现场试验》。

本标准参考了 IEEE Std 1031:2000《IEEE 静止无功补偿装置的功能特性导则》。

本标准的附录 A、附录 B、附录 C 为规范性附录。

本标准的附录 D、附录 E、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I 为资料性附录。

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会秘书处、全国电力电子学标准化技术委员会秘书处、中国电力科学研究院、深圳领步科技有限公司、西安领步电能质量研究所、鞍山容信电力电子有限公司。

本标准主要起草人:李世林、周观允、林海雪、刘军成、左强。

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。

目 次

前言 III

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 SVC 安装场所的环境状况 3

5 SVC 连接点的系统电气参数 4

6 SVC 主系统特性要求 4

6.1 SVC 额定值及其性能要求 4

6.2 控制目标 5

6.3 谐波特性 6

6.4 电话及无线电干扰 6

6.5 噪声 6

6.6 损耗评估 6

7 SVC 主设备功能及其特性要求 7

7.1 晶闸管阀 7

7.2 晶闸管阀的冷却系统 8

7.3 控制设备及其操作界面 10

7.4 监视与保护 10

7.5 电抗器 11

7.6 电容器组 11

7.7 SVC 专用变压器 12

7.8 隔离开关及接地开关 12

7.9 辅助电源 12

8 工程研究 12

8.1 动态性能分析 12

8.2 谐波分析 12

8.3 暂态过电压分析 13

9 试验 13

9.1 晶闸管阀的型式试验 13

9.2 产品检验 13

9.3 控制系统的工厂检验 13

附录 A (规范性附录) SVC 电压/电流特性曲线示图 14

附录 B (规范性附录) SVC 系统的响应特性示图 16

附录 C (规范性附录) 计算晶闸管阀损耗的方法 17

附录 D (资料性附录) SVC 工程描述及供货范围 20

附录 E (资料性附录) SVC 的可用率及可靠性 22

附录 F (资料性附录) 备件 23

附录 G (资料性附录) SVC 厂房及其设备布置 24

附录 H (资料性附录) 技术文件及培训 25

附录 I (资料性附录) 闪变改善率 27

静止无功补偿装置(SVC)功能特性

1 范围

本标准规定了静止无功补偿装置(SVC)的基本功能、特性要求。

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 1094(所有部分) 电力变压器(GB 1094.1—1996,eqv IEC 60076-1:1993;GB 1094.2—1996,eqv IEC 60076-2:1993;GB 1094.3—2003,IEC 60076-3:2000,MOD;GB 1094.5—2003,IEC 60076-5:2000,MOD;GB/T 1094.10—2003,IEC 60076-10:2001,MOD)

GB/T 3859.3 半导体变流器 变压器和电抗器(GB/T 3859.3—1993,eqv IEC 60001-3:1991)

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,CISPR 11:2003,IDT)

GB/T 10229 电抗器(GB/T 10229—1988,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/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 12348 工业企业厂界噪声标准

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 17626.2 电磁兼容性 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验(GB/T 17626.2—1998,idt IEC 61000-4-2:1995)

GB/T 17626.3 电磁兼容性 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验(GB/T 17626.3—1998,idt IEC 61000-4-3:1995)

GB/T 17626.4 电磁兼容性 试验和测量技术 快速瞬变电脉冲群抗扰度试验(GB/T 17626.4—1998,idt IEC 61000-4-4:1995)

GB/T 17626.5 电磁兼容性 试验和测量技术 浪涌(冲击)抗扰度试验(GB/T 17626.5—1999,idt IEC 61000-4-5:1995)

GB/T 17626.11 电磁兼容性 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 17626.11—1999,idt IEC 61000-4-11:1994)

