

广西金川有色金属有限公司电解分厂

1#整流变

电能质量测试报告及解决方案



杭州银湖电气设备有限公司

Hangzhou Yinhu Electrical Equipment Co.,Ltd.

二零一四年 三月

目 录

第一篇 系统概述	- 2 -
第二篇 测试报告	- 4 -
测试点：10kV 侧	- 4 -
第三篇 测试结果分析.....	- 15 -
第四篇 解决方案	- 15 -
附 1：MCR 型 SVC 的原理.....	- 27 -
附 2：YMSVC 简介.....	- 27 -
附 3：杭州银湖电气设备有限公司简介.....	- 27 -

第一篇 系统概述

系统概述

广西金川有色金属有限公司 40 万吨/年铜电解项目电解车间变电所两段 10kV 母线各设计 2 台整流变压器，容量分别为 12500kVA 和 10800kVA。

表 1-1 各整流变基波参数

整流变容量	12500kVA 2#	10800kVA 1#
网侧电源	三相交流 10kV \pm 5%	三相交流 10kV \pm 5%
直流侧输出电流	43kA	43kA
直流侧输出电压	248V	210V
脉波数	12	12
自然功率因数	0.83	0.83
接线方式	双反星形带平衡电抗器非同相逆并联	
调压方式	自藕变压器带 27 级有载开关调压	

电网参数

表 1-2 电网基波参数

序号	描述	参数	备注
1	进线电压等级	10kV	
2	进线点最小短路容量	未知	
3	供电容量	未知	
4	协议容量	未知	
5	装置安装母线电压等级	10kV	

由于测试时只有 1#整流变在运行，只对 1#整流变进行了电能。

第二篇 测试报告

一、测试目的

通过对当前系统运行时的电能质量测试分析，结合该工况，给出合理、安全、可靠、技术先进的无功补偿及谐波治理方案。

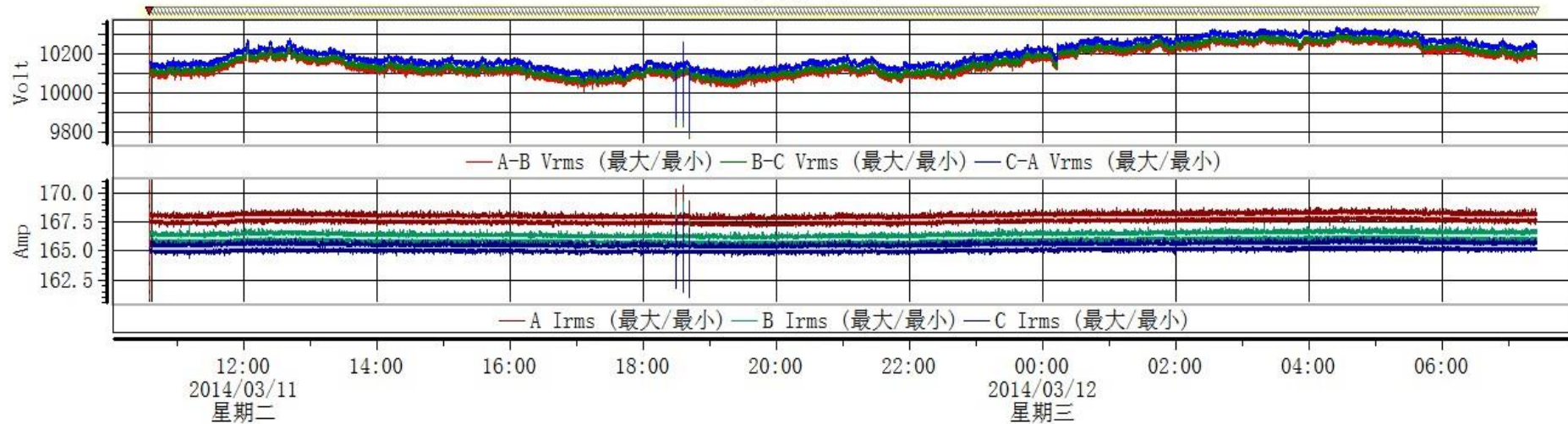
二、测试数据及分析

1.1 测试点：电解分厂 10KV 配电室 1#整流变进线柜

- ① 测试时间：2014 年 3 月 11 日 10:34-----2014 年 3 月 12 日 8:20
- ② 测试地点：10kV 配电所 额定电压：10kV 电流变比：1600/5
- ③ 取样间隔：2S
- ④ 测试仪器：德国高美 MW30HA017 型电能质量测试仪
- ⑤ 工况说明：系统无补偿或滤波装置。

