

ICS 29.240.99

K 40

备案号：44905-2014

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 42028 — 2014

磁控电抗器型高压静止无功补偿 装置（MSVC）

MCR-type high voltage static var compensation installations

2014-03-18发布

2014-08-01实施

国家能源局 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	4
5 使用条件	4
5.1 正常使用条件	4
5.2 其他	5
6 技术性能要求	5
6.1 外观质量	5
6.2 MSVC 装置的额定值	5
6.3 响应特性	7
6.4 补偿误差	7
6.5 谐波特性	7
6.6 稳态过电压	7
6.7 温升	7
6.8 噪声	8
6.9 主电路及辅助电路电气设备选择	8
6.10 保护方式及投切顺序	14
6.11 结构和导体要求	15
6.12 安全要求	16
7 试验	16
7.1 试验条件	16
7.2 试验用仪器仪表	17
7.3 试验分类	17
7.4 判定规则	19
7.5 试验方法	19
8 标志、包装、装箱资料、贮存和运输	24
8.1 标志	24
8.2 包装	24
8.3 装箱资料	24
8.4 贮存和运输	25
附录 A (资料性附录) MSVC 装置接线图例	26
图 1 响应时间定义	3
图 2 MSVC 装置型号定义	4
图 A.1 MSVC 装置接线图例	26
表 1 标准绝缘水平	6

NB/T 42028—2014

表 2 MCR 绕组的额定耐受电压	6
表 3 稳态过电压	7
表 4 MCR 的损耗	8
表 5 干式 MCR 温升限值	10
表 6 油浸式 MCR 的噪声	11
表 7 干式 MCR 的噪声	11
表 8 励磁调节器各部位的温升限值	11
表 9 有功功率、无功功率、功率因数的参比条件	12
表 10 户内 MSVC 装置的最小电气间隙	15
表 11 户外 MSVC 装置的最小电气间隙	15
表 12 防护等级	16
表 13 试验项目	17

前　　言

本标准由国家能源局提出。

本标准由能源行业无功补偿和谐波治理装置标准化技术委员会（NEA/TC9）归口。

本标准负责起草单位：青岛市恒顺电气股份有限公司、西安高压电器研究院有限责任公司。

本标准参加起草单位：浙江省电力公司电力科学研究院、青岛菲特电器科技有限公司、西安森宝电气工程有限公司、西安西电电力系统有限公司、浙江绍兴电力局、山东通用节能技术研究所、南京南瑞继保电气有限公司、鞍山市恒力电气设备制造有限公司、丹东欣泰电气股份有限公司、合肥华威自动化有限公司、深圳市三和电力科技有限公司、深圳市普顺科技有限公司、辽宁电能发展股份有限公司、杭州银湖电气设备有限公司、陕西合容电气集团有限公司、山东迪生电气股份有限公司、上海南自科技股份有限公司、安徽省电力科学研究院、山东泰开电力电子有限公司、常州博瑞电力自动化设备有限公司、新东北电气（锦州）电力电容器有限公司、北京赤那思电气技术有限公司、上海永锦电气集团有限公司、杭州精诚电力设备有限公司。

本标准主要起草人：孙进科、张建平、张宗有、王恒、金涌涛、孙伟、元复兴、朱静、田恩文、王学才、于洋、王洪蛟、陈赤汉、李电、江钧祥、陈晓宇、吕韬、付大志、张剑呼、全凤岐、刘菁、孙士民、杨圣利、王耀、叶选茂、陶梅、冯丽、张广泰、王瑜婧、戈兴茹、赵福庆、徐明新、周松强。

本标准为首次制定。

磁控电抗器型高压静止无功补偿装置（MSVC）

1 范围

本标准规定了磁控电抗器型高压静止无功补偿装置的术语和定义，型号命名，使用条件，技术性能要求，试验以及标志、包装、装箱资料、贮存和运输要求。

本标准适用于标称电压 1000V 及以上至 110kV 及以下交流电力系统中，主要由并联使用的磁控电抗器（MCR）支路和电容器支路组成，通过 MCR 连续调节无功功率输出的静止无功补偿装置（以下简称 MSVC 装置）。

注：110kV 以上电压等级的装置可参照本标准。

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 321 优先数和优先数系（GB/T 321—2005, ISO 3: 1973, IDT）

GB 1094.2 电力变压器 第 2 部分：液浸式变压器的温升（GB 1094.2—2013, IEC 60076-2: 2011, MOD）

GB 1094.3 电力变压器 第 3 部分：绝缘水平、绝缘试验和外绝缘空气间隙（GB 1094.3—2003, IEC 60076-3: 2000, MOD）

GB/T 1094.4 电力变压器 第 4 部分：电力变压器和电抗器的雷电冲击和操作冲击试验导则（GB/T 1094.4—2005, IEC 60076-4: 2002, MOD）

GB/T 1094.6 电力变压器 第 6 部分：电抗器（GB/T 1094.6—2011, IEC 60076-6: 2007, MOD）

GB/T 1094.10 电力变压器 第 10 部分：声级测定（GB/T 1094.10—2003, IEC 60076-10: 2001, MOD）

GB 1094.11 电力变压器 第 11 部分：干式变压器（GB 1094.11—2007, IEC 60076-11: 2004, MOD）

GB 1208 电流互感器（GB 1208—2006, IEC 60044-1: 2003, MOD）

GB 1984 高压交流断路器（GB 1984—2003, IEC 62271-100: 2001, MOD）

GB 1985 高压交流隔离开关和接地开关（GB 1985—2004, IEC 62271-102: 2002, MOD）

GB 2536 电工流体 变压器和开关用的未使用过的矿物绝缘油（GB 2536—2011, IEC 60296: 2003, MOD）

GB/T 2887—2011 计算机场地通用规范

GB/T 6451 油浸式电力变压器技术参数和要求

GB/T 7261—2008 继电保护和安全自动装置基本试验方法

GB 7947 人机界面标志标识的基本和安全规则 导体颜色或字母数字标识（GB 7947—2010, IEC 60446: 2007, IDT）

GB/T 11024.1 标称电压 1000V 以上交流电力系统用并联电容器 第 1 部分：总则（GB/T 11024.1—2010, IEC 60871-1: 2005, MOD）

GB 11032 交流无间隙氧化锌避雷器（GB 11032—2010, IEC 60099-4: 2006, MOD）

GB 12348 工业企业厂界环境噪声排放标准

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 14598.9—2010 量度继电器和保护装置 第 22-3 部分：电气骚扰试验 辐射电磁场抗扰度

(IEC 60255-22-3: 2007, IDT)

GB/T 14598.10—2012 量度继电器和保护装置 第 22-4 部分: 电气骚扰试验 电快速瞬变/脉冲群抗扰度试验 (IEC 60255-22-4: 2008, IDT)

GB/T 14598.13—2008 电气继电器 第 22-1 部分: 量度继电器和保护装置的电气骚扰试验 1MHz 脉冲群抗扰度试验 (IEC 60255-22-1: 2007, MOD)

GB/T 14598.14—2010 量度继电器和保护装置 第 22-2 部分: 电气骚扰试验 静放电试验 (IEC 60255-22-2: 2008, IDT)

GB/T 14598.16—2002 电气继电器 第 25 部分: 量度继电器和保护装置的电磁发射 (IEC 60255-25: 2000, IDT)

GB/T 14598.18—2012 量度继电器和保护装置 第 22-5 部分: 电气骚扰试验 浪涌抗扰度试验 (IEC 60255-22-5: 2008, IDT)

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分: 一般定义及试验要求 (GB/T 16927.1—2011, IEC 60060-1: 2006, 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 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 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 (GB/T 26218.2—2010, IEC/TS 60815-2: 2008, MOD)

GB/T 26868 高压滤波装置设计与应用导则

GB 50227 并联电容器装置设计规范

GB/T 30841 高压并联电容器装置的通用技术要求

JB/T 10931 高压电力滤波装置

DL/T 1010.3—2006 高压静止无功补偿装置 第 3 部分: 控制系统

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

磁控电抗器 magnetically controlled reactor; MCR

通过改变铁芯的饱和程度实现电抗值改变的可控电抗器。

3.2

电容器支路 capacitor branch circuit

主要由电容器、串联电抗器等组成的电气回路。

3.3

MCR 支路 MCR branch circuit

主要由磁控电抗器本体、励磁调节器等部分组成, 用以实现连续调节感性无功功率输出的电气回路。

3.4

励磁调节器 excitation regulator of a MCR

以晶闸管或其他电力电子器件作为主要控制元件, 与控制绕组相连接, 对 MCR 进行容量控制的部件。

3.5

磁控电抗器型静止无功补偿装置 MCR-type static var compensation installations

主要由并联使用的 MCR 支路和电容器支路组成, 通过 MCR 连续调节无功功率输出的静止无功补

偿装置，简称 MSVC 装置。

3.6

MSVC 装置的额定电压 rated voltage of MSVC

MSVC 装置拟接入系统的标称电压。

3.7

MSVC 装置的额定频率 rated frequency of MSVC

MSVC 装置拟接入系统的额定频率。

3.8

MSVC 装置的容量调节范围 regulated capacity range of MSVC

MSVC 装置能实现的感性—容性的容量输出变化区间。

3.9

MCR 的额定容量 nominal capacity of a MCR

额定频率下 MCR 的设计容量。

3.10

MCR 的容量调节范围 regulated capacity range of a MCR

MCR 在额定电压下可控的最小输出容量到额定容量的变化区间，一般用额定容量的百分比表示。

3.11

电容器支路的安装容量 rated installation of capacitor branch circuit

电容器支路所有电容器标称容量之和。

3.12

电容器支路的额定容量 fundamental output of capacitor branch circuit

电容器支路在其工频额定电压下的输出容量。

3.13

主电路 main circuit

MSVC 装置中与拟接入系统具有相同绝缘水平的电路。

3.14

辅助电路 auxiliary circuit

用以完成检测、控制、保护等辅助功能的二次电路。

3.15

控制装置 control device

实现 MSVC 装置实时调节功能的测控系统。

3.16

响应时间 step response time

当输入阶跃控制信号后，MSVC 输出达到要求输出值的 90% 所用的时间，且期间没有产生过冲（超调），又称上升时间，如图 1 所示。可以用 MCR 的电流变化曲线来说明。