GB/T 20297—2006 静止无功补偿装置(SVC)现场试验

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

DL 5014 (330~500)kV 变电所无功补偿装置设计技术规定

IEC 61954 输配电系统静止无功补偿器用晶闸管阀的试验

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

静止无功补偿装置 static var compensator

一种并联连接的静止无功发生器或吸收器,通过对其感性或容性电流的调整,来维持或控制其与电网连接点的某种参数(典型情况为控制母线电压)。

注:静止无功补偿装置包括 TCR、TSC、TCT、TSR 等,一般与机械投切无功补偿装置构成静止无功系统。

3.1.2

晶闸管控制电抗器 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。

3.1.3

晶闸管控制变压器 thyristor-controlled transformer

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

TCT 属于 TCR 的一种变形,将降压变压器与主电抗作为一个整体考虑。

3.1.4

晶闸管投切电容器 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。

3.1.5

晶闸管投切电抗器 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。

3.1.6

机械投切电容器 mechanically switched capacitor

与电网并联连接的、机械开关投切的电容器组,一般串联阻尼电抗器。

3.1.7

机械投切电抗器 mechanically switched reactor

与电网并联连接的、机械开关投切的电抗器。

3.1.8

参考电压 reference voltage

在 SVC 装置 V/I 特性曲线上,总无功输出为零(既不吸收无功,也不发出无功)点的电压。

3.1.9

V/I 特性曲线 voltage/current characteristic

SVC 连接点的电压与 SVC 稳态运行电流之间的关系曲线。

3.1.10

斜率 slope

在 SVC V/I 特性曲线上,容性与感性线性可控范围内,电压的变化与电流的变化标么值的比值,一般以百分数表示。

3.1.11

公共连接点 point of common coupling

用户接入公用电网的连接处。

3.1.12

连接点 point of connection

对于通过变压器与电网相连的 SVC,连接点指变压器一次侧;对于 SVC 通过已有的变压器与电网相连、或 SVC 直接与电网相连,此时连接点指 SVC 的实际接入点。

3.2 缩写

CT:电流互感器

FACTS:柔性(灵活)交流输电系统

HV:高电压

HVDC:高压直流

LV:低电压

MV:中电压

MSC:机械投切电容器

MSR:机械投切电抗器

PCC:公共连接点

SVC:静止无功补偿装置

TCR:晶闸管控制电抗器

TSC:晶闸管投切电容器

TSR:晶闸管投切电抗器

VT:电压互感器

V/I:电压/电流特性曲线

4 SVC 安装场所的环境状况

应尽可能提供 SVC 安装场所的下述气候环境状况,在此环境状况下运行的 SVC 装置,其各项性能指标应达到其额定设计水平:

- a) 海拔高度(m);
- b) 环境温度范围($^{\circ}\text{C}$);
- c) 相对湿度(%);
- d) 日平均最高温度($^{\circ}\text{C}$);
- e) 日平均最低温度($^{\circ}\text{C}$);
- f) 覆冰(kg/m^2);
- g) 最大积雪厚度(m);
- h) 最大霜冻厚度(m);
- i) 最大稳定风速(m/s);
- j) 地震烈度;
- k) 雷暴日(天/年);
- l) 污秽等级;
- m) 盐浓度(mg/cm^2);
- n) 日照水平(W/cm^2);
- o) 土壤电阻率($\Omega \cdot \text{m}$)。

5 SVC 连接点的系统电气参数

应明确 SVC 连接点的下述系统电气参数：

- a) 系统标称线电压(kV)；
- b) 最高持续运行线电压(kV)；
- c) 最低持续运行线电压(kV)；
- d) 系统短时最高运行线电压(kV)及其最大持续时间(s)；
- e) 系统短时最低运行线电压(kV)及其最大持续时间(s)；
- f) 负序电压含量(%)；
- g) 零序电压含量(%) (可选)；
- h) 系统标称频率(Hz)；
- i) 系统供电最大频率偏差(Hz, 参见 GB/T 15945)；
- j) 雷电过电压(kV 峰值)；
- k) 操作过电压(kV 峰值)；
- l) 系统正常运行方式下, 最大、最小短路电流(kA)；
- m) 系统谐波阻抗；
- n) 背景谐波电压(或电流)水平。