a、三相基本电压、基波电流变化曲线图：

趋势图



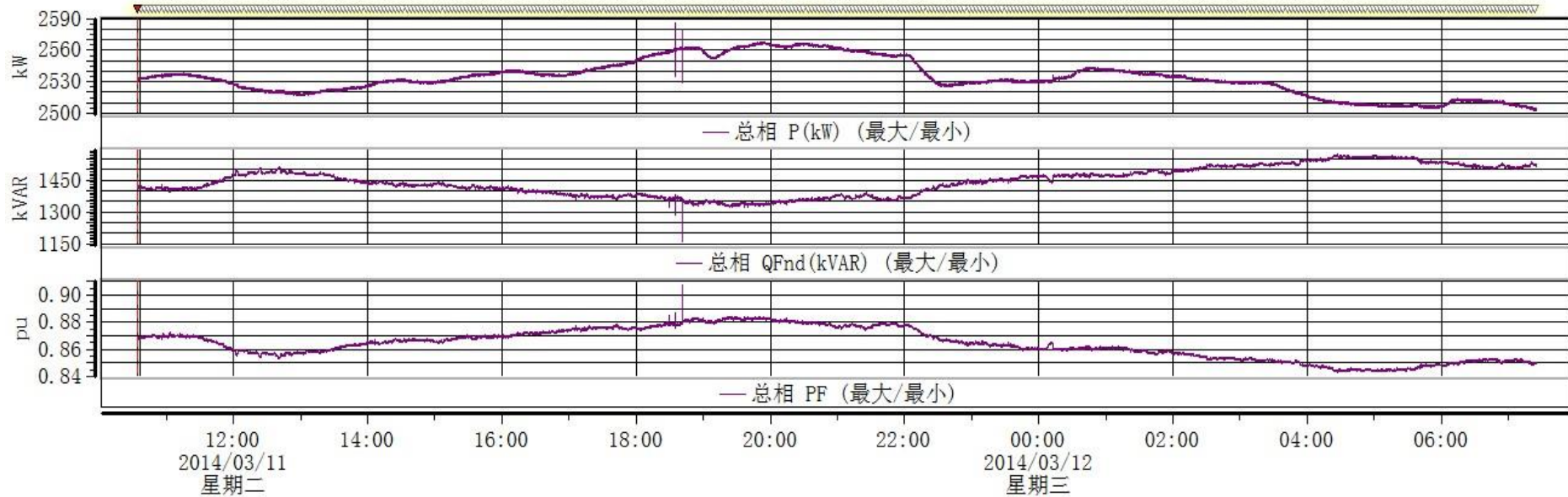
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
<i>A-BVrms</i>	9771	10301	N/A
<i>B-CVrms</i>	9783	10308	N/A
<i>C-AVrms</i>	9812	10338	N/A
<i>AIrms</i>	163.3	170.7	N/A
<i>BIrms</i>	161.3	169.2	N/A
<i>CIrms</i>	161.0	168.2	N/A

