

ICS 29.180
K 40
备案号: 40047-2013



中华人民共和国电力行业标准

DL/T 1217 — 2013

磁控型可控并联电抗器技术规范

Technical specification for magnetically controlled shunt reactor

2013-03-07 发布

2013-08-01 实施

国家能源局 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 型号命名 ····· 2

5 使用条件 ····· 4

6 性能参数 ····· 5

7 技术要求 ····· 9

8 试验项目与试验方法 ····· 11

9 标志、包装、运输与储存 ····· 15

附录 A（资料性附录） 磁控型可控并联电抗器工作原理 ····· 17

附录 B（资料性附录） 磁控型可控并联电抗器的应用案例 ····· 20

前 言

制定本标准的目的是为了更好地贯彻落实国家、行业的有关规定，规范磁控型可控并联电抗器的技术要求，确保磁控型可控并联电抗器的安全、可靠、稳定运行，以满足电网和电力用户对无功补偿及电压调节的需要。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业电能质量及柔性输电标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：中国电力科学研究院、山东迪生电气股份有限公司、丹东欣泰电气股份有限公司、特变电工沈阳变压器集团有限公司、湖北省电力试验研究院、浙江省电力试验研究院、国网电力科学研究院、山东泰开电力电子有限公司、铁道第三勘察设计院、三得普华公司、辽宁电能发展股份有限公司、杭州银湖电气设备有限公司。

本标准主要起草人：邓占锋、孙士民、王洪蛟、章海庭、雷晰、夏勇军、张建平、康文斌、樊得平、杨振龙、王志永、全凤岐、杨圣利。

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

磁控型可控并联电抗器技术规范

1 范围

本标准规定了磁控型可控并联电抗器（简称 MCSR）的术语与定义、型号命名、使用条件、性能参数、技术要求、试验方法和检验规则、标志、包装、运输与储存。

本标准适用于 66kV 及以下电压等级系统中用于无功补偿和电压调节的磁控型可控并联电抗器，其他用途和其他电压等级的磁控型可控并联电抗器可参照执行。

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 1094.1 电力变压器 第 1 部分：总则

GB 1094.2 电力变压器 第 2 部分：温升

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 1094.11 电力变压器 第 11 部分：干式变压器

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/T 311.2 绝缘配合 第 2 部分：使用导则

GB/T 321 优先数和优先数系

GB/T 1094.6 电力变压器 第 6 部分：电抗器

GB/T 1094.10 电力变压器 第 10 部分：声级测定

GB/T 6451—2008 油浸式电力变压器技术参数和要求

GB/T 7261 继电保护和安全自动装置基本试验方法

GB/T 9969 工业产品使用说明书 总则

GB/T 14549 电能质量 公用电网谐波

GB/T 14598.1 电气继电器 第 23 部分：触点性能

GB/T 16927.1 高电压试验技术 第 1 部分：一般定义及试验要求

DL/T 478 继电保护和安全自动装置通用技术条件

DL/T 995 继电保护和电网安全自动装置检验规程

DL/T 1010.2—2006 高压静止无功补偿装置 第 2 部分：晶闸管阀试验

DL/T 1193—2012 柔性输电术语

JB/T 3837 变压器类产品型号编制方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

可控并联电抗器 controlled shunt reactor (CSR)

并联连接于系统，电抗值可以在线改变的并联无功补偿成套装置，主要由电抗器本体、阀控系统和控制保护系统等部分组成。

- 3.2
磁控型可控并联电抗器 magnetically controlled shunt reactor (MCSR)
通过改变铁芯的饱和程度来实现电抗值调节的并联电抗器。
注：磁控型可控并联电抗器工作原理见附录 A，应用案例见附录 B。
[DL/T 1193—2012，定义 4.5.2]
- 3.3
网侧绕组 line side winding
与电网直接相连的绕组。
[DL/T 1193—2012，定义 4.5.8]
- 3.4
控制绕组 control winding
与可控并联电抗器调节控制装置相连接的绕组，通过改变流过该绕组的电流来实现可控并联电抗器阻抗调节。
[DL/T 1193—2012，定义 4.5.9]
- 3.5
辅助绕组 auxiliary winding
具备连接滤波器或者为调节控制装置提供电源等辅助功能的绕组。
[DL/T 1193—2012，定义 4.5.10]
- 3.6
阀控系统 valve control system
以晶闸管或其他电力电子器件作为主要控制元件的可控并联电抗器调节控制装置，与控制绕组相连接，对可控并联电抗器输出容量进行控制的子系统。
- 3.7
阶跃响应时间 step response time
当输入阶跃控制信号后，MCSR 输出达到目标值的 90%所用的时间，且期间没有产生过冲，见图 1。
注：由于电压变化范围较小，难以获得清晰的电压变化曲线，一般可以用瞬时无功变化曲线来确定响应时间。

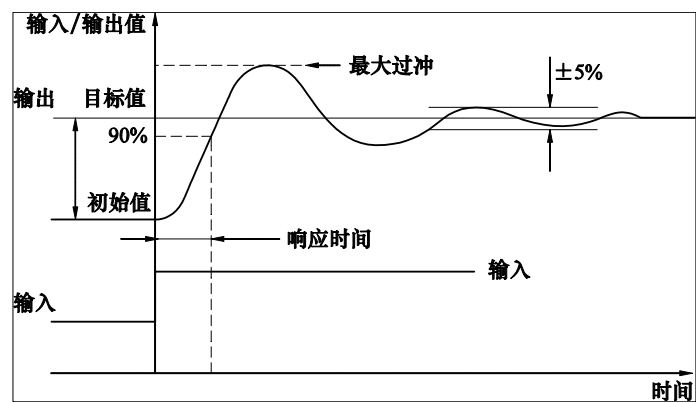


图 1 阶跃响应时间定义

- 4 型号命名
- 4.1 装置型号由产品型号、设计序号、额定容量、额定电压、特殊使用环境代号共 5 部分组成。其型号命名组成见图 2。

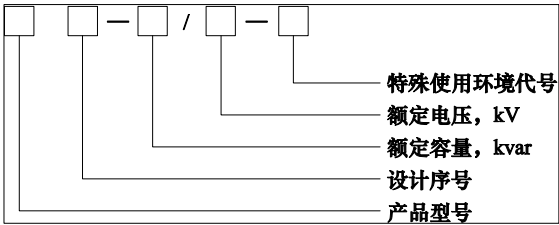


图 2 型号命名组成

4.2 产品型号的字母排序及含义见表 1。

表 1 产品型号的字母排序及含义

序号	分 类	含 义	代表字母
1	型式	磁控型可控并联电抗器	MCSR
2	成套装置相数	“单” 相 “三” 相	D 三
3	成套装置结构型式	本体和阀控分离 本体和阀控“集”成在一起	三 J
4	分隔符	分隔成套装置和本体	/
5	本体绕组外绝缘介质	变压器油 空气（“干”式） 浇注“成”型固体	三 G C
6	本体冷却装置种类	自然循环冷却装置 “风”冷却装置 “水”冷却装置	三 F S
7	本体油循环方式	自然循环 强“迫”油循环	三 P
8	导线材质	铜线 “铝”线	三 L
9	分隔符	分隔本体和阀控	/
10	阀控系统冷却装置种类	自然循环冷却装置 “风”冷却装置 “水”冷却装置	三 F S
11	阀控系统供电方式	内部取电 “外”部供电	三 W
12	阀控系统触发方式	光电触发 电“磁”触发	三 C
注：表中带引号的字由型号中代表字母表示。			

4.3 特殊使用环境代号按 JB/T 3837 执行。

例如 MCSRDJ/GF/FWC 1234三5000/35三GYW2 表示一台单相，本体与阀控集成，干式绕组，风冷却，铜线圈；阀控系统风冷却外部供电电磁触发，设计序号 1234，5000kvar，35kV，高原及 c 级污秽地区用 MCSR。

5 使用条件

5.1 正常使用条件

5.1.1 环境条件

5.1.1.1 电抗器本体的使用环境条件

- a) 海拔不超过 1000m。
- b) 环境温度：
 - 1) 最高气温：+40℃；
 - 2) 最高月平均温度：+30℃；
 - 3) 最高年平均温度：+20℃；
 - 4) 最低气温：-25℃（适用于户外安装的本体），-5℃（适用于户内安装的本体）。
- c) 水冷却器水入口处的冷却水最高温度：+25℃。
- d) 安装场所污秽等级不超过 b 级。
- e) 地震引发的地面加速度 a_g ：水平方向低于 3m/s^2 ；垂直方向低于 1.5m/s^2 。

5.1.1.2 控制保护系统的使用环境条件

- a) 环境温度：-5℃~+45℃；
- b) 相对湿度：5%~95%；
- c) 海拔不超过 1000m；
- d) 应无剧烈的机械振动；
- e) 应无损坏绝缘及腐蚀金属的有害气体及蒸汽；
- f) 应无导电性或爆炸性尘埃，应无强电场或强磁场；
- g) 不受阳光直接照射，无雨雪及严重霉菌侵袭；
- h) 安装倾斜不大于 5°。