6 SVC 主系统特性要求

SVC 系统描述参见附录 D。

6.1 SVC 额定值及其性能要求

应明确给出 SVC 相应的下述电气参数。

6.1.1 额定电气参数及其指标要求

- a) 连接点母线标称电压(kV)；
- b) 参考电压(kV)；
- c) 连续可调的无功范围或母线电压变化范围(标么值, 参见 GB/T 12325)；
- d) 抑制电压波动和闪变、谐波、三相不平衡度的指标(工业及配电用 SVC, 参见 GB 12326、GB/T 14549、GB/T 15543 或依据附录 I 对闪变评定)；
- e) 提高功率因数的指标(工业及配电用 SVC)；
- f) 抑制工频过电压或阻尼功率振荡的指标(输电用 SVC)。

6.1.2 额定容性、感性调节范围

附录 A 图 A.1 为 SVC V/I 特性曲线的示图, 以连接点母线标称电压及 100 MVA 为基准, 对应曲线 A 点为 SVC 的容性额定容量(标么值), 对应曲线 B 点为 SVC 的感性额定容量(标么值), 应明确给出 A、B 两点的数值(标么值)；

6.1.3 V/I 特性曲线斜率的调节范围

附录 A 图 A.2 为 SVC V/I 特性曲线的详示图(放大了一定比例), 在设定的某一基准功率(MVA)下, SVC 特性曲线的斜率应可调, 应明确其调整范围(%)及其最大调节步长；

6.1.4 系统短时最低运行线电压下 SVC 的极端运行限定

在本标准 5 e) 规定的系统短时最低运行线电压(kV)及其最大持续时间(s)条件下(对应附录 A 图 A.1 C 点), SVC 应能够持续发出无功功率；如果这种低电压现象持续时间超过设计约定的时间(s), SVC 应退出运行；

6.1.5 系统短时最高运行线电压下 SVC 的极端运行限定

在本标准 5 d) 规定的系统短时最高运行线电压(kV)及其最大持续时间(s)条件下(对应附录 A

图 A.1 D 点), SVC 应能够持续吸收无功功率; 如果这种过电压现象持续时间超过设计约定的时间(s), SVC 应退出运行;

6.1.6 短时容性无功输出(根据 SVC 的实际用途, 可选)

应明确当母线电压处于某一设定值(并非最低电压)条件下, SVC 短时应达到的最大容性无功输出(MVA), 并明确此运行过程的最大持续时间(s)。

6.1.7 最大可控感性无功输出(根据 SVC 的实际用途, 可选)

应明确规定当母线电压上升到某一设定值(标么值)条件下, SVC 连续可控导通的最大持续时间(s)。

6.1.8 其他高压电气设备的运行要求

补偿装置专用变压器、连接到母线上的所有设备例如滤波支路、TSC 支路、TSR 支路、TCR 支路、电容补偿支路、电抗补偿支路等均应在上述 SVC 短时运行或连续运行情况下保持正常运行, 在超出上述条件的过电压、过电流情况下这些设备应均有可靠保护; 详细要求参照 GB 1094、GB/T 3859.3、GB/T 10229、GB/T 11024.1。

6.1.9 SVC 系统抵御故障的能力

外部故障时 SVC 系统各类设备应不被损坏; 内部故障时不应使事故进一步扩大。

6.1.10 其他功能要求

协商确定用户提出的其他要求及指标。

6.2 控制目标

根据 SVC 的实际用途, 其基本功能及性能要求如下:

6.2.1 SVC 的基本功能

- 在系统稳态运行或故障后情况下, 将三相平均电压或基波正序电压控制在一定的范围内(应明确其 V/I 特性曲线斜率的变化范围(%));
- 分相调节, 实现电压的分相控制, 改善电网三相电压不平衡度;
- 通过无功功率控制, 实现母线电压的控制;
- 通过电压控制, 抑制系统振荡, 提高功率传输能力;
- 通过无功功率调节, 实现功率因数的控制;
- 抑制电压波动和闪变水平;
- 抑制电网谐波电压畸变和注入电网的谐波电流水平。