Umax=10.34KV , Umin=9.77KV ; Imax=171A Imin=161A

b、三相有功、无功、功率因数变化曲线图：

趋势图



事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

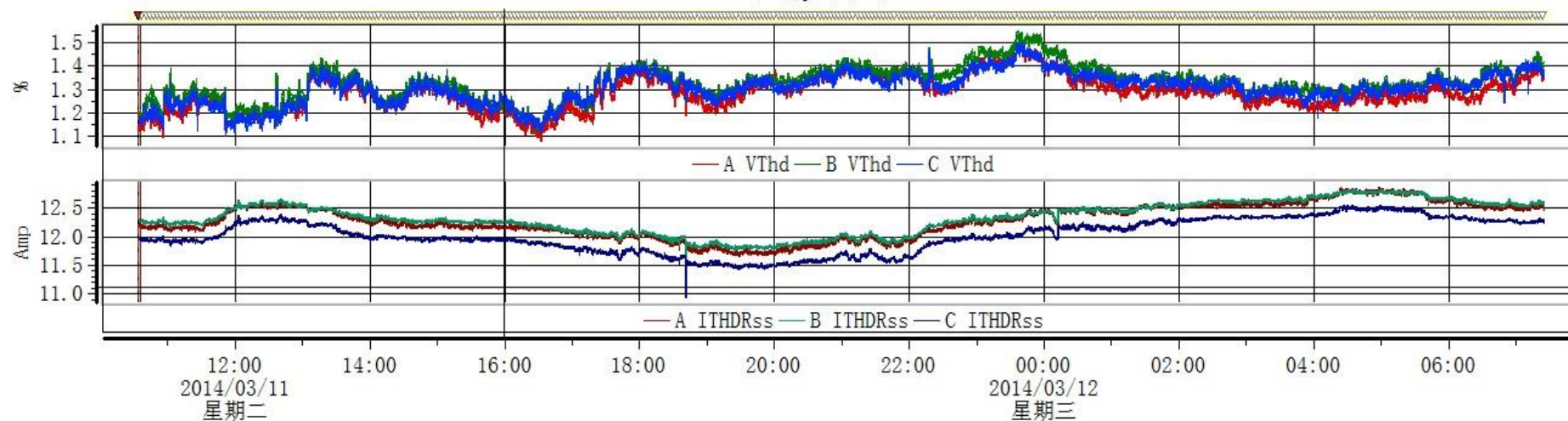
	最小	最大	平均
总相P(kW)	2503	2585	N/A
总相QFnd(kVAR)	1162	1573	N/A
总相PF	0.8432	0.9070	N/A

Pmax=2585KW , Pmin=2503KW ; Qmax=1573Kvar Qmin=1162Kvar;

PFmax=0.9 PFmin=0.84

c、三相谐波电压总畸变率、三相谐波电流总有效值变化曲线图如下所示:

趋势图



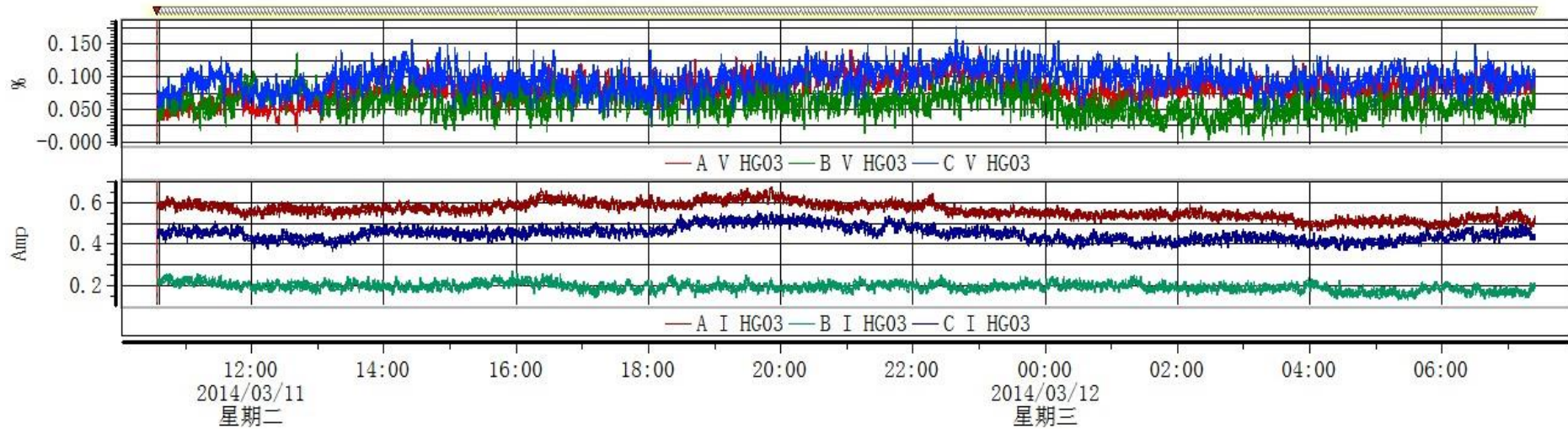
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AVThd	1.081	1.504	1.286
BVThd	1.117	1.549	1.329
CVThd	1.103	1.502	1.306
AITHDRss	11.20	12.86	12.28
BITHDRss	11.30	12.82	12.33
CITHDRss	10.94	12.56	12.02