5.1.1.3 阀控系统的使用环境条件

阀控系统安装环境与电抗器本体相同时，应满足 5.1.1.1 的要求；阀控系统安装环境与控制保护系统相同时，应满足 5.1.1.2 的要求。

5.1.2 电气条件

5.1.2.1 接入系统电气条件

接入系统电气条件由供需双方确定。

5.1.2.2 控制保护系统电源条件

MCSR 的控制保护系统电源应满足如下条件：

- a) 交流电源：额定电压为 220V 或 380V；电压偏差为 $\pm 20\%$ ；频率为 50Hz；频率偏差为 $\pm 2.5\text{Hz}$ ；电压谐波总畸变率小于等于 8%。
- b) 直流电源：额定电压为 110V 或 220V；电压偏差为 -20%~+10%；电压纹波系数小于等于 5%。

5.2 特殊使用条件

5.2.1 凡是需要满足 5.1 条规定的正常使用条件之外的特殊使用条件，应在询价和订货时说明。

5.2.2 特殊使用条件下，MCSR 的额定值和试验规则：

- a) 在较高环境温度或高海拔环境下的温升和冷却：油浸式 MCSR 按 GB 1094.2 的规定；干式 MCSR 按 GB 1094.11 的规定。
- b) 在高海拔环境下的外绝缘：油浸式 MCSR 按 GB 1094.3 的规定；干式 MCSR 按 GB 1094.11 的规定。
- c) 特殊地区按相关标准规定。

6 性能参数

6.1 基本参数

MCSR 的容量优先值应优先从 GB/T 321 中 R10 序列中选取。典型 MCSR 的额定电压、额定容量、空载损耗、额定容量损耗等基本参数见表 2。

表 2 典型 MCSR 基本参数

额定电压 kV	额定容量 kvar	联结方式	空载损耗 kW	额定容量损耗	
				kW	%
6（10）	500	三角形联结	0.77	7.99	1.60
	630		0.82	10.01	1.59
	800		1.01	12.56	1.57
	1000		1.18	15.40	1.54
	1250		1.40	18.88	1.51
	1600		1.69	23.36	1.46
	2000		2.02	28.05	1.40
	2500		2.38	33.79	1.35
	3150		2.81	39.36	1.25
	4000		3.46	48.00	1.20
	5000		4.10	57.38	1.15
	6300		4.90	69.08	1.10
	8000		6.34	83.20	1.04
	10 000		8.04	99.45	0.99
	12 500		9.62	118.75	0.95
35（27.5）	2000	三角形联结	2.30	28.00	1.40
	2500		2.72	33.75	1.35
	3150		3.23	39.38	1.25
	4000		3.87	48.80	1.22
	5000		4.64	57.50	1.15
	6300		5.63	69.30	1.10
	8000		7.87	83.20	1.04
	10 000		9.28	99.00	0.99
	12 500		10.94	118.75	0.95

	16 000		13.17	144.00	0.90
	20 000		15.57	174.00	0.87
	25 000		19.00	210.00	0.84
	31 500		22.43	252.00	0.80
	40 000		26.88	312.00	0.78

表 2（续）

额定电压 kV	额定容量 kvar	联结方式	空载损耗 kW	额定容量损耗	
				kW	%
66	6300	三角形联结	8.00	71.19	1.13
	8000		9.60	85.60	1.07
	10 000		11.36	100.00	1.00
	12 500		13.44	122.50	0.98
	16 000		16.16	148.80	0.93
	20 000		19.20	180.00	0.90
	25 000		22.72	217.50	0.87
	31 500		26.96	261.45	0.83
	40 000		32.24	324.00	0.81
	50 000		38.08	400.00	0.80
	63 000		44.96	497.70	0.79

6.2 运行范围

- a) 容量调节范围：5%~100%额定容量连续可调，1.1 倍额定容量下连续运行；
- b) 运行电压范围：0.8 U_N ~1.1 U_N （ U_N 为额定电压），0.8 U_N 以下设备运行能力由设备制造商和用户协商确定。

6.3 允许偏差

6.3.1 电抗值允许偏差

在额定电压和额定频率下，电抗值允许偏差应在±1%的范围内，每相电抗与三相电抗平均值间的偏差不应大于±2%。

6.3.2 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%。

6.4 绝缘水平

本标准所规定的 MCSR 绕组应为全绝缘设计，自励式 MCSR 的控制绕组和网侧绕组具有相同的绝缘水平，他励式 MCSR 的控制绕组和网侧绕组按照各自电压选择绝缘水平。设备最高电压 $U_m > 1.1kV$ 的 MCSR 端子应耐受的电压见表 3，短时感应耐受电压为绕组额定电压的 2 倍；设备最高电压 $U_m \leq 1.1kV$ 的低压绕组应承受 5kV 短时外施耐受电压。

表 3 $U_m > 1.1kV$ MCSR 端子的额定耐受电压

系统标称电压	设备最高电压 U_m	额定雷电冲击耐受电压	额定短时外施耐受电压
--------	--------------	------------	------------

方均根值, kV	方均根值, kV	峰值, kV		方均根值, kV
		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)
66	72.5	325	360	140
注: 括号内数值仅适用于干式 MCSR。				

6.5 局放水平

对于干式 MCSR 和 66kV 电压等级油浸式 MCSR 应进行局部放电测量。在规定的局放测量电压 U_2 (相对地: $1.3U_m/\sqrt{3}$; 相间: $1.3U_m$) 下, 所有测量端子在 U_2 下的视在电荷量的持续水平应不超过 300pC, 端子在 $1.1U_m/\sqrt{3}$ 下的视在电荷量的持续水平应不超过 100pC。对于干式产品按 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。

6.6 温升限值

在 5.1 规定的正常使用条件下, MCSR 在额定电流、1.1 倍额定电压下, 各部分温升限值应满足表 4 规定。

表 4 MCSR 温 升 限 值

组部件	部 位		温升限值 K
油浸式 MCSR 本体	顶层油温升		60
	绕组平均温升 (电阻法测量)		65
	铁芯、结构件以及功率半导体器件 (如适用)		80
	油箱壁表面温升		80
干式 MCSR 本体	绕组平均温升 (GB1094.11)	绝缘系统温度 ℃	—
		105 (A)	60
		120 (E)	75
		130 (B)	80
		155 (F)	100
		180 (H)	125
		200	135
		220	150
	铁芯及结构件	在任何情况下不出现使铁芯本身、其他部件或与其相邻的材料受到损害的温度	
母线及连接处	母线	铜母线	35

		铝母线		25
	连接处	铜母线连接处	无保护层	45
			有锡和铜保护层	55
			有银保护层	70
		铝母线连接处		30
功率半导体器件	计算结温小于 105℃			
开关设备等其他标准部件	按照相关标准执行			

6.7 过励磁能力

在额定频率下，本体的过励磁能力应满足表 5 的规定。

表 5 本体的过励磁能力

励磁电压	持续时间
$1.4U_N$	20s
$1.3U_N$	3min
$1.25U_N$	10min
$1.2U_N$	20min
$1.15U_N$	60min
$1.1U_N$	持续
注：表中 U_N 为本体额定电压。	

6.8 谐波电流

在正弦波形额定电压作用下，整个运行范围内其注入系统的 50 次以下谐波电流总有效值应小于额定电流的 3%。

6.9 声级水平

在额定电压下，整个运行范围内其声级水平（声压级）：3150kvar（含）以下应不大于 65dB（A），3150kvar~10 000kvar（含）应不大于 70dB（A），10 000kvar 以上应不大于 75dB（A），并按 GB/T 1094.10 的规定进行换算，给出声功率级。