6.2.2 响应特性

a) SVC 系统响应时间

SVC 响应特性曲线示图如附录 B 图 B.1 所示。

从控制信号(参考电压)输入开始, 直到系统电压达到预期电压水平的 90% 所需的时间称为 SVC 响应时间(ms); 此时应明确所要求的最大过调量(%), 同时规定在达到预设最终变化范围(%)以前的整定时间(ms)。

需要说明的是, 上述响应特性的要求是在第 5 章给出的最小三相短路容量的条件下给出的。

一般来说, SVC 系统响应时间为 30 ms~50 ms。

注: 由于电压变化范围较小, 难以获得清晰的变化曲线, 一般可以用无功功率电流变化曲线来说明响应时间。

b) 控制系统响应时间

控制系统响应时间是从控制信号输入开始, SVC 控制器完成控制信号的采样、分析、计算, 直至控制器发出触发信号所经历的时间。

应明确控制系统的响应时间(ms)。

一般来说, SVC 控制系统的响应时间不大于 15 ms。

6.3 谐波特性

SVC 系统的设计应避免并联电容器组、滤波支路和系统之间发生谐振,并限制相关连接点谐波电压畸变率。

6.3.1 滤波器性能

应明确 SVC 滤波器的下述两种作用:

- 仅仅抑制 SVC 自身产生的谐波对其所连接电力系统的污染;
- 不仅要抑制 SVC 自身产生的谐波,同时要求抑制用户运行过程中产生的谐波(输电用 SVC 可以不具备此功能)。

在下述情况下,谐波电流在 PCC(或双方约定的考核点)引起的谐波电压畸变率宜限制在 GB/T 14549 国家标准要求的限值范围内:

- 在第 4 章和第 5 章要求的环境和系统条件下;
- 在滤波电容允许变化范围内;
- 在 SVC 设备参数允许变化范围内,例如变压器三相绕组阻抗不平衡、阀触发角的不一致性、三相电抗、电容参数不相等。

需指出,如果系统条件在第 5 章所规定的正常连续范围之外,则滤波器性能可能会超出上述要求。

6.3.2 滤波器元件额定值

滤波器元件额定参数的选择应遵守下述原则:

- 承受电网背景谐波电压引起的谐波电流;
- 滤除 SVC 自身产生的谐波电流;
- 滤除用户设备运行过程中产生的谐波电流(输电用 SVC 可以不具备此功能);
- 除非有特别的要求,对于由电网背景谐波电压引起的和由 SVC 自身产生的以及由用户设备运行过程引起的单次谐波电流而言,一般按平方算术和的开方的原则叠加;
- 滤波电容器的额定电压不小于其持续运行电压与各次谐波电压最大值的算术和。

6.4 电话及无线电干扰

- 应考虑 SVC 系统的运行对电话系统的干扰;
- 应考虑 SVC 系统的运行产生的高频辐射对任何已获批准的无线电、电视、微波、或其他运行的设备的干扰,具体要求按 GB 4824 执行。

6.5 噪声

供应商需评估 SVC 系统建成前后的噪声水平,原则如下:

- SVC 系统的设计及 SVC 站的结构需考虑限制噪声干扰;
- SVC 系统外部噪声的限制范围以变电站围护栏为限;
- 站内噪声的限制以距噪音源一定距离为判断。

具体要求见 GB 12348。

6.6 损耗评估

SVC 工程的供应商需根据 6.6.1~6.6.7 的计算公式给出 SVC 系统运行的总损耗(以 kW 为单位)。应明确下列计算损耗的假定条件,虽然 SVC 并不一定运行在该假设条件下。

- 环境温度($^{\circ}\text{C}$);
- 母线电压(标么值);
- V/I 曲线斜率(%)。

对于每一个运行点,都要对 SVC 各部分的损耗进行计算,不论其是否通过电流;SVC 各部分多个组合运行在一个给定的输出上,应计算各自该状态的损耗,并进行相加,最后给出总的平均损耗。