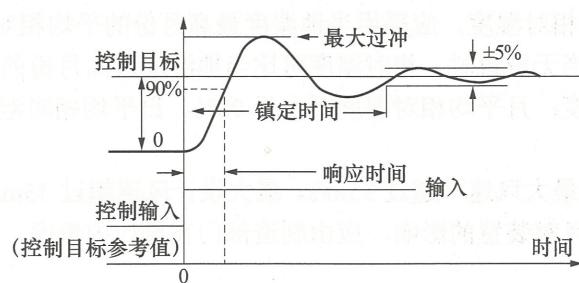


图 1 响应时间定义

3.17

镇定时间 settling time

当输入阶跃信号后, MSVC 响应达到并保持在终值(或目标值)±5%误差范围所需的最长时间, 又称调节时间。可以用 MCR 电流变化曲线来说明。

4 型号命名

MSVC 装置型号由产品代号、MSVC 装置的额定电压、电容器支路的额定容量、MCR 的额定容量、安装环境 5 部分组成。MSVC 装置型号定义如图 2 所示。

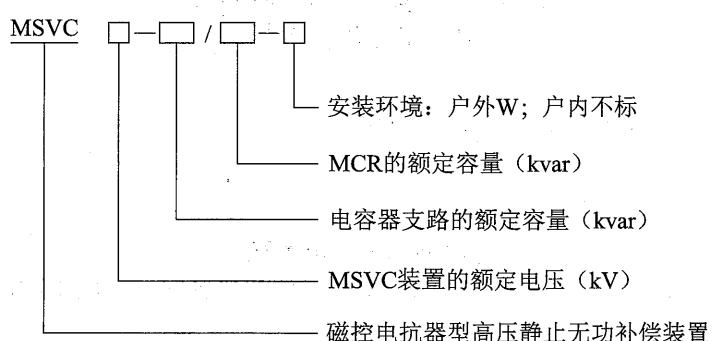


图 2 MSVC 装置型号定义

5 使用条件

5.1 正常使用条件

5.1.1 主电路设备使用条件

5.1.1.1 海拔

海拔不超过 1000m。

注: 用于海拔高于 1000m 地区的装置, 其要求由购买方与制造方协商确定。

5.1.1.2 环境空气温度类别

安装运行地区的环境温度范围为 -40℃ ~ +45℃。在此温度范围内按 MSVC 装置所能适应的环境空气温度范围分为若干温度类别, 每一温度类别均以一斜线隔开的下限温度值和上限温度值来表示。

下限温度为 MSVC 装置可以投入运行的最低环境空气温度, 其值从 +5、-5、-25、-40℃ 中选取。

上限温度为 MSVC 装置可以在其中连续运行的最高环境空气温度, 其值从 40、45℃ 中选取。

任何下限温度和上限温度的组合均可选为 MSVC 装置的温度类别, 如 -25℃/40℃、+5℃/45℃。

MSVC 装置运行期间, 在电容器组的最热区域中两台电容器外壳最热点连线中点上测得的空气温度应不超过上限温度加 5℃。

5.1.1.3 湿度

MSVC 装置运行地点的相对湿度, 应采用当地湿度最高月份的平均相对湿度。对湿度较高的场所, 应采用该处实际相对湿度。当无资料时, 相对湿度可比当地湿度最高月份的平均相对湿度高 5%。一般地区推荐的产品环境相对湿度: 月平均相对湿度不大于 90%, 日平均相对湿度不大于 95%。

5.1.1.4 风速

30 年一遇的 10min 平均最大风速不超过 35m/s。最大设计风速超过 35m/s 的地区, 可在屋外 MSVC 装置的布置中采取措施。阵风对装置的影响, 应由制造部门在设计中考虑。

5.1.1.5 覆冰厚度

对于户外运行的装置, 在积雪、覆冰严重地区, 应尽量采取防止冰雪引起事故的措施。隔离开关的

破冰厚度，应大于安装地点的最大覆冰厚度。

5.1.1.6 安装环境

安装环境无明显污秽。设备外绝缘的爬电比距按照 GB/T 26218.1 和 GB/T 26218.2 确定。

地震引发的地面加速度 a_g ：水平方向小于 $0.3g$ ；垂直方向小于 $0.15g$ 。

5.1.2 控制装置使用条件

5.1.2.1 温度和湿度范围

应满足以下要求：

- a) 环境温度： $-5^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 。
- b) 相对湿度： $5\% \sim 95\%$ 。

5.1.2.2 安装场所

应满足以下要求：

- a) 使用地点的电磁环境不应超过本标准规定的电磁兼容要求；
- b) 使用环境不应有超过本标准规定的振动；
- c) 无爆炸危险介质，周围介质中不应含有能腐蚀金属、破坏绝缘和表面涂覆层的介质及导电介质，不允许有明显的水汽，不允许有严重的霉菌存在；
- d) 本标准规定的控制装置不承受太阳辐射、雨和水的冲洗，适应室内的有气候防护的环境；
- e) 接地电阻应符合 GB/T 2887—2011 中 4.8 的规定。

5.1.2.3 电源条件

应满足以下要求：

- a) 交流额定电压：220、380V，电压偏差 $-20\% \sim +15\%$ ，额定频率为 50Hz，频率偏差 $\pm 2.5\text{Hz}$ ，电压谐波总畸变率小于 10%。
- b) 直流额定电压：110、220V，电压偏差 $-20\% \sim +15\%$ ，纹波系数不大于 5%。

5.2 其他

非正常使用条件由制造方和购买方商定。

6 技术性能要求

6.1 外观质量

应满足以下要求：

- a) 装置内金属部件的外表应有良好的防腐蚀层，且色泽均匀，无明显的流痕、划痕、凹陷、污垢、防腐蚀层脱落和锈蚀等缺陷；
- b) 装置的构架应牢固，焊接部位的焊缝应平整，无焊穿、裂纹、咬边、溅渣、气孔、夹渣等现象；
- c) 装置的铜件、铁件、钢材等易锈表面应有镀层、漆层等可靠的防腐蚀层；
- d) 装置的套管、绝缘子等电瓷部件不应有明显的机械损伤。

6.2 MSVC 装置的额定值

6.2.1 MSVC 装置的额定电压

MSVC 装置的额定电压（单位为 kV）推荐在下列数值中选取：3，6，10，15，20，35（27.5），66，110。

6.2.2 MSVC 装置的额定容量

MSVC 装置的额定容量由 MCR 的额定容量和电容器支路的额定容量组合而成。

6.2.2.1 MCR 的额定容量

MCR 的容量（单位为 kvar）优先值应优先从 GB/T 321 中 R10 序列中选取：100，125，160，200，250，315，400，500，630，800，1000，1250，1600，2000，2500，3150，4000，5000，6300，8000，10 000，12 500，16 000，20 000，25 000，31 500，40 000，50 000，63 000。

6.2.2.2 电容器支路的安装容量

电容器支路每个支路的安装容量(单位为 kvar)推荐在下列数值中选取: 300, 450, 600, 900, 1200, 1500, 1800, 2400, 3000, 3600, 4200, 4800 (5000), 6000, 7200, 8000, 9000, 10 000, 12 000, 14 400, 16 800, 20 000, 40 000, 50 000, 60 000。

6.2.2.3 MSVC 装置的容量调节范围

MSVC 装置的容量调节范围包括由电容器支路投切引起的稳态无功变化量以及由 MCR 支路调节引起的动态无功变化量。

6.2.3 绝缘水平

6.2.3.1 MSVC 装置主电路绝缘水平

MSVC 装置的主电路相间以及相与地之间应承受表 1 规定的耐受电压。短时工频耐受电压施加的时间为 1min。

表 1 标准绝缘水平

单位: kV

系统标称电压 (方均根值)	设备最高电压 U_m (方均根值)	主电路耐受电压		辅助电路工频耐受电压 (控制装置除外, 方均根值)
		工频耐受电压 (干试与湿试, 方均根值)	雷电冲击耐受电压 (峰值)	
3	3.6	18	40	2
6	7.2	25	60	
10	12.0	30/42 ^a	75	
15	18.0	40	105	
20	24.0	50	125	
35	40.5	80/95 ^a	185	
66	72.5	140	325	
110	126	185; 200	450	