6.10 振动水平

油浸式 MCSR 油箱在额定电压、额定频率下，整个运行范围内其最大振动水平（振幅）应不大于 100 μ m（峰—峰）。

6.11 无线电干扰电压

油浸式 MCSR 在 1.1 U_m 电压下的无线电干扰电压应不大于 500 μ V，并在晴天夜晚无可见电晕。

6.12 绝缘油性能指标

油浸式 MCSR 用绝缘油应满足 GB 2536 规定。

6.13 控制保护系统的交流和直流回路

6.13.1 交流回路

- a) 交流电压：100/ $\sqrt{3}$ V、100V；
- b) 交流电流：1A、5A；

c) 额定频率：50Hz。

6.13.2 直流回路

直流电压：24V、48V、110V、220V。

6.13.3 通道负载

a) 交流电压通道：不大于 1VA/相；

b) 交流电流通道：额定电流 1A，不大于 0.5VA/相；额定电流 5A，不大于 1VA/相。

6.13.4 过载能力

a) 交流电压回路：1.2 倍额定电压，连续工作；1.4 倍额定电压，应不小于 10s。

b) 交流电流回路：2 倍额定电流，连续工作；10 倍额定电流，允许 10s；40 倍额定电流，应不小于 1s。

6.14 控制保护系统的触点性能

装置控制保护系统触点性能应满足 GB/T 14598.1 的规定。

6.15 测量精度

6.15.1 开关量

开关量的时间分辨率应不大于 1ms。

6.15.2 测量和调节用模拟量

a) 电压：在 0.1p.u.~1.5p.u.时的测量和转换量值误差应不超过 0.5%，角度误差不超过 0.1°；

b) 电流：在 0.1p.u.~1.5p.u.时的测量和转换量值误差应不超过 1%；

c) 无功功率：在负荷电流为 0.1p.u.~1.2p.u.时误差不超过 2.5%；

d) 无功电流：无功电流的测量在负荷电流为 0.1p.u.以上时，误差不超过 2%。

以上误差限值不包括电压互感器、电流互感器的误差。

6.15.3 保护和监控用模拟量

电流在 20 倍额定值时的综合测量误差不超过 10%。

6.16 补偿误差

10%~100%额定容量范围内，无功补偿误差应小于额定值的 1%。

6.17 响应时间

从 10%到 100%额定容量的阶跃响应时间应小于 600ms，从 100%到 10%额定容量的阶跃响应时间应小于 3s；当对产品响应特性有特殊要求（从 10%到 100%额定容量和从 100%到 10%额定容量的阶跃响应时间在 20ms~300ms）时，用户可要求设备供应商进行特殊设计。

7 技术要求

7.1 本体技术要求

7.1.1 一般规定

按本标准生产制造的电抗器本体应满足 GB 1094.1、GB 1094.2、GB 1094.3、GB 1094.11、GB/T 6451 及 GB/T 1094.6 的相关规定。电抗器本体组、部件的设计、制造及检验等应满足相关标准的要求。

7.1.2 油浸式 MCSR 安全保护装置

7.1.2.1 额定容量 800kvar 及以上的油浸式 MCSR 应装有气体继电器，其触点容量不小于 66VA（交流 220V 和 110V），直流有感负载时不小于 15W。积聚在气体继电器内的气体数量达到 250mL~300mL 时，或油流速度在整定范围内，应分别接通相应的触点。气体继电器的安装位置及其结构应能观察到分解气体的数量和颜色，且应便于在地面取气体。电抗器油箱的联管和油管的设计应采取措施，使气体易于汇集在气体继电器内。

7.1.2.2 额定容量 800kvar 及以上、或采用密封式油箱的油浸式 MCSR 应装有压力释放装置，当内部

压力达到所安装的压力释放装置的启动压力时，压力释放装置应可靠释放压力。

7.1.2.3 电抗器应有供给信号测量和保护装置辅助回路用的接线箱。

7.1.3 油浸式 MCSR 本体油保护装置

7.1.3.1 电抗器应装有储油柜，其结构应便于清理内部。储油柜的一端应装有油位计，储油柜的容积应保证在最高环境温度及允许过载状态下油不溢出，在最低环境温度未投入运行时，观察油位计应有油位指示。

7.1.3.2 储油柜应有注油、放油、放气和排污装置。

7.1.3.3 电抗器应采取防油老化措施，以确保电抗器内部的油不与大气相接触，如在储油柜内部加装胶囊、隔膜或采用金属波纹密封式储油柜等。

7.1.3.4 电抗器储油柜应加装带油封的吸湿器。

7.1.4 油浸式 MCSR 本体油温测量装置

7.1.4.1 本体应装有供温度计用的管座。所有设置在油箱顶盖的管座应伸入油内 120mm±10mm。

7.1.4.2 本体须装设户外测温装置，其触点容量在交流电压 220V 时，不低于 50VA，直流有感负载时，不低于 15W。测温装置的引线应用支架固定，安装位置应便于观察，且其准确度应满足相应标准。

7.1.4.3 本体应装有远距离测温用的测温元件。

7.1.4.4 当本体采用集中冷却结构时，应在靠近油箱进出口总管路处装测油温用测温元件。

7.1.5 油浸式 MCSR 本体铁芯和金属结构零件接地

7.1.5.1 MCSR 本体铁芯和金属结构零件均应通过油箱可靠接地。

7.1.5.2 对 66kV，20 000kvar 以上油浸式 MCSR 本体，铁芯应单独引出并可靠接地。

7.1.6 干式 MCSR 测温装置

干式 MCSR 应配备绕组温度传感器。

7.1.7 本体冷却系统

7.1.7.1 电抗器本体应优先采用自然循环冷却方式。

7.1.7.2 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

7.2 阀控系统技术要求

7.2.1 晶闸管阀宜采用光电触发，以提高系统的抗干扰性能、实现一、二次设备的有效隔离，应配备过电压触发保护，以防止过电压击穿晶闸管。

7.2.2 晶闸管阀应具有足够载流能力，在最恶劣的散热条件（环境温度最高、备用冷却器停运、冷却介质流量最小）下，应保证 MCSR 能够在最大允许运行容量下长期运行。

7.2.3 阀控系统应配备过电压保护和能量吸收装置，以防止系统不对称故障、铁芯剩磁等现象所引起的过电压损坏阀体。

7.2.4 他励式阀控系统，应提供阀控系统专用的整流变压器；如阀控系统接入后导致接入点谐波电压不满足 GB/T 14549 的规定，则应配备必要的滤波器装置。

7.2.5 阀控系统的绝缘水平取决于晶闸管阀的保护方式。如阀控系统和本体是分离的，则应从表 3 中选取不低于阀额定电压的标准绝缘水平作为阀对地绝缘水平试验的依据，阀端间绝缘水平参照 DL/T 1010.2—2006 中 5.3 确定阀端间试验值。如阀控系统和本体集成于一体不宜拆分，阀控系统与本体应一起进行绝缘性能考核。

7.2.6 应根据冷却方式供给全套冷却装置。

7.3 控制保护系统技术要求

7.3.1 控制保护装置总体要求

按本标准生产制造的 control 保护装置应满足 DL/T 478 的相关规定。

7.3.2 控制及监测功能要求

- a) 监控系统应自动完成电气量（无功功率、功率因数、电压、电流）计算、触发角调节等功能，以保证负荷的功率因数或系统电压维持在设定值。
- b) 根据需要，控制与监测系统可提供就地和远方两种操作方式。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。
- c) 监控系统应具备就地操作的人机界面，宜具备通信接口以实现远程监测和控制。
- d) 控制系统应具备定电压控制、恒无功控制、恒功率因数控制等控制模式，控制目标值方便设置。
- e) 监控系统至少应在就地监控界面完成以下操作：开关的分合操作、装置起停、信号复归。
- f) 监控系统应自动完成除隔离开关外的停运操作。
- g) 监控系统应显示充分的信息，以便于运行维护人员观察设备运行状况、定位故障原因，至少应具备如下功能：
 - 1) 运行状态显示；
 - 2) 主接线图显示（包括各开关的位置信息）；
 - 3) 模拟量显示（系统电压、装置电流）；
 - 4) 事件记录和显示查询功能；
 - 5) 功率半导体器件的状态信息显示；
 - 6) 冷却系统运行状态显示。
- h) 装置应具备必要的逻辑互锁功能，以防止误操作。

7.3.3 保护功能要求

至少配备如下保护：

- a) 电流速断保护；
- b) 过电流保护；
- c) 零序过电压保护；
- d) 本体非电量故障保护；
- e) 参照变压器相关标准根据需要配备温度告警；
- f) 控制系统电源故障保护；
- g) 冷却系统异常保护；
- h) 功率半导体器件故障（过热、损坏等）保护；
- i) 电压互感器、电流互感器断线保护；
- j) 匝间故障保护（适用于电压等级 10kV 以上或容量 5000kvar 及以上）；
- k) 根据需要设置系统过电压、欠压保护。

8 试验项目与试验方法

8.1 试验类别

8.1.1 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气元件进行参数整定。这一试验由制造厂对出厂的每台装置进行。

8.1.2 型式试验

- a) 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规定的性能。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。
- b) 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。
- c) 在正常生产中，型式试验亦应每五年进行一次。
- d) 型式试验应由具有资质的第三方承担。

8.1.3 特殊试验

除型式试验和例行试验外，按制造厂和用户协议所进行的试验。

8.1.4 现场验收试验

现场验收试验是装置在安装现场投运前所需进行的试验。试验的目的是检验装置在运输和安装中是否受到损伤，装置的功能、性能是否满足规范要求。

8.2 试验条件

8.2.1 控制保护系统试验条件按照 GB/T 7261 规定执行。

8.2.2 高压试验条件按照 GB/T 16927.1 规定执行。

8.3 本体试验项目与试验方法

8.3.1 试验项目

8.3.1.1 例行试验

- a) 绕组电阻的测定 (GB 1094.1);
- b) 电压比测量和联结组标号检定 (GB 1094.1);
- c) 空载损耗和空载电流测量 (GB 1094.1);
- d) 负载损耗测量 (GB 1094.1, 同成套装置的试验一并进行);
- e) 短路阻抗测量 (适用于高低绕组分离的 MCSR, GB 1094.1);
- f) 绕组对地绝缘电阻测量 (8.3.5) 和 (或) 绝缘系统电容的介质损耗因数测量 (8.3.4);
- g) 吸收比测量 (8.3.3);
- h) 绝缘油试验 (GB 1094.1);
- i) 绝缘例行试验 (GB 1094.3);
- j) 密封性能试验 (8.3.2)。