损耗评估中,配电装置、母线、电缆、线夹、连接件等损耗除外。

谐波电流引起的损耗也不包括在内(但是在诸如考虑厂房通风降温方面应予以考虑)。

在损耗计算中,6.6.1~6.6.7 所描述的设备,均应计及其损耗。

6.6.1 晶闸管阀体

按附录 C 执行。

6.6.2 变压器损耗

变压器损耗包括:空载损耗与负载损耗。

变压器损耗一般采取实测的方法。空载损耗测量要求在额定电压且无负载下进行;负载损耗测量要求在二次绕组短路、一次侧电流达到额定数值时进行,该损耗一般用来计算变压器绕组的等效电阻,在 6.6.7 描述的 SVC 的每一种运行点,都用该等效电阻计算相应的损耗,计算中根据 SVC 在该点的输出推算出变压器的电流。

6.6.3 电抗器损耗 P_{reac}

$$P_{\text{reac}} = 3 \times R_{\text{reac}} \times I^2$$

式中:

I ——基波相电流有效值;

R_{reac} ——电抗器基波频率下的电阻(从电抗器试验报告中查取)。

另外,由于其电感受多种因素影响,测试电抗器品质因数 Q 时应尽可能采取与现场一致的条件,例如屏蔽措施、连接方式、线夹的使用等。

6.6.4 电容器损耗 P_{cap}

在供应商提供的电容器元件的测试报告中,应提供每一个电容器元件的介质损耗因数 $\tan \delta$ 。所有介质损耗因数的平均值被用来计算电容器组的损耗。其计算公式如下:

$$P_{\text{cap}} = Q_{\text{cap}} \times \tan \delta$$

式中:

Q_{cap} ——电容器的无功功率,单位为千乏(kvar);

$\tan \delta$ ——电容器的介质损耗因数。

6.6.5 电阻损耗 P_{res}

$$P_{\text{res}} = 3 \times R_{\text{res}} \times I^2$$

式中:

R_{res} ——电阻器电阻;

I ——流经电阻器的基波电流有效值。

6.6.6 辅助系统功率

辅助系统损耗包括泵、风机、室内冷却加热功率消耗,也包括在各种环境温度、无功功率潮流水平下除晶闸管阀之外的各晶闸管及其他设备损耗。估算是在假定的标称电压下进行的。

6.6.7 总损耗评估

对 6.6.1~6.6.6 所描述的各类设备,在各种负荷水平(感性或容性)下对其损耗进行相加。

供应商应提供在系统电压为某一数值(标么值)时,SVC 在稳态运行范围的总运行损耗曲线图。

一般总损耗水平为 SVC 额定容量的 0.8%左右。

7 SVC 主设备功能及其特性要求

SVC 工程供货范围参见附录 D;SVC 系统的可用率及可靠性参见附录 E;备件策略参见附录 F。

SVC 系统所有元件和设备需满足第 2 章中所列的相关标准要求。

7.1 晶闸管阀

7.1.1 性能要求

晶闸管阀的设计应考虑 SVC 总体性能要求,确保安全可靠运行。

7.1.2 阀体维护通道

阀体的结构设计、布局应留有合理的通道,以便于运行人员视察、日常维护、元件更换。有关要求参见 DL 5014。SVC 厂房及其设备布置参见附录 G。

7.1.3 阀的耐受性设计

晶闸管阀各元件及其他器件的设计应考虑如下要求,并留有适当裕度:

- a) 晶闸管阀应能承受系统故障和开关操作过程中的过电压、过电流冲击。TCR、TSR 阀应做到在第 5 章所描述的系统最高持续运行线电压(kV)范围内可控;TSC 阀应能够在第 5 章所描述的系统短时最高运行线电压(kV)下可靠关断;
- b) 考虑到分布电容和元件参数的分散性,晶闸管阀的设计应考虑合适的裕度,以经受阀体各电压级由于电压分布不均而发生损坏;
- c) SVC 的设计应考虑防止误触发,即阀体任一元件在某一错误时刻触发、或没有触发命令而被误触发;
- d) 一般至少当一个元件发生损坏后,阀体其他各元件应运行在其额定值范围内。供应商应给出 SVC 能够维持运行的最大可损坏元件的数目,该数目的确定需考虑 SVC 的可用率指标要求。