^a 该栏斜线上数据为设备外绝缘在湿燥状态下的耐受电压(或称湿耐受电压), 该栏斜线下数据为设备外绝缘在干燥状态下的耐受电压(或称干耐受电压)。

6.2.3.2 MCR 的绝缘水平

6.2.3.2.1 MCR 绕组的绝缘水平

MCR 绕组的额定耐受电压见表 2, 短时感应耐受电压为绕组额定电压的 2 倍。短时工频耐受电压施加的时间为 1min。

表 2 MCR 绕组的额定耐受电压

单位: kV

系统标称电压 (方均根值)	设备最高电压 U_m (方均根值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定短时外施 耐受电压 (方均根值)
		全波	截波	
3	3.6	40 (20)	45	18 (10)
6	7.2	60 (40)	65	25 (20)
10	12	75 (60)	85	35
15	17.5	105 (75)	115	45 (38)
20	24	125 (95)	140	55 (50)
35	40.5	200 (145)	220	85 (70)

表 2 (续)

系统标称电压 (方均根值)	设备最高电压 U_m (方均根值)	额定雷电冲击耐受电压 (峰值)		额定短时外施 耐受电压 (方均根值)
		全波	截波	
66	72.5	325	360	140
110	126	480	530	200

注：括号内数值仅适用于干式 MCR。

6.2.3.2.2 MCR 中性点端子的绝缘水平

对于额定电压为 110kV 的 MCR，当绕组采用星形 (YN) 接线时中性点通过套管引出，中性点端子的标准外施耐受电压应符合 GB 1094.3 的要求。

额定电压为 110kV 的 MCR 应考虑中性点接地装置。

6.3 响应特性

MSVC 装置响应特性曲线如图 1 所示。

在接入系统的最小三相短路容量条件下，MSVC 装置的最大过冲（超调）量应不超过 20%。MSVC 装置的响应时间应符合下述要求：

- a) MCR 额定调节容量范围内（增磁和减磁状态）阶跃响应时间应小于 600ms；
- b) 对于额定电压高于 66kV 的产品和对产品响应特性有特殊要求时（响应时间不超过 600ms），购买方应要求设备供应商进行特殊设计。

6.4 补偿误差

在 10%~100% 调节容量范围内，MSVC 装置的无功补偿误差应小于额定值的 1%。

6.5 谐波特性

MSVC 装置的设计应避免电容器支路和系统之间发生谐振。

当连接点的系统谐波含量超过 MSVC 装置的承受能力时，需考虑并限制相关连接点电压畸变率。

MSVC 装置在接入电网运行时，考核点的谐波电压及注入系统的谐波电流应满足 GB/T 14549 的要求。

需指出，如果系统条件在 MSVC 装置所规定的正常运行范围之外，则 MSVC 装置的性能可能无法满足上述要求。

6.6 稳态过电压

MSVC 装置的连续运行电压为 $1.00U_N$ ，且能在表 3 所规定的稳态过电压下运行相应的时间。

表 3 稳态过电压

频率	电压因数 $\times U_N$ (方均根值)	最大持续时间	说 明
工频	1.00	连续	MSVC 装置运行任何期间的最高平均值。在运行期间出现的小于 24h 的例外情况采用下述规定
	1.10	每 24h 中 12h	系统电压调整和波动
	1.15	每 24h 中 30min	系统电压调整和波动
	1.20	5min	轻负荷下电压升高
	1.30	1min	

6.7 温升

MSVC 装置主电路中各连接处温升应不超过 50K，各电气设备的温升应不超过相关标准的规定。

6.8 噪声

需评估 MSVC 系统建成前后的噪声水平，具体参照 GB 12348。

6.9 主电路及辅助电路电气设备选择

主电路及辅助电路电气设备包括隔离开关和接地开关、断路器、电流互感器、金属氧化物避雷器以及 MCR 支路主要设备、电容器支路主要设备和控制装置等。

6.9.1 隔离开关和接地开关

选用的隔离开关和接地开关的额定电流应不小于 1.5 倍支路额定电流，其余参照 GB 1985。

6.9.2 断路器

选用的断路器的额定电流应不小于 1.5 倍支路额定电流，其余参照 GB 1984。

6.9.3 电流互感器

选用的电流互感器应符合 GB 1208 的规定。

6.9.4 金属氧化物避雷器

当需要限制投切 MSVC 装置引起的操作过电压时，宜选用金属氧化物避雷器。

选择金属氧化物避雷器时，应考虑避雷器的连接方式、可能出现的过电压倍数和 MSVC 装置各支路的容量等。

金属氧化物避雷器应安装于 MCR 和电容器的电源侧。

金属氧化物避雷器应符合 GB 11032 的有关规定。

6.9.5 MCR 支路主要设备

6.9.5.1 MCR 本体

6.9.5.1.1 MCR 的损耗

在额定电压和额定电流下，MCR 的损耗应不超过表 4 的规定。

表 4 MCR 的 损 耗

额定电压 kV	额定容量(三相) kvar	联结方式	空载损耗 kW	额定容量下的损耗	
				kW	%
6, 10	630	三角形	1.03	11.80	1.87
	800		1.26	14.43	1.80
	1000		1.48	16.93	1.69
	1250		1.75	20.07	1.61
	1600		2.11	24.11	1.51
	2000		2.52	28.85	1.44
	2500		2.97	33.80	1.35
	3150		3.51	39.83	1.26
	4000		4.32	48.24	1.21
	5000		5.13	56.47	1.13
	6300		6.12	65.61	1.04
	8000		9.84	76.91	0.96
	10 000		11.60	88.14	0.88
	12 500		13.68	100.18	0.80

表 4 (续)

额定电压 kV	额定容量(三相) kvar	联结方式	空载损耗 kW	额定容量下的损耗	
				kW	%
35 (27.5)	2000	三角形	2.72	31.23	1.56
	2500		3.20	35.29	1.41
	3150		3.80	41.71	1.32
	4000		4.52	49.54	1.24
	5000		5.40	58.22	1.16
	6300		6.56	68.47	1.09
	8000		9.00	86.85	1.09
	10 000		10.88	104.11	1.04
	12 500		12.60	121.59	0.97
	16 000		15.20	147.31	0.92
	20 000		18.00	175.59	0.88
	25 000		21.28	207.62	0.83
	31 500		25.28	247.48	0.79
	40 000		36.80	294.26	0.74
66	6300	三角形	9.20	85.00	1.35
	8000		11.20	102.69	1.28
	10 000		13.20	121.08	1.21
	12 500		15.60	143.26	1.15
	16 000		18.80	173.65	1.09
	20 000		22.00	205.37	1.03
	25 000		26.00	242.71	0.97
	31 500		30.80	289.03	0.92
	40 000		36.80	343.43	0.86
	50 000		44.00	415.15	0.83
	63 000		52.00	493.61	0.78
110	6300	星形 (带中性线)	9.30	85.65	1.36
	8000		11.20	104.30	1.30
	10 000		13.20	122.90	1.23
	12 500		15.60	145.50	1.16
	16 000		18.80	176.10	1.10
	20 000		22.00	208.10	1.04
	25 000		26.00	246.00	0.98
	31 500		30.80	293.30	0.93
	40 000		36.80	348.40	0.87
	50 000		44.00	421.80	0.84
	63 000		52.00	501.80	0.80
	75 000		59.00	578.10	0.77
	90 000		68.00	666.00	0.74
	120 000		84.80	829.10	0.69

注：MCR 的空载损耗是指励磁调节器触发闭锁时的损耗。

6.9.5.1.2 运行范围

容量调节范围：5%~100%额定容量连续可调；1.1倍额定容量（1.1倍额定电压、额定电流时）下长期连续运行；额定容量小于630kvar的MCR的容量调节范围由设备制造方和购买方协商确定。

运行电压范围：0.8~1.1倍额定电压；0.8倍额定电压以下设备运行能力由设备制造方和购买方协商确定。

6.9.5.1.3 允许偏差

6.9.5.1.3.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下，三相MCR额定电抗的允许偏差应在±5%范围内，每相电抗与三相电抗平均值间的偏差不应超过±2%。

6.9.5.1.3.2 损耗值允许偏差

损耗实测值与规定值的允许偏差不应超过+10%。

6.9.5.1.4 局部放电水平

对干式MCR和66kV电压等级及以上的油浸式MCR应进行局部放电测量。

对于油浸式MCR，在规定的局部放电测量电压 U_2 （相对地 $1.3U_m/\sqrt{3}$ ；相间 $1.3U_m$ ）下，所有测量端子上在 U_2 下的视在电荷量的连续水平应不超过300pC，且在测量期间局部放电特性无持续上升的趋势；在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下（三角形接线的MCR应为 $1.1U_m$ ）的视在电荷量的连续水平应不超过100pC。