8.3.1.2 型式试验

- a) 温升型式试验 (GB 1094.2, 同成套装置的试验一并进行);
- b) 绝缘型式试验 (GB 1094.3);
- c) 声级测量 (GB 1094.10, 同成套装置的试验一并进行);
- d) 谐波电流测量 (8.6.4, 同成套装置的试验一并进行)。

8.3.1.3 特殊试验

- a) 空载电流的谐波测量 (GB1094.1);
- b) 风扇和泵所需功率测量;
- c) 振动测量。

8.3.1.4 现场试验

- a) 绕组电阻的测定 (GB 1094.1);
- b) 电压比测量和联结组标号检定 (GB 1094.1);
- c) 绕组对地绝缘电阻测量 (8.3.5) 和 (或) 绝缘系统电容的介质损耗因数测量 (8.3.4);
- d) 吸收比测量 (8.3.3);
- e) 绝缘油试验 (GB 1094.1);
- f) 交流耐压试验 (GB 1094.3)。

8.3.2 密封性能试验

电抗器油箱及储油柜应能承受在最高油面上施加 GB/T 6451 规定的静压力的油密封试验，试验时间持续 24h，不得有渗漏及损伤。

8.3.3 吸收比测量

应提供电抗器吸收比 (R_{60}/R_{15}) 实测值，测试通常在 10℃~40℃温度下进行。

8.3.4 介质损耗因数测量

应提供电抗器的介质损耗因数值 ($\tan \delta$)，测试通常在 $10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 温度下进行。不同温度下的 $\tan \delta$ 值一般可按式 (1) 换算：

$$\tan \delta_2 = \tan \delta_1 \cdot 1.3^{(t_2 - t_1)/10} \quad (1)$$

式中：

$\tan \delta_1$ 、 $\tan \delta_2$ ——分别为温度 t_1 、 t_2 时的 $\tan \delta$ 值。

8.3.5 绝缘电阻测量

应提供电抗器绝缘电阻的实测值，测试通常在 $10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 温度和相对湿度小于 85% 时进行，当测量温度不同时，绝缘电阻可按式 (2) 换算：

$$R_2 = R_1 \cdot 1.5^{(t_1 - t_2)/10} \quad (2)$$

式中：

R_1 、 R_2 ——分别为温度 t_1 、 t_2 时的绝缘电阻值， Ω 。

8.3.6 温升型式试验

温升试验前后应取油样进行气相色谱分析试验，试验结果应满足相关标准规定，且烃类气体无明显变化。

8.4 阀控系统试验项目与试验方法

8.4.1 试验项目

8.4.1.1 例行试验

- a) 绝缘电阻测量 (8.4.2)；
- b) 阀控系统对地绝缘试验 (只进行短时工频电压试验，8.4.3.1)；
- c) 阀控系统端间试验 (只进行短时工频电压试验，8.4.3.2)。

8.4.1.2 型式试验

- a) 阀控系统对地绝缘试验 (短时工频电压试验和雷电冲击试验，8.4.3.1)；
- b) 阀控系统端间试验 (短时工频电压试验和操作冲击试验，8.4.3.2)；
- c) 过电压保护装置试验 (8.4.4)；
- d) 温升试验 (8.4.5)。

8.4.1.3 现场验收试验

- a) 绝缘电阻测量 (8.4.2)；
- b) 阀控系统对地绝缘试验 (只进行短时工频电压试验，8.4.3.1)。

8.4.2 绝缘电阻测量

短接晶闸管阀各输入、输出端子，采用 2500V 绝缘电阻表测量其对外壳及地的绝缘电阻，当测量温度与仲裁试验温度不符合时按照 8.3.5 进行修正，绝缘电阻应不小于 $1\text{M}\Omega$ 。

8.4.3 电气绝缘强度试验

8.4.3.1 阀控系统对地绝缘试验

如阀控系统对地采用了可靠的过电压保护措施，按照 GB/T 311.2 确定阀控系统对地绝缘水平，并按照 GB/T 311.2 所规定的安全因数确定试验电压值；如阀控系统对地没有采取可靠的过电压保护措施，其对地绝缘试验电压由所接入的本体绕组绝缘水平来确定。对地绝缘试验包括短时工频电压试验和雷电冲击试验，试验时应逐级短接晶闸管的阴极、阳极及门极、短接阀控系统的输入、输出端子并断开过电压保护装置，试验电压加于输入输出端子与外壳及地之间。试验中无器件损坏和闪络发生，视为试验通过。

8.4.3.2 阀控系统端间试验

端间绝缘试验包括短时工频电压试验和操作冲击试验。如阀控系统端间采用了可靠的过电压保护措施，按照 GB/T 311.2 确定阀控系统端间水平，并按照 GB/T 311.2 所规定的安全因数确定试验电压值；如阀控系统端间没有采取可靠的过电压保护措施，其端间绝缘试验电压值按如下原则确定：工频

试验电压为所接入取能电源额定电压的 2 倍，操作冲击试验电压为所接入取能电源额定电压的 3 倍。试验中无器件损坏和闪络发生，视为试验通过。

8.4.4 过电压保护装置试验

过电压保护试验通过操作冲击试验来实现。试验电压值为过电压保护水平的 1.1 倍，试验中阀控系统应与过电压保护装置连接，无器件损坏和闪络发生，视为试验通过。

8.4.5 温升试验

在最恶劣的散热条件（备用冷却器停运、冷却介质流量最小）下，使阀控系统中流过 1.1 倍额定励磁电流，达到热平衡后（温度变化不超过每小时 1K），各部位的温升应满足表 4 规定。

注：该试验可同成套装置的过载能力试验（8.6.5）一同进行。

8.5 控制保护系统试验项目与试验方法

8.5.1 试验方法

MCSR 控制保护系统试验包括例行试验、型式试验和现场验收试验。试验方法参考 DL/T 995、DL/T 478 执行。

8.5.2 试验项目

8.5.2.1 例行试验

- a) 测量精度试验（8.5.3）；
- b) 控制保护功能试验（8.5.5）；
- c) 绝缘性能试验（DL/T 478）；
- d) 连续通电试验（DL/T 478）。

8.5.2.2 型式试验

- a) 过载能力试验（8.5.4）；
- b) 耐湿热性能试验（DL/T 478）；
- c) 电磁兼容试验（DL/T 478）；
- d) 机械性能试验（DL/T 478）。

8.5.2.3 现场验收试验

- a) 测量精度试验（8.5.3）；
- b) 二次回路检验（DL/T 995）；
- c) 控制保护功能试验（8.5.5）。

8.5.3 测量精度试验

给装置测量回路输入标准电流、电压值，根据装置显示值、事件记录判断其相对误差结果应满足 6.15.1~6.15.3 要求。

8.5.4 过载能力试验

按 6.13.4 的规定对装置进行过载能力试验，装置经受过载试验后，无损坏视为通过。

8.5.5 控制保护功能试验

对 7.3.2 要求的各项监控系统功能进行试验，各监控功能正确。

模拟各种故障，按 7.3.3 规定的各项保护功能进行试验，装置在各种故障下应能正确动作且保护动作值与保护定值间误差小于 $\pm 5\%$ 。进行现场验收试验时，主保护需带实际回路和断路器做传动试验。

8.6 成套装置试验方法与项目

8.6.1 试验项目

8.6.1.1 例行试验

- a) 响应时间测试（8.6.2）；
- b) 连续通电例行试验（8.6.6）；
- c) 自动控制试验（8.6.3）；

- d) 损耗测量 (8.6.4);
- e) 电抗值测量 (8.6.4);
- f) 噪声测量 (8.6.4)。

8.6.1.2 型式试验

- a) 温升及过载能力试验 (8.6.5);
- b) 谐波电流测量 (8.6.4)。

8.6.1.3 现场验收试验

- a) 响应时间测试 (8.6.2);
- b) 自动控制试验 (8.6.3);
- c) 连续通电现场试验 (8.6.6)。

8.6.2 响应时间测试

- a) 例行试验时, 装置解锁, 使 MCSR 容量自动调节到额定容量, 记录 MCSR 电流变化波形和解锁信号, 从解锁信号发出至 MCSR 电流达到 90% 额定的时间记为 MCSR 的响应时间, 响应时间应满足 6.17 要求; 当试验条件达不到要求时, 经制造厂和使用部门协商, 可在现场进行。
- b) 现场试验时, 应采用人工制造扰动的方式测量实际响应时间; 试验条件不具备时, 双方协商进行。