7.1.4 维护

晶闸管阀组的监控、维护要求如下:

- a) 监控的目的在于及时鉴别出任意一个已经发生故障、损坏的元件;
- b) 晶闸管阀组的设计应便于元件更换。

7.1.5 阀的保护

供应商应说明阀的过电压保护措施、保护动作时的电压水平。要求如下:

- a) TCR、TSR 阀应配置强制触发系统进行过电压保护;
- b) 在过电压发生时 TSC 阀不应被触发,并应采取闭锁及互锁措施避免误触发。

7.1.6 试验

供应商应提交晶闸管阀的试验大纲以及按相关标准提供试验报告。

7.2 晶闸管阀的冷却系统

冷却系统应保证在最高环境温度及各元件最大无功输出情况下 SVC 正常工作;同时,冷却系统应保证在最低环境温度下 SVC 各元件最小无功输出时可靠运行。

7.2.1 各种冷却方式的基本要求

7.2.1.1 液体冷却

- a) 封闭循环系统应提供充分的散热能力,例如泵、热交换器、风机容量的选择均应满足 SVC 系统各种方式散热的要求(一般为双机备用,若双方约定,可不提供备用冷却系统);
- b) 在冷却设备例如泵、风机、冷却器存在故障要求更换时,应保证冷却系统仍正常运行(无备用冷却系统除外);
- c) 为了保证冷却液电阻率在一定水平,应有液体净化环节。供应商应说明液体电阻率的设计数值,并阐明对电阻率是如何进行检测以及电阻率不合格时会有什么后果;
- d) 应该有足够的去离子材料,以保证在大于一个检修维护周期的时间内不需要更换。更换去离子材料时冷却系统不应停运。供应商应给出去离子材料检查、更换的时间周期及其方法;
- e) 封闭循环系统的维护及循环冷却液损耗的补充每年不得超过一次。

采用纯水冷却的散热装置应满足 JB 5833 的规定。

7.2.1.2 空气冷却

- a) 空气冷却系统应提供充分的散热能力,包括应选择足够容量的送风机、空气滤清器、监测设备、热量交换器(一般为双机备用,若双方约定,可不提供备用冷却系统);
- b) 当冷却系统有一台设备存在缺陷时,冷却系统应仍能工作而不关闭(无备用冷却系统除外);

- c) 供应商应描述空气滤清器系统及其原理,以及对送风机、空气滤清器及其他设备运行状态监测的详细情况。

7.2.1.3 热管冷却

- a) 热管冷却系统应随晶闸管阀配备全套的散热器设备,例如热管散热器、夹具、支架、绝缘件、风机等,以满足 SVC 系统的散热要求;
- b) 应有合理的热管冗余设计,当有一只散热器存在缺陷时,仍不影响晶闸管阀组的正常运行;
- c) 组装前,热管应进行高温检漏试验;
- d) 组装前,热管应进行等温性试验;热管两端温差不应大于规定值;
- e) 采用热管散热器散热时,推荐使用双面散热;
- f) 供应商应给出热管散热器检查周期、方法及性能校核标准;
- g) 热管中所用的介质应是无毒、无腐蚀、符合国家环境保护要求;
- h) 热管的寿命不应低于 20 年。

热管散热器应符合 JB/T 8757 的规定。

7.2.2 冷却系统保护

冷却系统应对其自身的运行状态进行监控,同时,应对冷却介质进行监测。其保护系统应具备相应的报警和故障信号。

7.2.2.1 液体冷却系统

- a) 至少包括下述报警信号:
 - 1) 去离子剂消耗到接近临界值;
 - 2) 冷却液电阻率降低到接近临界值;
 - 3) 冷却液液位降低到接近临界值;
 - 4) 主泵停运;
 - 5) 主风机停运;
 - 6) 冷却液温度偏高;
 - 7) 泵循环系统故障。
- b) 至少在下列情况下,应发出故障信号并停机,故障信号发出时其参数的监测值应大于 7.2.2.1 a) 的相应报警信号数值:
 - 1) 液温超限;
 - 2) 冷却液液位过低;
 - 3) 主备泵同时停运或液流阻塞。