对于干式MCR按GB 1094.11进行试验（相间预加 $1.8U_m$ ，加压时间为30s，然后不切断电源，将相间电压降至 $1.3U_m$ ，保持3min，在此期间应进行局部放电测量），局部放电水平的最大值应不大于10pC。

6.9.5.1.5 温升限值

6.9.5.1.5.1 对于油浸式MCR，在规定的使用条件下，电抗器在额定电流、1.1倍额定电压下，各部分温升规定如下：

顶层油温升：

油不与大气直接接触的MCR 60K；

油与大气直接接触的MCR 55K。

绕组平均温升（用电阻法测量，按GB 1094.2的规定）： 65K。

对于铁芯、绕组外部的电气连接线或油箱中的结构件： 80K。

6.9.5.1.5.2 对于干式MCR，在规定的使用条件下，电抗器在额定电流、1.1倍额定电压下，各部分温升应符合表5的规定。

表5 干式MCR温升限值

	绝缘系统温度 ℃	绕组平均温升限值 K
绕组平均温升	105 (A)	60
	120 (E)	75
	130 (B)	80
	155 (F)	100
	180 (H)	125
	200	135
	220	150
	铁芯、金属构件及其邻近材料	不应对MCR任何部分造成损害

6.9.5.1.6 允许的谐波电流

在正弦波形额定电压作用下，整个运行范围内注入系统的谐波电流总有效值应小于额定电流的3%。

6.9.5.1.7 噪声

在额定电压下，整个运行范围内 MCR 的声级水平（声功率级）应符合表 6 和表 7 的要求。

表 6 油浸式 MCR 的噪声

额定容量 kvar	允许噪声 dB (A)
630≤额定容量<2000	68
2000≤额定容量<6300	74
6300≤额定容量<12 500	77
12 500≤额定容量<31 500	83
≥31 500	85

表 7 干式 MCR 的噪声

额定容量 kvar	允许噪声 dB (A)
100≤额定容量<500	70
630≤额定容量<1600	76
1600≤额定容量<3150	78
3150≤额定容量<6300	85

6.9.5.1.8 绝缘油性能

油浸式 MCR 用绝缘油应满足 GB 2536 的规定。

6.9.5.2 励磁调节器

6.9.5.2.1 基本要求

励磁调节器宜置于 MCR 本体外，方便检查及维护。

励磁调节器和控制装置之间宜采用光纤传输触发脉冲信号，实现控制装置和一次设备的隔离，提高触发脉冲的抗干扰性能。

6.9.5.2.2 绝缘性能

励磁调节器应承受 MCR 本体的额定短时外施耐受电压和额定雷电冲击耐受电压。

6.9.5.2.3 保护要求

励磁调节器宜采取过电压抑制措施，以防止 MCR 在调节过程、投入或退出供电系统、快速熔断器熔断等情况下产生的过电压。

励磁调节器宜设置超温保护，控制装置应能检测并指示，当半导体器件外壳或散热器规定部位的温度超过规定值时，控制装置应能闭锁触发脉冲，并报警、跳闸。

励磁调节器晶闸管回路应配置有快速熔断器和熔断报警器，控制装置应能检测并指示熔断器状态。当快速熔断器熔断时，控制装置应能闭锁触发脉冲，并报警、跳闸。

6.9.5.2.4 温升限值

在 MCR 最大运行电流时，励磁调节器各部位的温升限值应符合表 8 的规定。

表 8 励磁调节器各部位的温升限值

部件和部位	温升限值
半导体器件	一般要求在最高环境温度时，最差散热条件下，其计算结温至少有 20K 裕量

表 8 (续)

部件和部位	温升限值
半导体器件与导体的连接处	裸铜: 45K 有锡镀层: 55K 有银镀层: 70K
母线(非连接处)	铜: 35K 铝: 25K
快速熔断器、电阻等部件	由分类标准规定

6.9.6 电容器支路主要设备

电容器支路中熔断器(若有)、并联电容器(或滤波电容器)、串联电抗器(或滤波电抗器)、放电器件等主要设备的选取应符合 GB/T 30841、GB/T 11024.1、GB/T 26868、GB 50227 和 JB/T 10931 的要求。

6.9.7 控制装置

6.9.7.1 额定参数

交流电压: 100、 $100/\sqrt{3}$ V。

交流电流: 5、1A。

直流电压: 24、48、110、220V。

通道负载: 交流电压通道不大于 $1V \cdot A/\text{相}$; 交流电流通道不大于 $1V \cdot A/\text{相}$ (额定电流 5A); 交流电流通道不大于 $0.5V \cdot A/\text{相}$ (额定电流 1A)。

6.9.7.2 测量精度

控制装置的测量精度用实测值与实际值的代数差与额定值的百分比表示。

电压: $\pm 0.5\%$ (0.1~1.2, 标幺值)。

电流: $\pm 0.5\%$ (0~1.2, 标幺值)。

有功功率、无功功率: $\pm 1\%$ 。

功率因数: ± 0.005 。

有功功率、无功功率、功率因数的参比条件应符合表 9 规定。

表 9 有功功率、无功功率、功率因数的参比条件

被测量	参比条件		
	电压	电流	功率因数
有功功率	额定电压 $\pm 2\%$	从零到额定值的任一电流	$\cos \varphi = 0.5$ (滞后) $\sim 1 \sim 0.5$ (超前)
无功功率	额定电压 $\pm 2\%$	从零到额定值的任一电流	$\cos \varphi = 0.5$ (滞后) $\sim 1 \sim 0.5$ (超前)
功率因数	额定电压 $\pm 2\%$	在 40%~100% 额定电流范围内的任一电流	

6.9.7.3 功能要求

控制装置应能控制 MSVC 操作部件的运行状态, 使之满足设计要求, 达到各预定的目标, 例如稳定电压、优化无功潮流、改善功率因数等。

控制装置应具备自动调节计算、监视、保护、通信、启动、停止、记录等功能。

6.9.7.3.1 基本功能

控制装置应具备手动和自动控制功能, 手动控制与自动控制应互为闭锁。

控制装置的控制参数应具有可设置性, 控制参数设置应具有容错及密码锁定功能。

控制装置应具有合闸延时控制功能。

控制装置的同步信号参照 DL/T 1010.3—2006 中 5.2.4 的要求。

控制装置应能自动适应主变压器的多种运行方式。

控制装置应具备与自动化系统的通信接口。

6.9.7.3.2 控制功能

控制装置应具备电压控制方式、无功功率控制方式、功率因数控制方式，控制方式可以选择。电压控制方式和无功功率控制方式是控制器的基本控制方式，电压和无功功率可以单独控制也可以联合控制（例如电压-无功功率控制方式和电压-功率因数控制方式）。

6.9.7.3.3 显示功能

控制装置应具有工作电源显示、手动/自动工作方式显示、开关状态显示、装置及控制对象异常显示、系统异常闭锁显示等功能。

控制装置可测量和显示系统电压、电流、有功功率、无功功率、功率因数。

控制装置可测量和显示 MCR 支路的电压、电流、无功功率、晶闸管触发角。

6.9.7.3.4 保护闭锁功能

控制对象保护跳闸时闭锁控制装置。

MCR 支路开关位置异常时闭锁控制装置。

励磁调节器故障时闭锁控制装置，并报警、跳闸。

MCR 支路输出三相电流不平衡超过设定值时闭锁控制装置，并报警、跳闸。

6.9.7.3.5 记录功能

当 MSVC 故障时，控制装置应记录故障类型及发生时间。

6.9.7.4 过载能力

6.9.7.4.1 测量用交流电流回路

1.2 倍额定电流连续工作；20 倍额定电流允许 1s。

6.9.7.4.2 交流电压回路

1.2 倍额定电压连续工作；1.4 倍额定电压允许 10s。

装置经上述短时耐热极限值试验后应无绝缘损坏，并符合本标准 6.9.7.2、6.9.7.3、6.9.7.5、6.9.7.6 的规定。

6.9.7.5 绝缘性能

控制装置的绝缘性能应符合 DL/T 1010.3—2006 中 4.7 的要求。

6.9.7.6 耐湿热性能

控制装置的耐湿热性能应符合 DL/T 1010.3—2006 中 4.9 的要求。

6.9.7.7 电磁兼容性能

6.9.7.7.1 辐射电磁场抗扰度

装置应能承受 GB/T 14598.9—2010 中第 4 章规定的辐射电磁场干扰试验。试验期间及试验后，装置的性能和功能应符合本标准 6.9.7.2、6.9.7.3 的规定。

6.9.7.7.2 电快速瞬变/脉冲群抗扰度

装置应能承受 GB/T 14598.10—2012 中第 4 章规定的试验严酷等级为 B 级的电快速瞬变/脉冲群干扰试验。试验期间及试验后，装置的性能和功能应符合本标准 6.9.7.2、6.9.7.3 的规定。

6.9.7.7.3 1MHz 脉冲群抗扰度

装置应能承受 GB/T 14598.13—2008 中第 4 章规定的 1MHz 脉冲群干扰试验。试验期间及试验后，装置的性能和功能应符合本标准 6.9.7.2、6.9.7.3 的规定。