8.6.3 自动控制试验

8.6.3.1 电压控制模式

将控制器设定为电压控制方式, 依次降低目标电压参考值 (低于系统电压), MCSR 输出应逐渐增加到额定容量; 依次增加目标电压参考值 (高于系统电压), MCSR 输出应逐渐减小到 5% 额定电流。记录系统电压和 MCSR 电流波形。

8.6.3.2 恒无功控制模式

将控制器设定为恒无功控制方式, 依次增加无功参考值, 直至输出电流达到额定; 然后, 依次减小无功参考值重复上述试验。在条件允许的情况下, 亦可通过投切电容等方式来改变测量点的无功功率等方式来进行试验。记录系统电压和 MCSR 电流波形, MCSR 容量稳定后其输出无功功率与无功参考值间的偏差满足 6.16 要求, 视为试验通过。

8.6.3.3 恒功率因数控制模式

- a) 例行试验中仅通过继电保护测试仪对控制器进行功能检查。
- b) 型式试验和现场验收试验中, 通过投切电容器组来改变系统测量点的无功功率, 试验电抗器自动功率因数调节的功能。另外, 也可以通过改变可在控制器上设置的目标功率因数设定值, 来试验成套装置的恒功率因数控制功能。

8.6.3.4 综合控制模式

- a) 综合控制模式是指任意上述两种或三种控制方式的综合, 可以根据系统运行状况自动实现控制模式间切换;
- b) 通过继电保护测试仪对各种控制模式切换功能和切换条件进行试验和测试, 模式切换功能正常且实际切换条件与设定值间偏差小于 1% 视为试验通过。

8.6.4 损耗、电抗、谐波及噪声测量

在额定电压、额定频率下, 手动调节 MCSR 容量, 分别输出 5%、10%、20%、30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%、100% 额定电流, 测量并记录各测量点损耗 (应包括外部取能电源的功耗)、谐波电流、电抗值、噪声, 噪声测量按照 GB/T 1094.10 规定进行。损耗值需按照产品绝缘等级要求进行校正, 额定容量总损耗应满足 6.1 要求, 损耗偏差应满足 6.3.2 要求; 额定电抗值偏差应满足 6.3.1 要求; 谐波电流应满足 6.8 要求; 噪声应满足 6.9 要求。

8.6.5 温升及过载能力试验

在 1.1 倍额定电压、额定频率下，手动调节到额定电流，达到热平衡后（温度变化不超过 1K/h），按 GB 1094.2 规定的方法测定顶层油温升和绕组平均温升，各部分温升应满足表 4 规定，试验前后应取油样进行色谱分析，分析结果应满足相关标准规定，且烃类气体无明显变化。

8.6.6 连续通电试验

- a) 连续通电例行试验：在额定电压、额定频率、10%额定电流下，对试品进行连续 24h 通电试验；
- b) 连续通电现场验收试验：在额定电压、额定频率下，对试品进行连续 24h 满载试验，试验前后应取油样进行色谱分析，分析结果应满足相关标准规定，且烃类气体无明显变化。

9 标志、包装、运输与储存

9.1 铭牌标志

每台装置应有标明下列内容的铭牌：名称和型号、额定电压、额定电流、额定容量、额定总损耗、出厂编号、制造年月、制造商名称或商标。

9.2 包装

9.2.1 包装要求

装置应有内包装和外包装箱，插件箱应锁紧扎牢，包装箱应有防尘、防雨、防振措施。

9.2.2 产品随带文件

- a) 装箱清单；
- b) 产品合格证书（合格证）；
- c) 安装时必需的图纸资料等；
- d) 使用说明书（装置使用说明书应满足 GB/T 9969 的规定要求）。

9.3 运输

运输和装卸按包装箱上的标记进行。运输后装置的结构及零件无机械损伤、无弯曲变形及紧固件松动等现象。

9.4 储存

装置应储存在环境温度 $-20^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不大于 90% 的库房内，室内无酸、碱、盐及腐蚀性、爆炸性气体、不受灰尘雨雪的侵蚀。

附录 A (资料性附录)

磁控型可控并联电抗器工作原理

磁控型可控并联电抗器的基本工作原理是通过改变直流励磁的大小，改变铁芯的磁饱和度和，进而改变等效磁导率，从而平滑地改变电抗值和电抗容量。

根据励磁系统的取能方式不同，MCSR 可以分为他励式和自励式两种类型。他励式 MCSR 的典型接线型式见图 A.1，其本体由高低两个绕组组成，彼此相互隔离，其中低压绕组为励磁绕组，高压绕组为主绕组；低压整流器为本体提供调节所需的励磁电流。自励式 MCSR 的典型接线型式见图 A.2。当外加电压 $e(t)$ 为正极性时，晶闸管 T1 两端的电压为正极性，触发 T1，则可产生如图 A.2 b) 所示方向的直流电流；反之，当外加电压 $e(t)$ 为负极性时，触发晶闸管 T2，可产生如图 A.2 c) 所示方向的直流电流；当 T1 及 T2 均不导通时，则上述直流电流通过二极管 D 续流，续流过程中励磁电流的方向不变，由此，构成了一个完整的全波整流电路为 MCSR 提供所需的直流励磁电流。

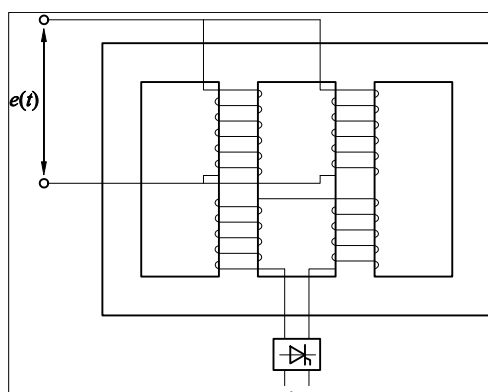


图 A.1 他励式 MCSR 单相原理示意图

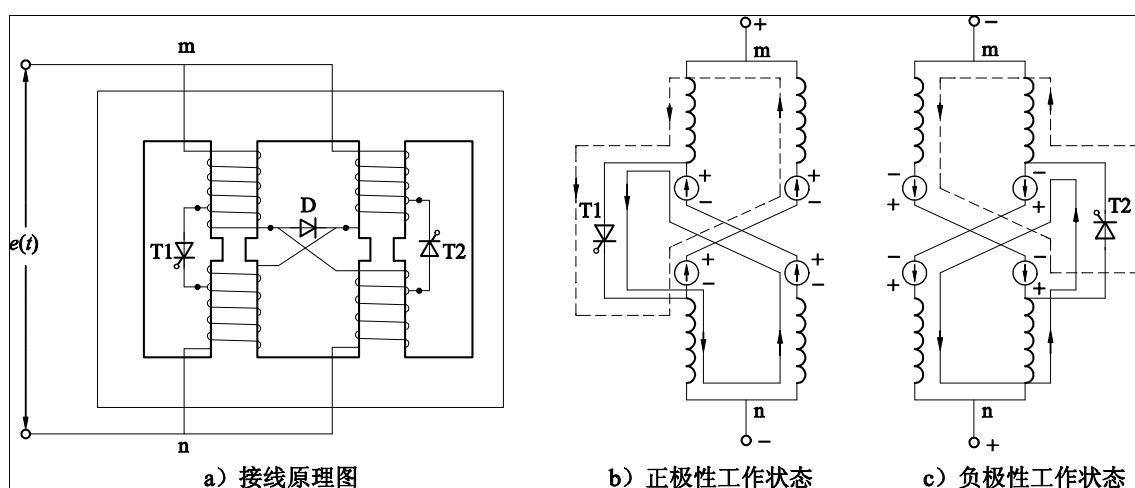


图 A.2 自励式 MCSR 单相原理示意图

由于励磁绕组的方向不同，直流励磁电流在两个铁芯所产生的直流磁通方向相反，在交流电压作用下，两个铁芯柱在一个周期内交替饱和，从而使两个绕组上分别流过较大的饱和电流，二者相互叠