U0max=1.55% U0min=1.08%; I0max=12.86A I0min=10.94A

d、3次谐波电压、谐波电流变化曲线：

趋势图



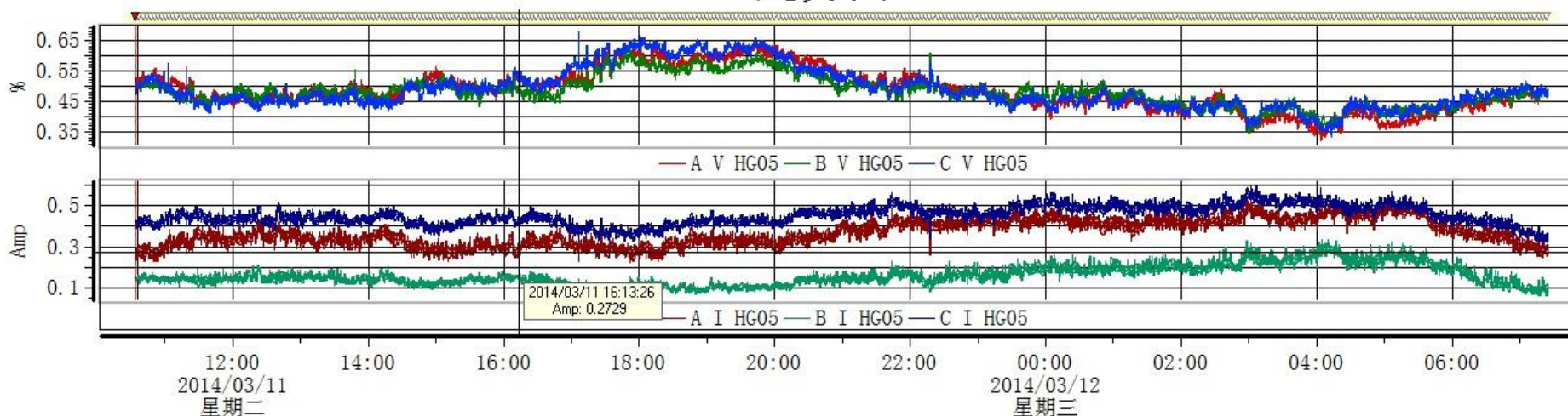
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG03	0.01645	0.1462	0.08191
BV HG03	0.004226	0.1366	0.05998
CV HG03	0.02821	0.1761	0.09583
AI HG03	0.4647	0.6715	0.5617
BI HG03	0.1344	0.2715	0.1966
CI HG03	0.3658	0.5583	0.4506

U3max=0.18% U3min=0.005%; I3max=0.67A I3min=0.14A

e、5次谐波电压、谐波电流变化曲线:

趋势图



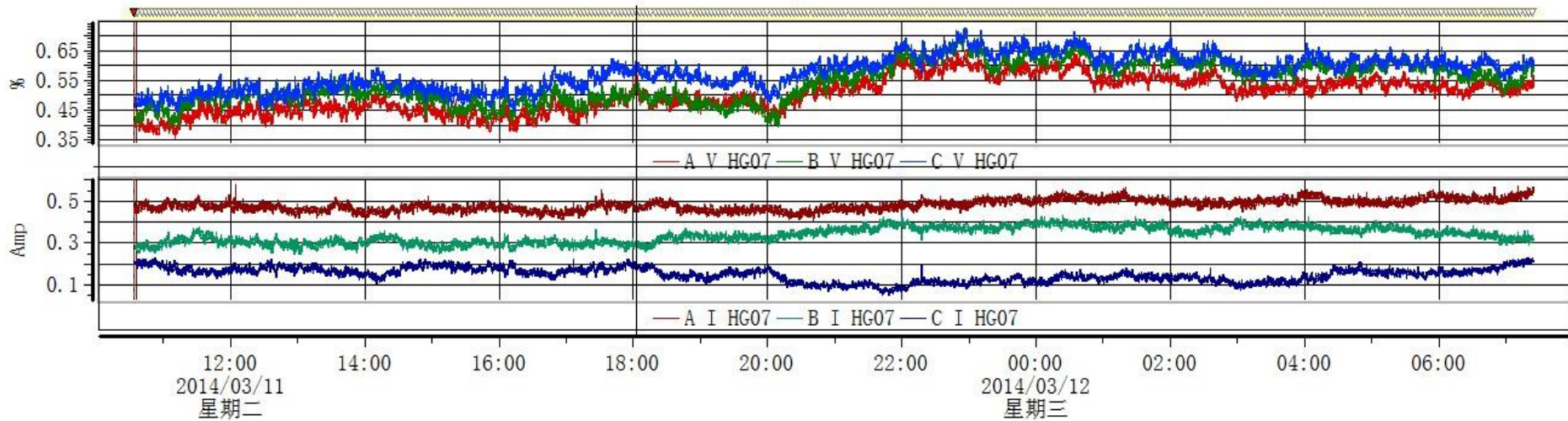
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG05	0.3219	0.6549	0.4848
BV HG05	0.3469	0.6258	0.4818
CV HG05	0.3319	0.6769	0.4884
AI HG05	0.2203	0.5409	0.3690
BI HG05	0.06394	0.3364	0.1605
CI HG05	0.3058	0.5935	0.4540