6.9.7.7.4 静电放电抗扰度

装置应能承受 GB/T 14598.14—2010 中第 4 章规定的试验严酷等级为 3 级的静电放电干扰试验。试

验期间及试验后，装置的性能和功能应符合本标准 6.9.7.2、6.9.7.3 的规定。

6.9.7.7.5 浪涌（冲击）抗扰度

装置应能承受 GB/T 14598.18—2012 中第 4 章规定的开路条件下，线对地开路试验电压为 2kV、线对线开路试验电压为 1kV、波形为 1.2/50μs 的浪涌（冲击）抗扰度试验。试验期间及试验后，装置的性能和功能应符合本标准 6.9.7.2、6.9.7.3 的规定。

6.9.7.7.6 电磁发射限制

装置的电磁发射限制应符合 GB/T 14598.16—2002 中 4.1 传导发射限制和 4.2 辐射发射限制的规定。

6.9.7.8 机械性能

装置的振动、冲击与碰撞要求应符合 DL/T 1010.3—2006 中 4.8 的要求。

6.9.7.9 结构和外观

装置的结构和外观应符合 DL/T 1010.3—2006 中 4.11 的要求。

6.10 保护方式及投切顺序

6.10.1 保护方式选择

MSVC 装置的保护包括 MCR 支路的保护和电容器支路的保护，保护方式由购买方与制造方商协商设置。

6.10.1.1 MCR 的保护

MCR 应设置如下保护：

- a) 过电流保护；
- b) 速断保护；
- c) 过电压保护；
- d) 失电压保护；
- e) 温度保护；
- f) 轻重瓦斯保护（油浸式）；
- g) 压力释放保护（油浸式）；
- h) 励磁调节器保护。

注：根据需要可设置其他类型保护。

6.10.1.2 电容器支路的保护

电容器支路应设置如下保护：

- a) 过电流保护；
- b) 速断保护；
- c) 过电压保护；
- d) 失电压保护；
- e) 失谐保护（若需要）；
- f) 电容器组不平衡保护（如开口三角电压保护、电压差动保护和桥式电流差动保护、中性线不平衡电压或中性线不平衡电流保护等）。

注：根据需要可设置其他类型保护。

6.10.2 投切顺序

为防止容性无功过补偿，应先投入 MCR 支路，待其运行稳定后再根据负荷需求投入电容器支路。切除时应先切除电容器支路，再切除 MCR 支路。MCR 支路可单独挂网运行。

为防止并联谐振的发生，电容器支路应按配套串联电抗器电抗率的大小遵循由大到小顺序投入、由小到大切除的原则进行投切；电容器支路为滤波器的，应依据滤波支路调谐频率次数的大小遵循由低往高顺序投入、由高往低顺序切除的原则进行投切。如果设计或试验证明部分电容器支路可以不按上述原

则投切，则制造方可以规定相应的投切顺序。

应从控制上对投切顺序进行联锁。

6.11 结构和导体要求

6.11.1 母线和连接线

母线和连接线应满足以下要求：

- a) 主电路母线的长期允许电流应不小于 1.5 倍支路额定电流；电容器单元至母线或熔断器连接线的长期允许电流应不小于 1.5 倍电容器单元额定电流；其余连接线按相应电路的额定工作电流或机械强度来选择。
- b) 母线连接应牢固、不变形、接触良好，配置应整齐、美观。
- c) 母线的材料、连接和布置方式应能满足滤波装置在正常运行及事故情况下的机械强度要求。
- d) 母线和连接线的颜色应符合 GB/T 7947 的规定。
- e) 母线支柱绝缘子的机械强度、爬电距离应能满足相应的使用条件要求。

6.11.2 辅助电路连接线

辅助电路连接线应满足以下要求：

- a) 连接线的截面积应符合有关标准的规定；
- b) 连接线的连接应牢固，布线应整齐、美观；
- c) 连接线的绝缘水平应不低于相应电路的额定工作电压。

6.11.3 电气间隙和爬电距离

MSVC 装置内的各种电气设备的电气间隙和爬电距离应符合有关标准的规定。

户内 MSVC 装置的带电体间、带电体与接地体间的最小电气间隙应不小于表 10 所列数值。

户外 MSVC 装置的电气间隙应不小于表 11 所列的数值。

表 10 户内 MSVC 装置的最小电气间隙

相关位置 mm	系统标称电压 kV									辅助电路 500V 以下
	3	6	10	15	20	35	66	110J	110	
不同相的裸导体间	75	100	125	150	180	300	550	900	1000	4
带电裸导体至接地框架	75	100	125	150	180	300	550	850	950	15
带电裸导体至板状遮栏	105	130	155	180	210	330	580	880	980	15
带电裸导体至网门及网状遮栏	175	200	225	250	280	400	650	950	1050	50

注：海拔超过 1000m 时，电气间隙应修正。110J 指中性点有效接地系统。

表 11 户外 MSVC 装置的最小电气间隙

相关位置 mm	系统标称电压 kV					
	3~10	15~20	35	66	110J	110
带电部分至接地部分之间 网状遮栏向上延伸线距地 2.5m 处与遮栏上方带电部分 之间	200	300	400	650	900	1000
不同相的带电部分之间 断路器和隔离开关的断口两侧引线带电部分之间	200	300	400	650	1000	1100

表 11 (续)

相关位置 mm	系统标称电压 kV					
	3~10	15~20	35	66	110J	110
设备运输时, 其外廓至无遮栏带电部分之间 交叉的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 栅状遮栏至绝缘体和带电部分之间	950	1050	1150	1400	1650	1750
网状遮栏至带电部分之间	300	400	500	750	1000	1100
无遮栏裸导体至地面之间 无遮栏裸导体至建筑物、构筑物顶部之间	2700	2800	2900	3100	3400	3500
平行的不同时停电检修的无遮栏带电部分之间 带电部分与建筑物、构筑物的边沿部分之间	2200	2300	2400	2600	2900	3000
注: 海拔超过 1000m 时, 电气间隙应修正。110J 指中性点有效接地系统。						

6.11.4 防护等级

柜式结构的 MSVC 装置外壳的防护等级按表 12 选取。

表 12 防 护 等 级

序号	简要说明	含 义
IP2X	防止手指接近危险部件; 防止直径不小于 12.5mm 的固体异物进入	直径 12mm、长 80mm 的铰接试指应与危险部件有足够的间隙; 直径 12.5mm 的球形物体试具不得完全进入壳内
IP3X	防止工具接近危险部件; 防止直径不小于 2.5mm 的固体异物进入	直径 2.5mm 的试具不得进入壳内; 直径 2.5mm 的物体试具完全不得进入壳内
IP4X	防止金属线接近危险部件; 防止直径不小于 1.0mm 的固体异物进入	直径 1.0mm 的试具不得进入壳内; 直径 1.0mm 的物体试具完全不得进入壳内
IP5X	防止金属线接近危险部件; 防尘	直径 1.0mm 的试具不得进入壳内; 不能完全防止尘埃进入, 但进入的灰尘量不得影响设备的正常运行, 不得影响安全

6.12 安全要求

6.12.1 接地

构成 MSVC 装置的电气设备的外壳及安装支架(绝缘台架除外)均应可靠接地, 并符合相关标准的规定。

6.12.2 闭锁

MSVC 装置围栏应具备防止误分、合断路器, 防止带负荷分、合隔离开关或隔离插头, 防止接地开关合上时(或带接地线)送电, 防止带电合接地线(或挂接地线), 防止人员误入带电隔离室等“五防”措施。

6.12.3 警告

MSVC 装置应设置安全警告标志。

7 试验

7.1 试验条件

7.1.1 通用试验条件

除另有规定者外, MSVC 装置的全部试验和测量, 均应在下列条件下进行:

- a) 环境空气温度为 +5℃ ~ +40℃。如需校正, 则以 20℃ 时之值为准。试验时, 装置的温度应与环境空气温度一致。装置在不通电状态下在环境空气温度中放置适当长的时间后, 即认为装置的

温度与空气温度一致。试验时的环境空气温度应做记录。

- b) 试验和测量所使用的交流电压的频率应为(50±0.5)Hz, 其波形接近正弦波形(即两个半波基本一样, 且其峰值与方均根值之比不超过 $\sqrt{2} \pm 0.07$, 以及总谐波的方均根值不大于基波方均根值的5%)。

7.1.2 控制装置试验条件

除另有规定外, 各项试验应在规定的大气条件下进行:

- a) 环境温度: +15℃~+35℃。
- b) 相对湿度: 45%~75%。
- c) 海拔: 不超过1000m。

除另有规定外, 周围环境应符合本标准5.1.2的要求。

被试验装置和测试仪表必须良好接地。

7.2 试验用仪器仪表

试验用仪器仪表应经法定计量检验部门检定合格, 并在有效期内。

仪器仪表的形式和精度应符合产品测量的要求。

7.3 试验分类

试验包括例行试验、型式试验和现场试验, 现场试验包括设备试验、分系统试验、系统试验。试验项目见表13。

表13 试验项目

序号	试验项目	技术要求	试验方法	例行 试验	型式 试验	现场试验		
						设备 试验	分系统 试验	系统 试验
1	外观检验	6.1	7.5.1	√	√	√		
2	导体和结构检验	6.11	7.5.2	√	√	√		
3	电气设备检验	6.9	7.5.3	√	√	√		
4	容量调节范围测量	6.9.5.1.2	7.5.4.1	√	√			√
	绕组电阻测量		7.5.4.2	√	√	√		
	绕组对地绝缘电阻测量		7.5.4.3	√	√	√		
	吸收比测量		7.5.4.4	√	√	√		
	绝缘试验	6.2.3.2	7.5.4.6	√	√	√		
	介质损耗因数($\tan\delta$)测量		7.5.4.5	√	√	√		
	雷电冲击试验	6.2.3.2	7.5.4.7	√	√ ^a			
	局部放电测量	6.9.5.1.4	7.5.4.8	√	√			
	电流谐波含量测量	6.9.5.1.6	7.5.4.9	√	√			√
	损耗测量	6.9.5.1.1	7.5.4.10	√	√			
	油箱及储油柜的密封试验		7.5.4.11	√	√			
	励磁调节器试验	一般性检查	7.5.5.1	√	√		√	
		绝缘性能试验	6.9.5.2.2	√	√		√	
		温升试验	6.9.5.2.4	7.5.5.3		√		√

表 13 (续)

序号	试验项目	技术要求	试验方法	例行 试验	型式 试验	现场试验		
						设备 试验	分系统 试验	系统 试验
5	电容器支路试验	6.9.6	7.5.6			按照 GB/T ×××××、JB/T 10931 的规定		
6	工频耐受电压试验	6.2.3.1	7.5.7	√	√	√		
7	结构和外观检查	6.9.7.9	7.5.8.1	√	√		√	
	测量精度试验	6.9.7.2	7.5.8.2	√	√		√	
	过载能力试验	6.9.7.4	7.5.8.3		√			
	绝缘性能试验	6.9.7.5	7.5.8.4	√ ^b	√ ^b	√ ^b		
	耐湿热性能试验	6.9.7.6	7.5.8.5		√			
	电磁兼容性能试验	6.9.7.7	7.5.8.6		√			
	振动、冲击与碰撞试验	6.9.7.8	7.5.8.7		√			
	连续通电试验		7.5.8.8	√	√		√	
8	联动试验						√	
8	温升试验	6.7、6.9.5.1.5	7.5.9	√				√
9	雷电冲击耐受电压试验	6.2.3.1	7.5.10	√				
10	响应特性试验	6.3	7.5.11	√				√
11	保护特性试验	6.10.1	7.5.12	√				√
12	投切试验		7.5.13	√				√
13	控制特性试验	6.9.7.3	7.5.14	√				√
14	补偿效果测试		7.5.16	√				√
15	滤波效果测试		7.5.15	√				√
16	噪声试验	6.9.5.1.7、6.8	7.5.17	√				√

^a 型式试验时增加截波试验。^b 只进行绝缘电阻测量和介质强度试验。

7.3.1 例行试验

例行试验的目的在于检验制造中的缺陷和对某些电器元件进行参数整定。这一试验由制造方对出厂的每台设备进行。

7.3.2 型式试验

型式试验的目的在于全面检验装置的设计、材料和制造等方面是否满足本标准的规定。型式试验的产品应是通过例行试验的合格产品，型式试验的全部项目应在同一装置上进行。

型式试验在新产品制出时进行。在生产中当装置的结构、材料或工艺有改变，且其改变有可能影响装置的性能时也应进行型式试验，此时可只进行与这些改变有关的试验项目。

在正常生产中，型式试验应每 5 年进行一次。

7.3.3 成套装置现场试验

成套装置现场试验分为分系统试验、系统试验和设备试验。

7.3.3.1 分系统试验

分系统试验的目的在于检验装置的分系统功能和性能。

试验在现场完成分系统装配连接后进行，包括励磁、冷却、滤波、控制、保护等分系统及相关设备的装配连接。

试验前应完成分系统内设备的安装检查、调整和试验。

7.3.3.2 系统试验

系统试验是装置在现场投运前的带电试验，目的在于检验系统供电后成套装置的参数和性能是否达到设计要求。

7.3.3.3 设备试验

设备试验主要是在系统试验前按交接试验要求对装置主部件进行安全及有效性验证的常规试验。

7.4 判定规则

主要设备的例行试验和型式检验应按本标准规定进行，其中如有不合格项则判为不合格品。分系统试验和主要设备的交接试验结果作为成套装置静态验收的依据，系统试验是成套装置性能评价的主要依据。

7.5 试验方法

7.5.1 外观检验

目测检查：引出端子和绝缘子是否有损伤，金属件外表面是否有损伤或腐蚀，各配套件是否有渗油、表面损伤、外壳变形，铭牌是否清晰，接地端子应有明显标志。

7.5.2 导体和结构检验

目测检查：母线连接线的制作及性能应满足 6.11.1、6.11.2 的要求。

用量具测量：电气间隙和爬电距离应满足 6.11.3 的要求。

7.5.3 电气设备检验

按 6.9 的要求检查 MSVC 装置主电路及辅助电路电气设备有无合格证及例行试验报告，并检查其性能指标是否满足 MSVC 装置的技术条件或标准的要求，有无型式试验报告及是否合格、有效。

7.5.4 MCR 试验

7.5.4.1 容量调节范围测量

试验时给 MCR 施加额定电压，然后调节控制装置使 MCR 的输出电流达到试验要求直至额定值，MCR 的容量调节范围应符合 6.9.5.1.2 的要求。

7.5.4.2 绕组电阻测量

试验时测量 MCR 端子间的电阻应使用直流进行，实测绕组直流电阻不平衡率：相（有中性点引出时）为不大于 2%，线（无中性点引出时）为不大于 1%。用户应与同温度下的例行试验实测值进行比较，其偏差应不大于 2%。

绕组直流电阻不平衡率应以三相实测最大值减最小值作为分子、三相实测平均值作为分母计算。

7.5.4.3 绕组对地绝缘电阻测量

用不低于 2500V 的绝缘电阻表测量 MCR 绕组对地的绝缘电阻值，测试通常在 10℃～40℃ 和相对湿度小于 85% 时进行。当测量温度不同时，绝缘电阻可按下式换算：

$$R_2 = R_1 \times 1.5^{(t_1-t_2)/10}$$

式中：

R_1 —— 温度 t_1 时的绝缘电阻值；

R_2 —— 温度 t_2 时的绝缘电阻值。

7.5.4.4 吸收比测量

额定电压 35kV 及以上、额定容量为 4000kvar 级以上的油浸式 MCR 应进行吸收比 (R_{60}/R_{15}) 测量。测试通常在 10℃～40℃ 下进行。

注： R_{15} 、 R_{60} 分别为 15s 和 60s 时测得的绝缘电阻值。

7.5.4.5 介质损耗因数 ($\tan\delta$) 测量

额定电压 35kV 及以上、额定容量为 8000kvar 及以上的油浸式 MCR 应提供介质损耗因数 ($\tan\delta$) 值, 测试通常在 10°C~40°C 下进行。不同温度下的 $\tan\delta$ 值一般可按下式换算:

$$\tan\delta_2 = \tan\delta_1 \times 1.3^{(t_2-t_1)/10}$$

式中:

$\tan\delta_1$ —— 温度 t_1 时的 $\tan\delta$ 值。

$\tan\delta_2$ —— 温度 t_2 时的 $\tan\delta$ 值。

7.5.4.6 绝缘试验

7.5.4.6.1 外施耐压试验

对于全绝缘 MCR, 全电压试验值 (见表 2) 应施加于被试绕组的所有连接在一起的端子与地之间, 加压时间 60s。

对于额定电压 110kV 的 MCR, 其绕组一般采用星形 (YN) 接线, 高压端子的外施电压 (见表 2) 试验可与感应电压试验同时进行, 加压时间 60s; 中性点端子的标准外施耐受电压应符合 GB 1094.3 的要求。

7.5.4.6.2 感应耐压试验

绕组感应耐压试验按 GB 1094.3 和 GB/T 1094.6 的规定, 施加的电压为表 2 中绕组额定电压的 2 倍。

除非另有规定, 当试验电压频率等于或小于 2 倍额定频率时, 其全电压下的试验时间应为 60s。当试验频率超过 2 倍额定频率时, 试验时间应为 $120 \times \frac{\text{额定频率}}{\text{试验频率}}$ (s), 但不少于 15s。

7.5.4.7 雷电冲击试验

额定电压 35kV 及以上的 MCR 应进行雷电冲击试验, 雷电冲击 (包括截波) 试验按 GB 1094.3 和 GB/T 1094.4 的要求进行, 施加电压值按表 2 的规定。

7.5.4.8 局部放电测量

干式 MCR 和 66kV 及以上电压等级的油浸式 MCR 应进行局部放电测量, 试验按 GB 1094.3 和 GB 1094.11 的要求进行, 试验结果应符合 6.9.5.1.4 的规定。