加在主绕组上形成近似正弦波电流见图 A.3。

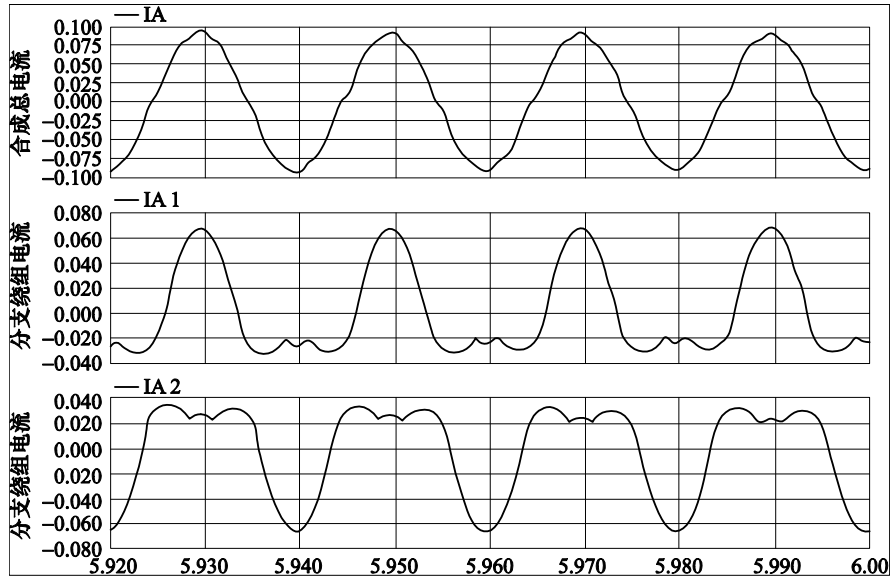


图 A. 3 分支绕组电流和相电流

MCSR 的容量取决于铁芯在一个周期中的磁饱和程度 β 。 β 定义为铁芯在一个工频周期内的饱和时间（用电角度表示）。当直流励磁电流为 0 时，铁芯在整个工频周期中不饱和，此时 $\beta=0$ ，见图 A.4 a)，容量为最小；随着励磁电流增加，铁芯的饱和时间加大，电抗器容量亦增加。当一个工频周期中铁芯全部饱和时，对应 $\beta=2\pi$ ，电抗器容量也达到最大值；为了降低铁芯损耗一般设计 $\beta_{\max}=\pi$ ，其工作状态见图 A.4 b)。图 A.4 给出了直流励磁电流为 0 和不不为 0 时，铁芯磁通 Φ 和磁场强度 H 的波形示意图。

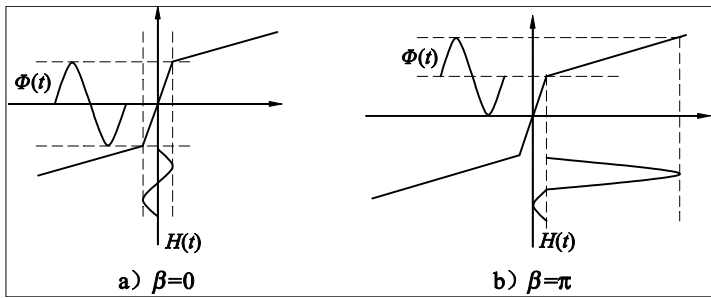


图 A. 4 铁芯 Φ — H 曲线示意图

直流励磁电流和 MCSR 容量的关系曲线见图 A.5，基波容量 Q^* 随着直流励磁电流 I_{DC}^* 的增加而单调增加，呈现略带饱和的线性关系，具有优越的控制特性。

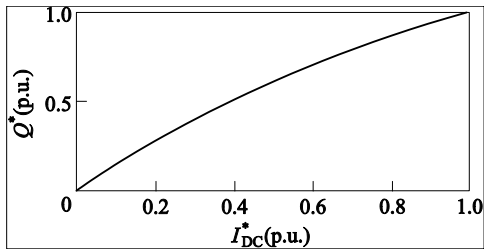


图 A. 5 MCSR 容量与直流励磁电流间关系曲线

MCSR 所产生的谐波电流随容量变化曲线见图 A.6，可以看出在整个调节容量范围内，各次谐波含量周期性变化，总谐波在 60%~80%容量附近接近最大值。

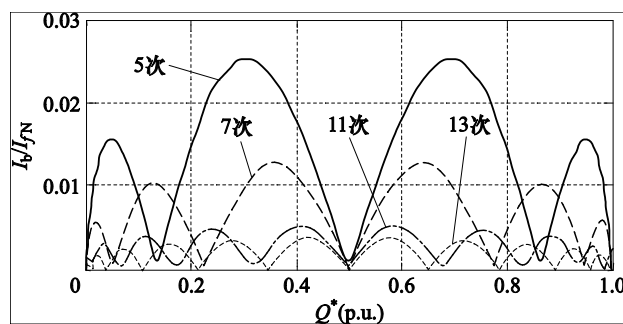


图 A. 6 谐波电流随容量变化规律

附录 B
(资料性附录)
磁控型可控并联电抗器的应用案例

B.1 电力系统应用案例

随着国民经济的快速发展，电力负荷日益增长，电网结构日趋庞大、复杂，系统无功需求变化日益频繁，传统的投切式低压电容器和电抗器难以满足电压水平控制和使用寿命要求，磁控型并联电抗器所具有的连续无功调节能力，是解决该问题的有效手段之一。

以国网辽宁省电力公司某 220kV 变电站 66kV 系统无功配置为例，系统接线图见图 B.1，其中，电容器组的基波容量为 32 000kvar，MCSR 容量为 20 000kvar，装置于 2009 年 1 月投运。该系统的特点如下：① 控制系统综合了 VQC 与变压器有载分接开关、并联电容器组为一体的独特控制方式，实现变电站无功功率连续可调；② 本体采用高压四芯套管结构，减少了本体高压套管数量，方便了控制线引出；③ 阀控系统采用了光电触发。

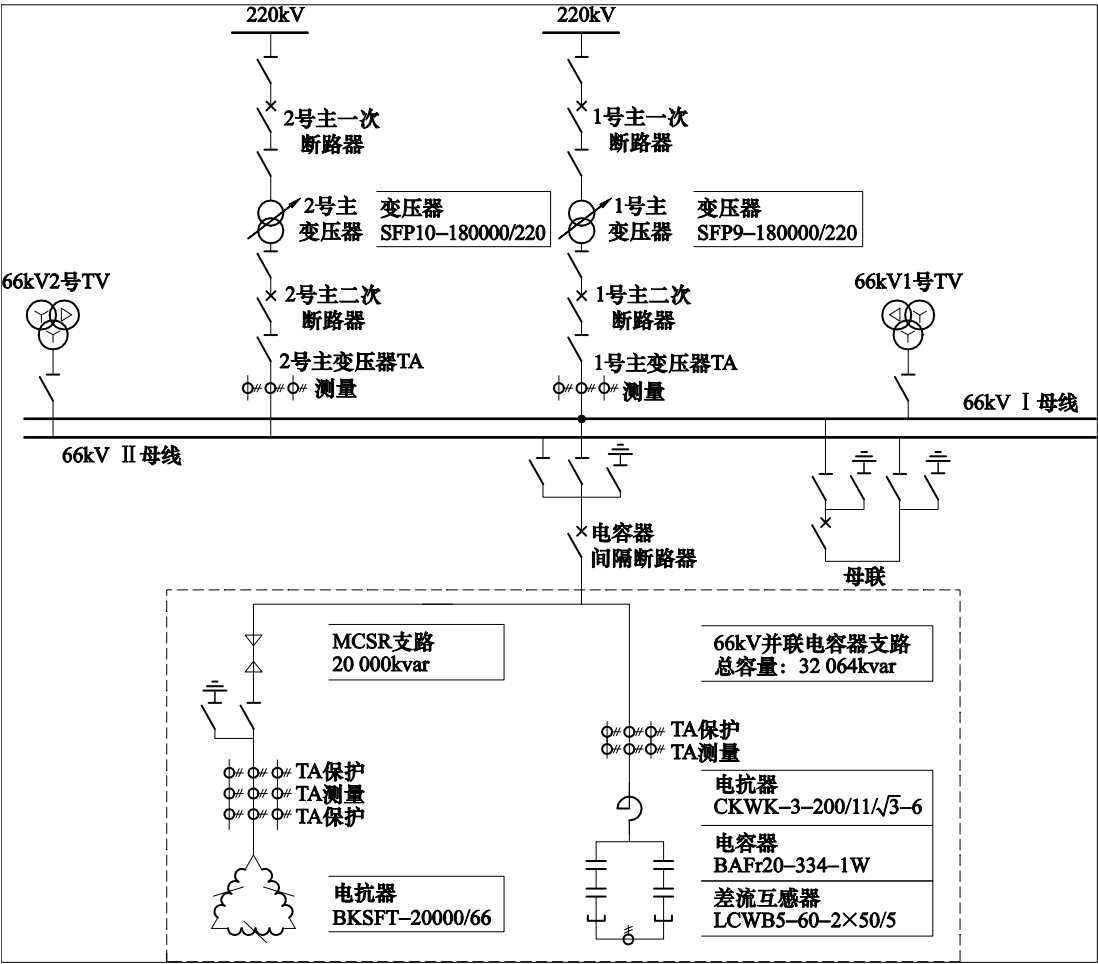


图 B.1 某 220kV 变电站 MCSR 工程系统接线图

装置投运前后系统的无功需求见图 B.2, 从图 B.1 中可以看出装置投运前为了防止过补偿, 绝大部分时间内系统具有较大的无功需求, 而装置投运后系统无功需求的幅值和持续时间、变压器有载调压开关的动作次数大大降低, 保证了系统电压合格率。