7.2.2.2 空气冷却系统

- a) 至少应包括下述报警:
 - 1) 空气滤清器压差偏高;
 - 2) 风量偏低;
 - 3) 风机故障。
- b) 至少包括下述故障停机信号:
 - 1) 排气温度超限;
 - 2) 风量过低。

7.2.2.3 热管冷却系统

- a) 至少应包括环境温度偏高报警信号;
- b) 至少应包括环境温度超限停机信号。

7.3 控制设备及其操作界面

7.3.1 控制设备

- a) 控制系统应实现 6.2 要求的控制目标；
- b) 阀及其控制系统的设计应避免在一对反并联晶闸管上出现串扰现象；
- c) 若包括对 TSC 进行投切控制时,为了获取 SVC 输出变化的平滑调节,供应商应详细阐明 TCR 与 TSC 投入、切除之间的控制方式。

7.3.2 操作界面

- a) 根据需要,控制接口可提供远方和就地操作两种方式。任何时候的操作仅能用一种方式进行。在这两种操作方式下应能够观察到设备状况、控制参数的设定和运行参数。
- b) 当有远方和就地两种操作方式时,仅要求在设备维护或调试运行情况下,在就地执行下述控制功能:
 - 1) 按顺序启动、停止；
 - 2) 改变参考电压及 V/I 特性曲线斜率；
 - 3) 报警复位。
- c) 就地及远方控制室可提供下述显示内容(可选):
 - 1) 启停操作顺序；
 - 2) 参考电压及 V/I 特性曲线斜率的设定值；
 - 3) 控制点的选择；
 - 4) 其他参量设定值,例如辅助稳定信号；
 - 5) SVC“运行”标识；
 - 6) SVC“停运”标识；
 - 7) 主变压器原边三相线电流；
 - 8) 补偿装置发出的总无功或吸收的总无功以及各相电流；
 - 9) 原边相电压；
 - 10) 副边相电压；
 - 11) SVC 支路的运行或退出；
 - 12) 报警及状态信息(可列表说明)。
- d) 通讯规约按照用户要求执行。

7.4 监视与保护

7.4.1 监视

中央控制单元要求能够对其自身运行情况进行监视(自监视),同时要求能够对 SVC 系统及其元件的运行状态进行监视。中央控制单元也要求配置对其自检系统的保护。

应设置两种类型的保护,其一是报警,其二是跳闸。

- a) 至少应对下述报警信息进行监视:
 - 1) 辅助设施供电电源故障,备用电源投入运行；
 - 2) 冷却系统风机或水泵故障,备用水泵或风机投入运行；
 - 3) 冷却系统报警,见 7.2.2.1 a)；
 - 4) 电容器故障报警；
 - 5) 晶闸管故障报警；
 - 6) 各支路的运行情况；
 - 7) 被控母线电压监测信号消失,此时 SVC 控制系统保持在前一运行点(如果该电压信号不是同步电压信号的话)。
- b) 至少应对下述跳闸保护信息进行监视：

- 1) 所有控制电源消失;
- 2) 冷却系统失效;
- 3) 同步电压信号消失;
- 4) 电容器组元件损坏数目过多;
- 5) 晶闸管阀严重过流;
- 6) 晶闸管元件损坏,超过冗余数。

7.4.2 系统保护

SVC 正常运行期间所有保护设备和供电系统应做到充分配合,以避免出现拒动或误动。保护设备信号取自电压互感器(VT)、电流互感器(CT)等。VT、CT 一般使用普遍用于保护级的即可。SVC 保护应与供电系统保护相配合。

7.4.3 元件保护

- a) 专用变压器保护(若有),包括:
 - 1) 过电流或差动;
 - 2) 温度过高;
 - 3) 接地故障;
 - 4) 瓦斯。
- b) 主电抗器的过电流保护。
- c) 电容器组(或滤波器)保护,包括:
 - 1) 过电流;
 - 2) 不平衡;
 - 3) 过电压;
 - 4) 低电压;
 - 5) 低周(可选)。
- d) 母线保护,包括:
 - 1) 过电流或电流差动;
 - 2) 接地故障。
- e) 晶闸管阀保护,包括:
 - 1) 过电流;
 - 2) 过电压;
 - 3) 超温保护。
- f) 主控制器保护,包括:
 - 1) 控制电源失电;
 - 2) 同步信号消失。