7.5.4.9 电流谐波含量测量

MCR 的电流谐波含量应在三个相上测量, 在整个调节范围内, 电流谐波含量应符合 6.9.5.1.6 的要求。

7.5.4.10 损耗测量

7.5.4.10.1 额定容量下的损耗测量

额定容量下的损耗指的是在额定频率和参考温度下以额定电流运行时的损耗。

MCR 的损耗应在额定电压和额定频率下测量。电压用平均值电压表测量 (读数为方均根值)。

在某些情况下, 如超大额定容量和超高电压, 试验条件很难满足。这时, 额定电流下的损耗测量方法应与购买方协商。

试验结果应符合 6.9.5.1.1 的要求。

7.5.4.10.2 空载损耗测量

MCR 的空载损耗应在额定电压和额定频率下测量。电压用平均值电压表测量 (读数为方均根值)。

试验应在励磁调节器触发闭锁状态下进行。

试验结果应符合 6.9.5.1.1 的要求。

7.5.4.11 油箱及储油柜的密封试验

MCR 油箱及储油柜的密封试验应按 GB/T 6451 的要求进行。

7.5.5 励磁调节器试验

7.5.5.1 一般性检查

一般性检查包括:

- 检查励磁调节器所使用的电力半导体器件、各种电器元件的型号、规格和合格证记录均应符合

有关标准或产品技术条件的规定。

- b) 电器元件的安装，在正常使用条件下应不致危害人身安全。易损件应便于更换和维修。
- c) 励磁调节器主电路及二次回路的连接、配线、焊接、接插件、标志和编号等，均应符合有关标准或技术文件的规定。
- d) 励磁调节器的外形尺寸、焊缝、安装孔距、金属零件镀层、紧固零件的安装等均应符合有关标准或技术文件的规定。

7.5.5.2 绝缘性能试验

绝缘性能试验可按 MCR 本体的额定短时外施耐受电压和额定雷电冲击耐受电压进行。

励磁调节器在进行额定短时外施耐受电压时，主端子以及所用半导体器件的阳极、阴极和门极端子应相互短接。

励磁调节器在进行额定雷电冲击耐受电压时，励磁调节器应和 MCR 本体一次绕组直接连接。

在额定短时外施耐受电压和额定雷电冲击耐受电压试验中，如果发生击穿、闪络则试验失败。

本标准规定之外的其他绝缘性能试验，按有关合同文件进行。

7.5.5.3 温升试验

温升试验的目的在于测定励磁调节器在最大运行电流时各部件的温升是否超过规定的极限温升。试验应在最不利的冷却条件下进行。

温升试验应结合 MCR 本体温升试验同时进行。试验时，测温元件可以使用温度计、热电偶、热敏元件、红外测温仪或其他有效的方法。

温升应尽可能在规定点测量。对主电路的半导体器件，应测量若干个器件，其中应包括冷却条件最差的器件，并记录半导体器件规定部位的温升，计算半导体器件结温。

试验结果应符合 6.9.5.2.4 的要求。

7.5.6 电容器支路试验

电容器支路试验包括电容值测量、电感（抗）值测量、放电器件检验、调谐频率下的阻抗测量（需要时）等项目，试验时按照相关标准进行，结果应符合 GB/T 11024.1、GB/T 26868、GB 50227、GB/T 30841 和 JB/T 10931 等相关标准的规定。

7.5.7 工频耐受电压试验

装置的绝缘试验一般按 GB/T 16927.1、GB/T 16927.2 和 GB 1094.3 中的有关规定进行，应保证主回路连线承受耐压试验。试验前，应将装置中的 MCR、串联电抗器（或滤波电抗器）、磁控电抗器、电容器组等端子上的连接线断开。工频耐受电压试验在装置（不包括电容器组）的相间、相与地之间以及辅助电路与地之间进行，试验电压由表 1 选取。试验时，应使试验电压从装置额定电压的 1/2 或更低些开始，在 2s~10s 内均匀地升高到试验电压值，并在该电压下保持规定的时间。

当条件限制无法对整个装置进行试验时，相对地试验可以对主电路的每一电器（包括支柱绝缘子）单独进行试验；相间试验可以通过制造方与购买方协商以有效的方法验证。

7.5.8 控制装置试验

7.5.8.1 结构和外观检查

按照 GB/T 7261—2008 中第 5 章的要求逐项进行检查，具体方法由制造方的产品标准规定，应符合 6.9.7.9 的要求。

7.5.8.2 测量精度试验

测量精度试验按照下述方法进行，结果应符合 6.9.7.2 的要求：

- a) 调节输入电压为额定值的 10%、50%、80%、100%、120%，根据显示的电压数值测算电压测量精度；
- b) 调节输入电流为额定值的 10%、50%、80%、100%、120%，根据显示的电流数值测算电流测量精度；

- c) 输入电压为额定电压, 调节输入电流为额定值的 10%、50%、80%、100%、120%, 分别测量功率因数为 0.5 (滞后)、1、0.5 (超前) 三种情况下的有功功率、无功功率, 并根据显示值分别测算其测量精度;
- d) 输入电压为额定电压, 输入电流为额定电流, 调节相位角分别为 0° 、 $\pm 30^\circ$ 、 $\pm 45^\circ$ 、 $\pm 60^\circ$ 、 $\pm 90^\circ$, 根据显示的功率因数值测算其精度。

7.5.8.3 过载能力试验

按 GB/T 7261—2008 中第 14 章的规定和方法, 对装置进行过载能力试验。结果应符合 6.9.7.4 的要求。

7.5.8.4 绝缘性能试验

按 GB/T 7261—2008 中第 12 章的规定和方法, 对装置分别进行绝缘电阻测量、介质强度及冲击电压试验。结果应符合 6.9.7.5 的要求。

7.5.8.5 耐湿热性能试验

按 GB/T 7261—2008 中 9.4 的规定和方法对装置进行交变湿热试验。结果应符合 6.9.7.6 的要求。

7.5.8.6 电磁兼容性能试验

7.5.8.6.1 辐射电磁场抗扰度试验

按照 GB/T 14598.9—2010 的规定和方法, 对装置进行辐射电磁场抗扰度试验。结果应符合 6.9.7.7.1 的要求。

7.5.8.6.2 电快速瞬变/脉冲群抗扰度试验

根据 6.9.7.7.2 的要求, 按照 GB/T 14598.10—2012 的规定和方法, 对装置进行电快速瞬变/脉冲群抗扰度试验。

7.5.8.6.3 1MHz 脉冲群抗扰度试验

按照 GB/T 14598.13—2008 的规定和方法, 对装置进行 1MHz 脉冲群抗扰度试验。结果应符合 6.9.7.7.3 的要求。

7.5.8.6.4 静电放电抗扰度试验

按照 GB/T 14598.14—2010 的规定和方法, 对装置进行静电放电抗扰度试验。结果应符合根据 6.9.7.7.4 的要求。

7.5.8.6.5 浪涌(冲击)抗扰度试验

按照 GB/T 14598.18—2012 的规定和方法, 对装置进行浪涌(冲击)抗扰度试验。结果应符合 6.9.7.7.5 的要求。

7.5.8.6.6 电磁发射限制试验

按照 GB/T 14598.16—2002 的规定和方法, 对装置进行电磁发射限制抗扰度试验。结果应符合 6.9.7.7.6 的要求。

7.5.8.7 振动、冲击与碰撞试验

按照 GB/T 7261—2008 的规定, 对装置进行振动、冲击与碰撞试验。结果应符合 6.9.7.8 的要求。

7.5.8.8 连续通电试验

装置在完成调试后, 应进行至少 72h (常温) 的连续通电试验。连续通电试验的具体要求和试验方法由制造方的产品标准规定。

7.5.9 温升试验

温升试验时, 应给 MSVC 装置中的 MCR 施加 1.1 倍额定电压, 调节控制装置, 使 MCR 达到额定电流; 应给 MSVC 装置中的电容器支路施加不低于额定电压的电压, 并使电容器支路的容量在整个试验过程中等于 1.35 倍额定容量。

MSVC 装置的布置应同正常使用时一样。

试验时应有足够的时问使温度上升达到稳定。每隔 1h~2h 用温度计或热电偶或其他测温仪测取各连接点、其他电器外壳及规定部位 (如 MCR 油、阀组箱等) 的温度。当 6h 内连续 4 次测量温度的变化

不超过 1K 时，即认为温度达到稳定。

对电容器组还应测量最热区域两单台电容器中间的冷却空气温度。

试验期间应测量装置的周围空气温度，此测量应用不少于 3 支标准温度计校验过的水银温度计或热电偶进行。温度计或热电偶均匀布置在距装置 1m 之处，放置高度应为装置各载流部分高度的平均值。最后两次所测温度结果的算术平均值即为装置的周围空气温度。为了避免由于温度的迅速变化而引起的误差，温度计或热电偶应置于盛有油的容器中，使热时间常数约为 1h。