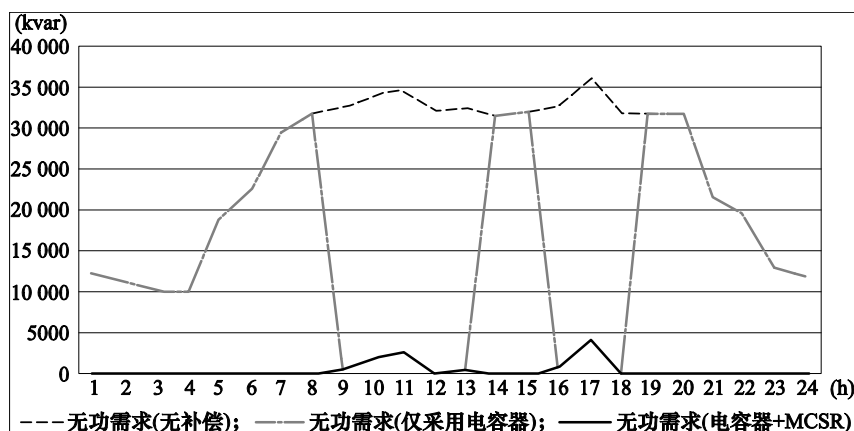


图 B.2 装置投运前后系统无功需求

B.2 风电场中的应用案例

风能资源的不稳定性和间歇性, 决定了风力发电场出力具有较大的波动性, 从而导致风电场无功需求具有较大波动性, 必须配备一定容量动态无功补偿装置。MCSR 具有系统简单、可靠性高、环境适应性好等优点, 是风电场动态无功补偿的主要手段之一。

在风电场中, MCSR 的容量一般为风电场主变压器容量的 15%~30%, 其中, 最大感性无功为风电场主变压器容量的 15%, 以满足风电场自身无功平衡和电压调节。以国内某 330kV 200MW 风电场变电站为例, 其系统接线见图 B.3, 其中 FU 为熔断器式隔离开关。MCSR 容量为 49.5Mvar, 最大容性无功补偿容量为 33Mvar, 设置 3 次及 5 次滤波支路, 最大感性无功补偿容量为 16.5Mvar, 控制方式为电压无功综合控制模式, 参与 330kV 电压控制, 为了防止控制模式频繁切换, 切换电压限值设置滞环。

MCSR 在该风电场投入运行之后, 风电场的电压稳定水平得到了大幅度改善, 不同控制模式下的无功、电压曲线见图 B.4。从图 B.4 中可以看出, 从无功波动和电压波动的两项综合指标来看综合控制模式的运行效果最为理想。

B.3 煤矿应用系统案例

图 B.5 是某矿井变电站系统主接线图。除了生活区和所用电, 其余用电负荷均为矿井主要设备的专用回路。为保证对关键设备的供电可靠性, 采用了 35kV 双电源内桥接线, 10kV 单母线分段运行方式, 关键设备由不同段的两回线路供电。煤矿主、副井绞车是矿井主要用电设备, 属于冲击性负荷, 容易造成电压波动, 对矿井的供电质量影响很大, 有必要采用动态无功补偿装置进行治理。

按照煤矿用电负荷的特点, 在图 B.5 所示两段 10kV 母线各配置一套 MCSR 型动态无功补偿装置, 基波容量分别按照主变压器额定容量的 30% 配置。图 B.6 为 10kV I 段母线 MCSR 型无功补偿装置主接线图。其中, 电容器组的基波容量为 3000kvar, MCSR 容量为 2400kvar。