7.5 电抗器

- a) 室外用电抗器优先选择干式、空心电抗器;
- b) 应考虑电抗器磁场对人体及设备的影响;
- c) 所有金属性围栏、构件,包括地基,应尽可能避免形成金属环路和并联回路以防止产生感应电流(涡流)。

其他要求见 GB/T 10229。

7.6 电容器组

- a) 电容器组中各单台电容器及其保护熔丝应进行合理的选配;
- b) 各电容器组应设置不平衡保护以反映可能出现的电容器元件损坏。

其他要求见 GB/T 11024.1。

7.7 SVC 专用变压器

- a) 专用变压器的设计应保证承载 100% 的无功电流,绕组绝缘应与第 5 章的系统参数相配合;
- b) 在 SVC 各种正常的运行条件下,变压器应能够承受有关的谐波电流及持续电压,并且不对其寿命产生影响。变压器应具有承载一定水平直流分量的能力;
- c) 变压器的试验应依据 GB 1094 标准进行;
- d) 为了保证变压器运行中产生最小的谐波含量,与常规变压器的设计相比,SVC 专用变压器磁通密度的设计应留有更多的裕度。

其他要求见 GB/T 3859.3—1993。

7.8 隔离开关及接地开关

- a) 对每个单独的电路(例如 TCR、TSC、滤波器)当其退出运行进行维修时,应有可靠的接地措施;
- b) SVC 各支路应配置隔离开关和接地开关,以保证安全。

7.9 辅助电源

- a) SVC 设备所需要的各种操作均要求有可靠的电源,包括降压(所用)变压器、交流配电盘、电池、充电器等;
- b) 所有泵、风机、阀及其控制系统、室内空调系统等均需要可靠的电源供应。

8 工程研究

8.1 动态性能分析

动态性能分析主要用以考核在系统扰动情况下控制系统的性能。这些扰动包括:主要故障、甩负荷、负荷冲击运行等所要求的各类功能。根据其用途,可在下述项目中选择:

- a) 启动分析,包括变压器投运、停机和其他开关动作事件;
- b) 系统故障恢复时 SVC 的行为与作用的分析(输电系统用);
- c) 响应时间分析以及在负荷冲击运行情况下 SVC 的行为与作用的分析,以评估 SVC 系统对电压波动、闪变的抑制作用;
- d) SVC 对抑制三相不平衡度的作用分析;
- e) 保护及保护间协调分析;
- f) 绝缘配合分析(包括动态过电压、雷电冲击、故障和开关暂态)用以确定绝缘水平、避雷器参数;
- g) 在系统扰动情况下,SVC 用以阻尼功率振荡时的附加控制性能分析(输电系统用);
- h) SVC 控制系统与附近其他控制系统间相互作用的分析。附近控制系统包括:高压直流(HVDC)控制、发电机控制、其他柔性(灵活)交流输电系统(FACTS)设备控制(输电系统用)。

8.2 谐波分析

在 6.3.1 的滤波器性能要求下,谐波分析的目的在于评估滤波装置的设计是否合理。

一般通过系统仿真来检验分析 SVC 滤波器的效果。应评估 SVC 所连 PCC 点可能出现的最大谐波水平。

评估 PCC 点最大谐波水平应基于下述内容:

- a) 系统的运行条件变化。包括系统最大、最小电压水平,SVC 最大、最小无功出力;
- b) 滤波器元件参数正常最大误差;
- c) 最大的系统电压不平衡度及不对称触产生的非特征谐波;
- d) 冲击性负荷的各类典型运行工况(工业和配电 SVC 用);
- e) 可能的谐振过电压;
- f) 在规定(或指定)运行条件下滤波器安全校验;
- g) MSR、变压器饱和产生的谐波;