MSVC 装置的母线之间连接处，主电路各连接处的温升不超过 50K。MCR 本体及励磁调节器和其他各电气设备的温升应不超过各自的规定。温升试验前后应取 MCR 本体及励磁调节器油样进行气相色谱分析试验，试验结果应符合相关标准要求且烃类气体无明显变化。

注：如果试验条件受限制，经与购买方协商，本试验也可在安装现场进行，试验时选择谐波源谐波电流最大时或系统电压最高的时间段进行。

7.5.10 雷电冲击耐受电压试验

电压施加于 MSVC 装置的相与地之间，试验电压由表 1 选取。试验时，先施加 15 次正极性冲击，紧接着施加 15 次负极性冲击。改变极性后，施加负极性冲击之前，允许施加数次低幅值的冲击。如果每一种极性冲击均未发生多于两次的闪络且未发生击穿，则认为装置通过了该项试验。

当试验条件受限制无法对整套装置进行试验时，可以对主电路的每一电器（包括支柱绝缘子）单独进行试验。

7.5.11 响应特性试验

本试验是验证 MSVC 装置在开环和闭环状态下 MCR 和 MSVC 装置在最大容量调节范围内的动态调节响应时间特性。

手动运行模式测试：根据设计和带电运行测试的数据，给定阶跃触发信号，使 MCR 从空载响应到额定电流值和从额定电流值响应到空载，测试 MCR 和 MSVC 装置增磁和去磁过程的响应时间以及增磁和去磁过程系统电压的响应时间，结果应符合 6.3 的规定。

自动运行模式测试：MCR 在正常运行模式下转入自动运行模式，再将电容器支路投入和切除，测试在自动运行模式下控制系统及 MCR 和 MSVC 装置在电容器支路投入、切除过程形成的扰动状态下的响应特性及系统电压的响应特性，结果应符合 6.3 的规定。

7.5.12 保护特性试验

该试验项目主要是电容器组的不平衡保护试验。可根据保护定值计算中故障单元切除元件量，制作一台与计算中故障电容器单元相同情况的特殊电容器单元，试验时使用这台特殊的电容器单元替换装置中任一台完好的电容器单元，用以模拟电容器内部故障。每条电容器支路进行保护试验不少于 3 次，试验时各相应保护和开关应正确动作。

7.5.13 投切试验

投切试验是验证 MSVC 装置在各种投切操作模式下的工作状态。

试验时，先投入空载 MCR，冲击 5 次，测试冲击涌流。

保持 MCR 空载运行状态，分别投入每一个电容器支路，冲击 3 次，测试投切涌流、过电压及基波容量。

保持 MCR 自动运行状态，依次投入电容器支路，冲击 1 次，测试投切涌流、过电压及对电网电压的影响。

试验时，断路器应能正常切合，机械运动灵活，无卡住现象；与其相连的机械联锁或其他附件承受上述操作次数后应未受损伤，且不应发生重击穿，过电压及涌流均不应超过规定值。

7.5.14 控制特性试验

MCR 投入运行，通过控制装置手动调节 MCR 由空载至额定电流和由额定电流至空载，记录在不同触发角度时 MCR 和 MSVC 装置的电流、无功变化及对接入点系统电压和无功的影响，结果应符合技术

协议或购买方的要求。

MCR 投入运行，控制装置自动运行方式下，记录 MCR 和 MSVC 装置在给定的自动控制模式下，跟随系统电压、无功变化而调节时的电流、无功变化及对接入点系统电压和无功的影响，结果应符合技术协议或购买方的要求。

7.5.15 滤波效果测试（需要时）

MSVC 装置的滤波效果测试按照 GB/T 14549 的要求进行。

7.5.16 补偿效果测试

MSVC 装置手动模式下运行，调节 MCR 输出，测试 MSVC 装置的感性、容性调节范围。

MSVC 装置自动模式下运行，测试 MSVC 装置跟踪电压及无功波动（或功率因数）的补偿效果。

补偿效果应符合设计和购买方的要求。

7.5.17 噪声试验

本试验应在额定电压下进行。试验时，将 MSVC 装置全部投入，分别测试在手动状态下 MCR 满载和自动控制状态下，MCR 和电容器支路的噪声。测试时按 GB/T 1094.10 和相关标准的要求进行。

8 标志、包装、装箱资料、贮存和运输

8.1 标志

每套 MSVC 装置应装有标明下列内容的标牌：

- a) 名称和型号；
- b) 额定电压 (kV)；
- c) 额定电流 (A, 有多个支路时应标明总电流及各支路电流)；
- d) 额定频率 (Hz)；
- e) 额定容量 (kvar, 有多个支路时应标明总容量及各支路容量)；
- f) 容量调节范围；
- g) 基波容量 (kvar, 若需要)；
- h) 滤波通道次数 (若需要)；
- i) 主接线图；
- j) 出厂编号；
- k) 本标准代号；
- l) 制造年月；
- m) 制造方名称或商标。

注：标牌上的各部分内容可在说明书中表明。

8.2 包装

包装前必须把积尘擦净，按装箱单进行包装。

包装箱必须牢固，应能保证在正常运输条件下装置及装置内的电器不受损伤。

包装箱外表面应标明如下标志及字样：

- a) 型号、制造方名称、交货合同号；
- b) 收货单位和地址；
- c) 净重、毛重、箱的尺寸 (长×宽×高) 以及“共×箱，第×箱”、“小心轻放”、“不许倒置”、“请勿受潮”等；
- d) 起吊位置。

标志字样应牢固、清晰、整齐。

8.3 装箱资料

装箱资料包括：

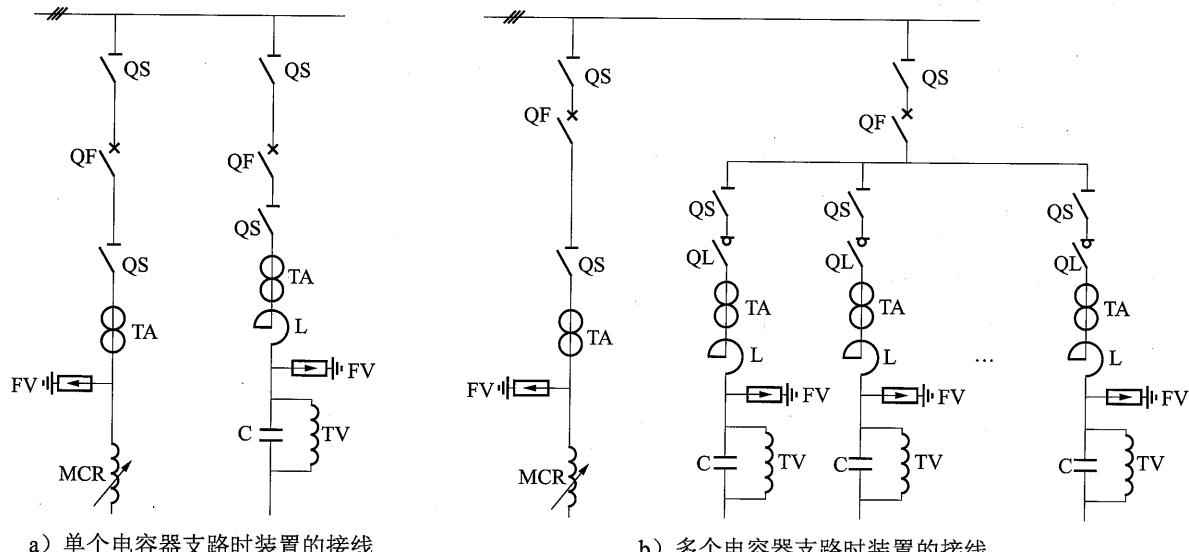
- a) 装箱单（应详细标明配套设备的数量、型号、制造方名称、出厂编号）；
- b) 合格证（包括配套设备的合格证）；
- c) 例行试验报告；
- d) 产品使用说明书；
- e) 安装时必需的技术图样。

8.4 贮存和运输

在贮存和运输装置期间，应能保证其性能和质量不受影响。产品贮存时，贮存场地不得有腐蚀气体、物质，并不受雨、雪侵蚀。

附录 A
(资料性附录)
MSVC 装置接线图例

MSVC 装置接线图例如图 A.1 所示。



a) 单个电容器支路时装置的接线
说明：

MCR——磁控电抗器；
C——电容器组；
L——串联电抗器；
QS——隔离开关；
QF——断路器；
QL——负荷开关或真空接触器；
TA——电流互感器；
FV——避雷器；
TV——放电器、放电元件。

b) 多个电容器支路时装置的接线

图 A.1 MSVC 装置接线图例

中华人民共和国

能源行业标准

磁控电抗器型高压静止无功补偿装置（MSVC）

NB/T 42028—2014

*

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京博图彩色印刷有限公司印刷

*

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 2 印张 53 千字

印数 0001—3000 册

*

统一书号 155123 • 2064

敬告读者

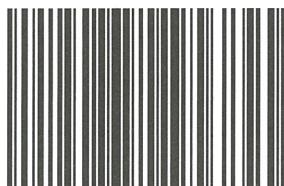
本书封底贴有防伪标签，刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究



关注我,关注更多好书



155123.2064

上架建议：规程规范/电力工程