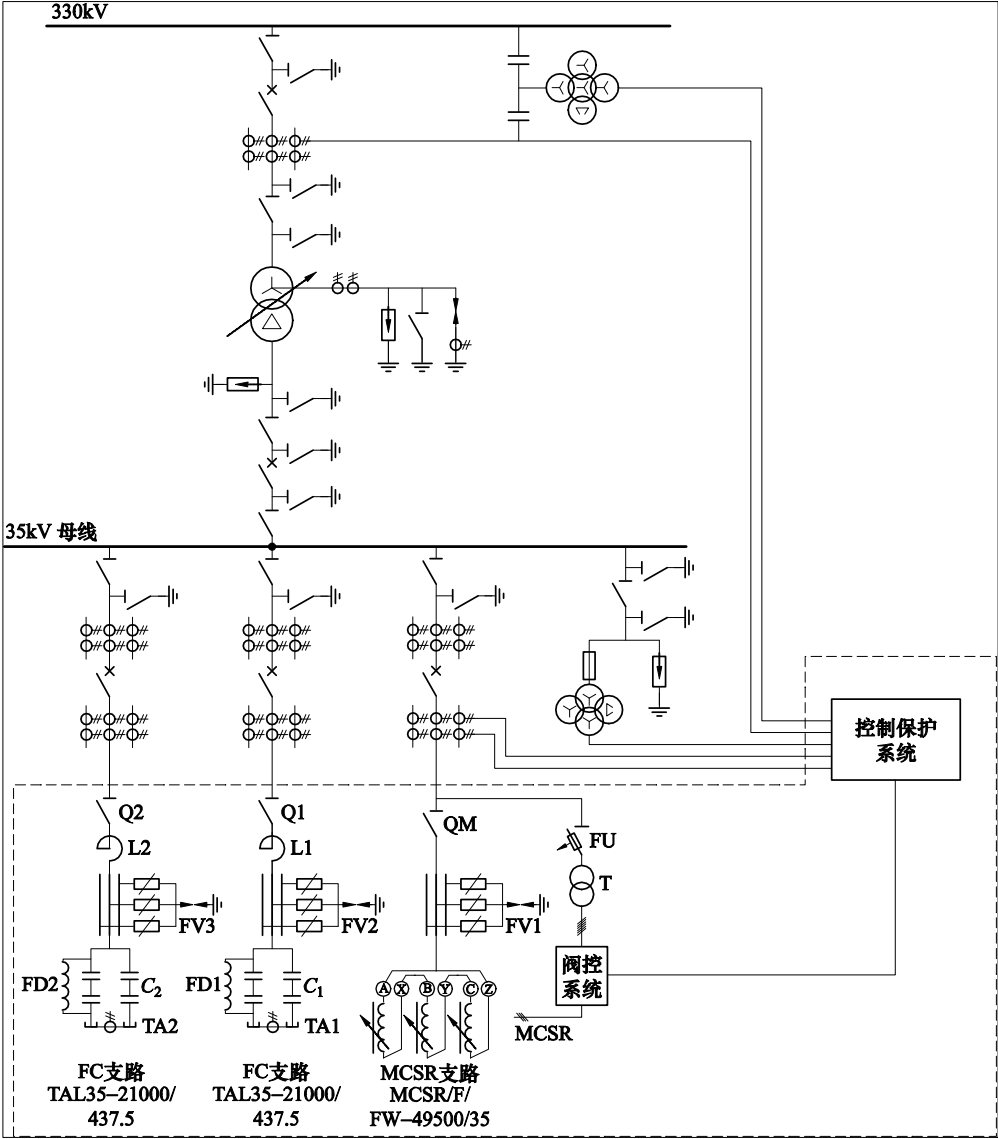


图 B. 3 某 330kV 风电场变电站 MCSR 工程系统接线图

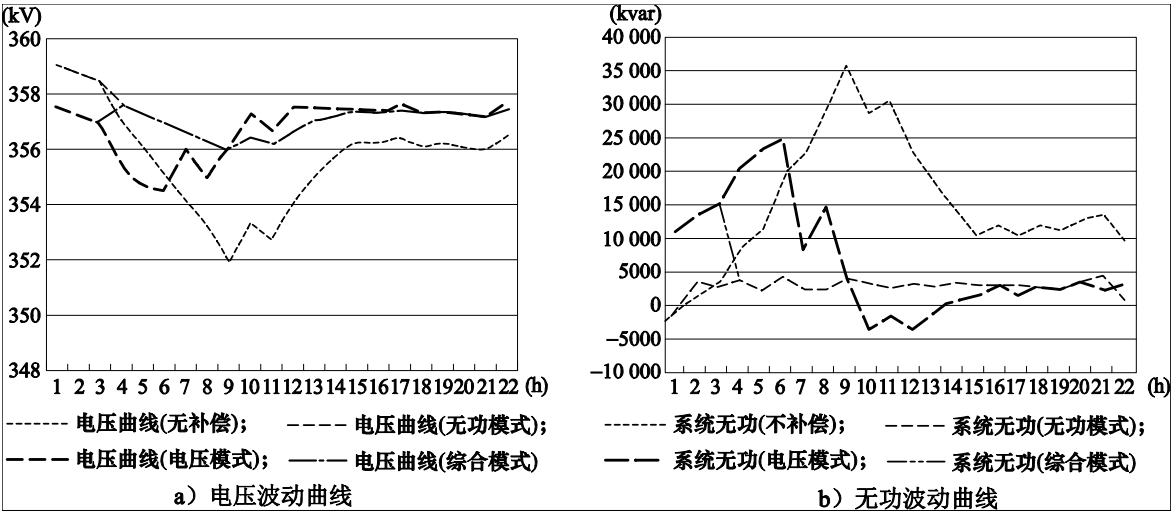


图 B. 4 不同模式下的风电场无功、电压波动曲线

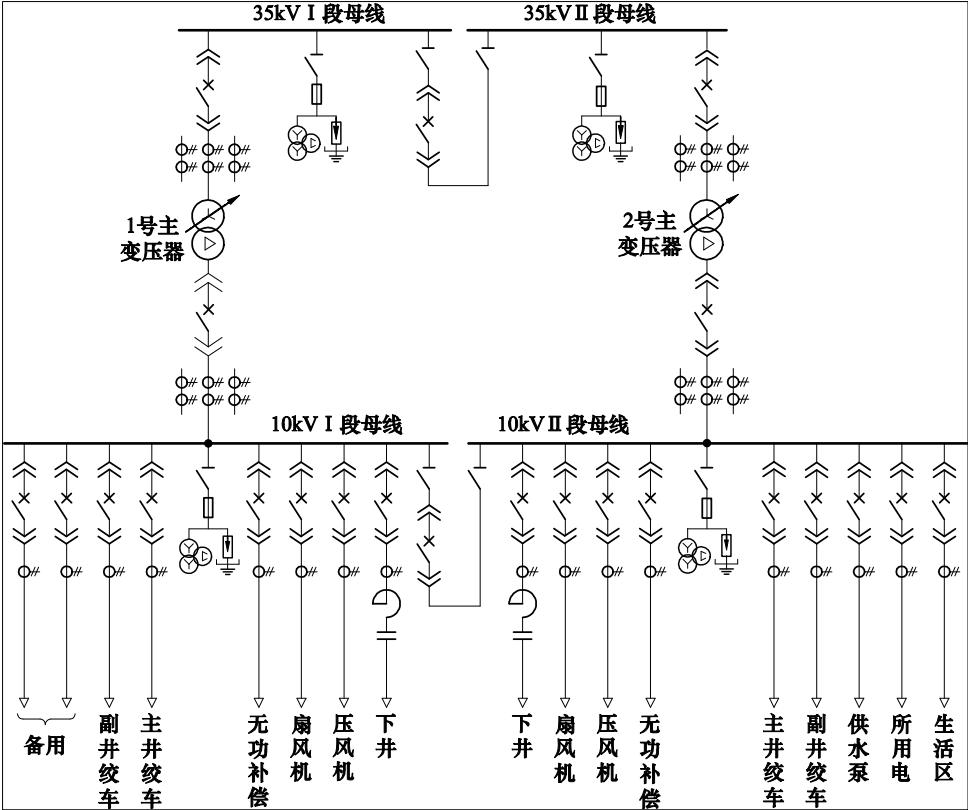


图 B. 5 某矿井变电站系统主接线图

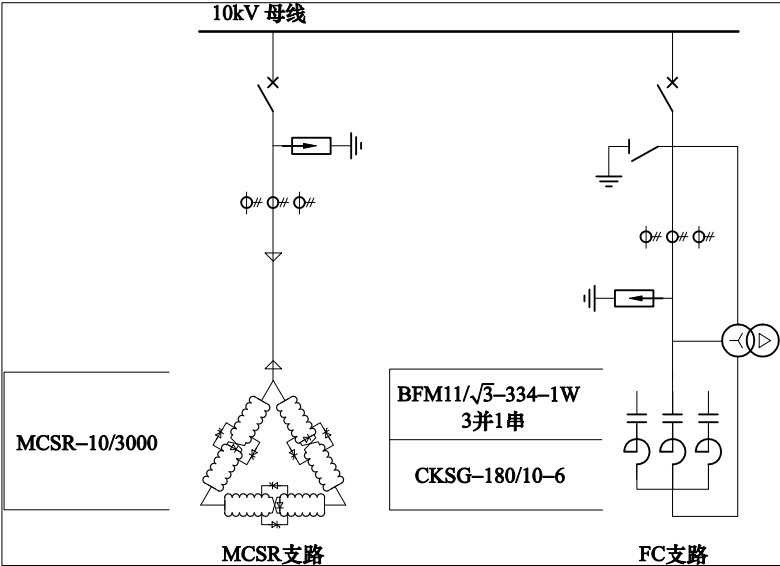


图 B. 6 10kV I 段母线 MCSR 型无功补偿装置主接线图

装置投运前后系统的 24h 无功负荷变化曲线如图 B.7、图 B.8 所示，装置投运前，峰值无功负荷 3000kvar 左右，低谷无功负荷为 1000kvar 左右，峰谷差达到 2000kvar，无功负荷变化幅值大、波动频繁；装置投运后，无功负荷基本保持在 200kvar 左右，无功负荷变化平稳，功率因数稳定在 0.97~0.99 之间。

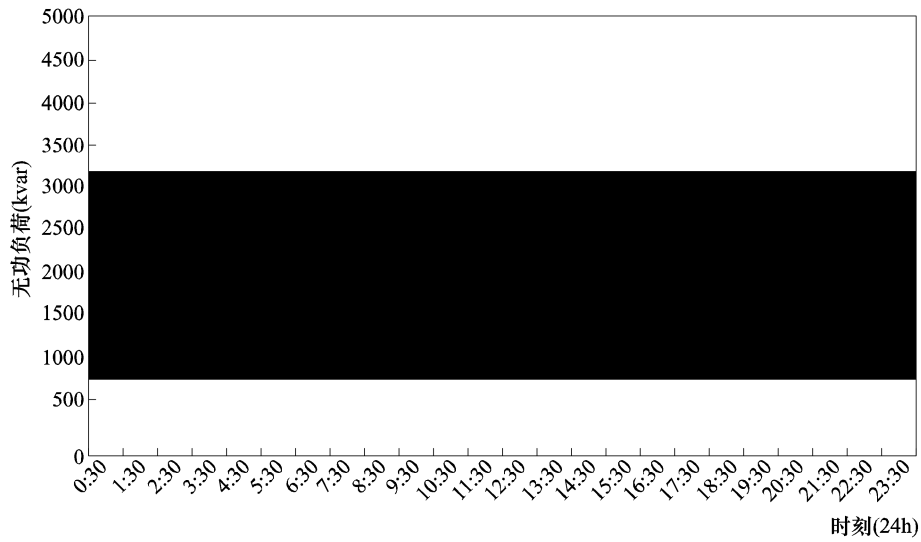


图 B. 7 装置投运前系统 24h 无功变化曲线

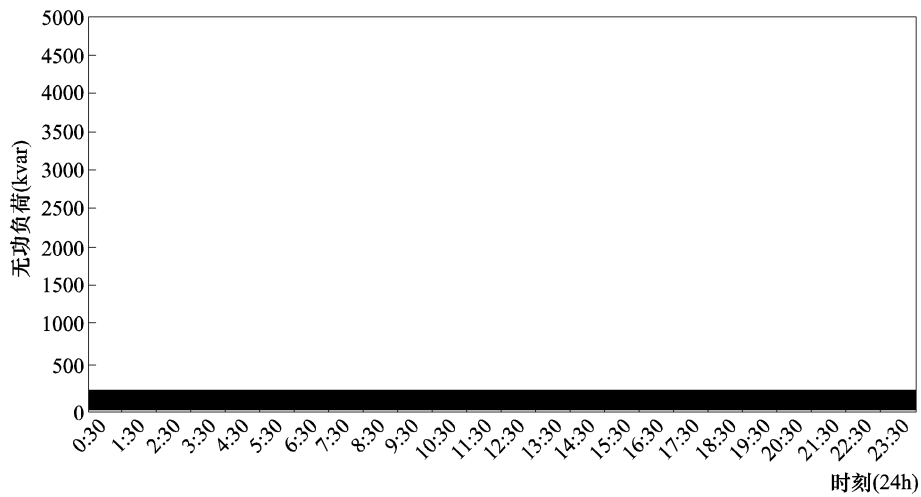


图 B. 8 装置投运后系统 24h 无功变化曲线

中 华 人 民 共 和 国
电 力 行 业 标 准
磁控型可控并联电抗器技术规范
DL/T 1217 — 2013

*

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>)
北京九天众诚印刷有限公司印刷

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷
880 毫米×1230 毫米 16 开本 1.75 印张 49 千字
印数 0001—3000 册

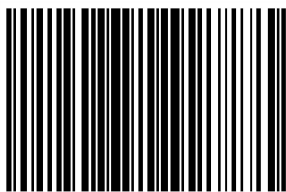
*

统一书号 155123 · 1611 定价 15.00 元

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



155123.1611

上架建议：规程规范/电工技术