U5max=0.68% U5min=0.32%; I5max=0.6A I5min=0.1A

e、7次谐波电压、谐波电流变化曲线:

趋势图



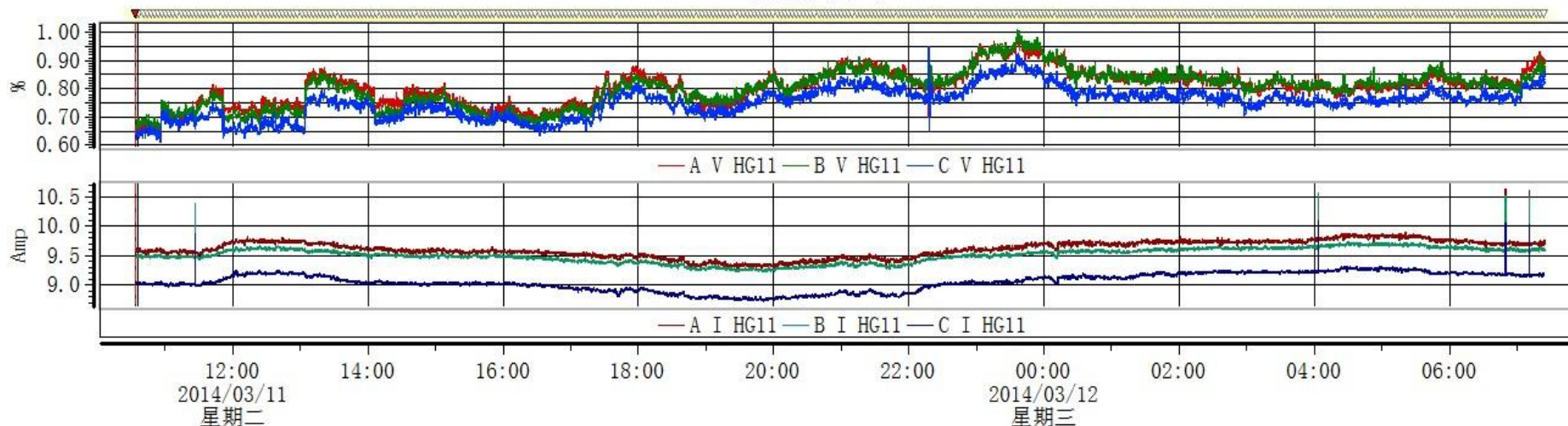
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG07	0.3561	0.6522	0.5030
BV HG07	0.3873	0.7243	0.5422
CV HG07	0.4436	0.7206	0.5780
AI HG07	0.4032	0.5761	0.4816
BI HG07	0.2455	0.4306	0.3390
CI HG07	0.05423	0.2301	0.1509

U7max=0.73% U7min=0.4%; I7max=0.6A I7min=0.1A

f、11 次谐波电压、谐波电流变化曲线:

趋势图



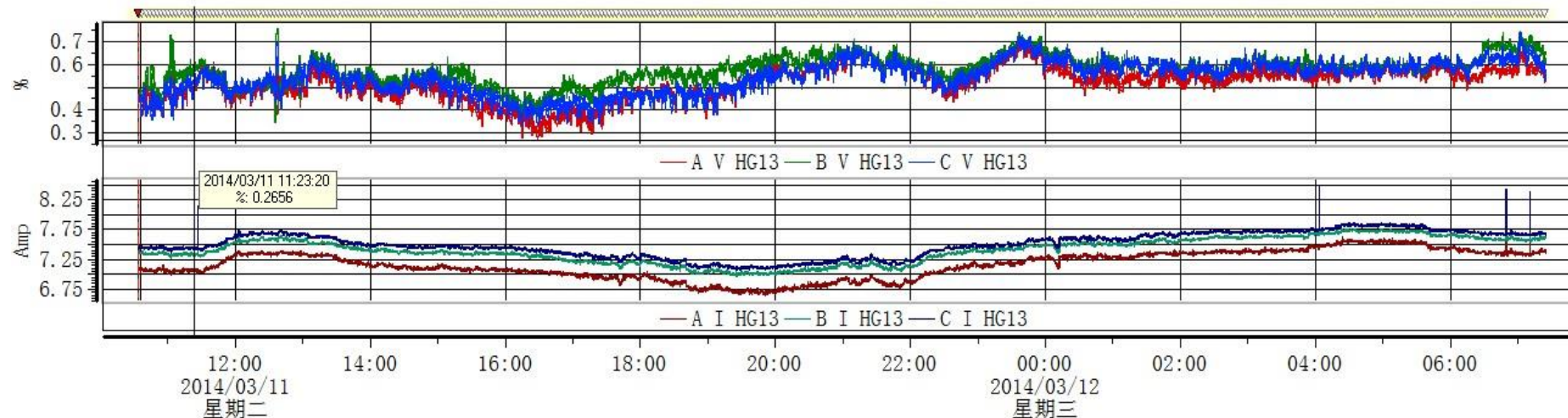
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG11	0.6400	0.9900	0.8062
BV HG11	0.6453	1.009	0.8017
CV HG11	0.6119	0.9503	0.7512
AI HG11	9.292	10.63	9.616
BI HG11	9.230	10.58	9.510
CI HG11	8.720	10.10	9.056

U11max=1% U11min=0.6%; I11max=10.7A I11min=8.7A

g、13次谐波电压、谐波电流变化曲线:

趋势图



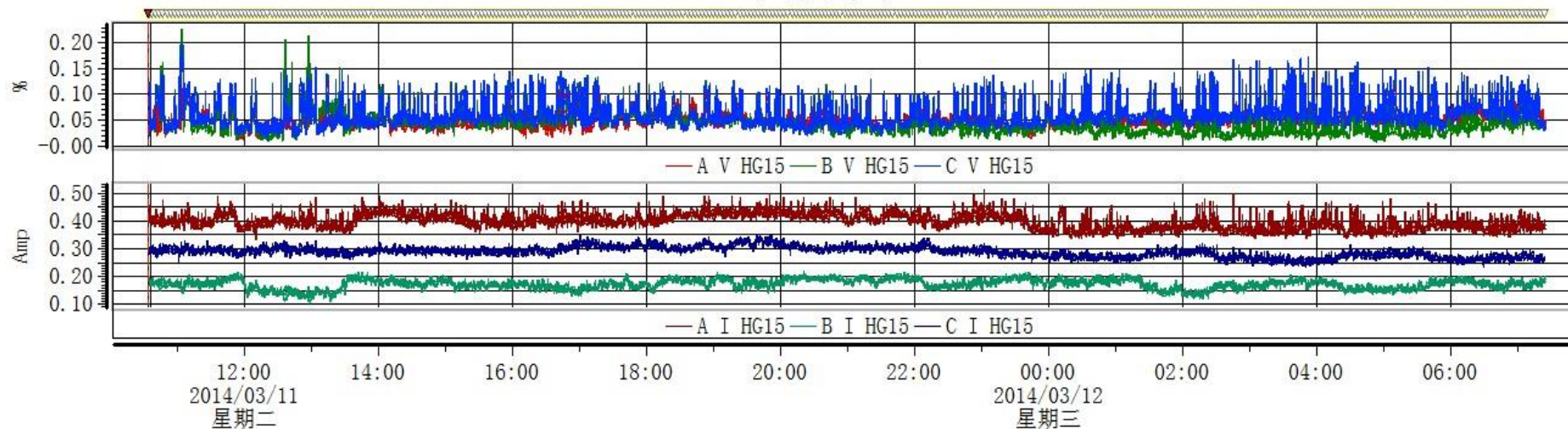
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG13	0.2728	0.7088	0.5183
BV HG13	0.3438	0.7559	0.5780
CV HG13	0.3315	0.7390	0.5442
AI HG13	6.651	8.047	7.167
BI HG13	6.976	8.415	7.409
CI HG13	7.070	8.484	7.503

U13max=0.76% U13min=0.27%; I13max=8.5A I13min=6.7A

h、15 次谐波电压、谐波电流变化曲线:

趋势图



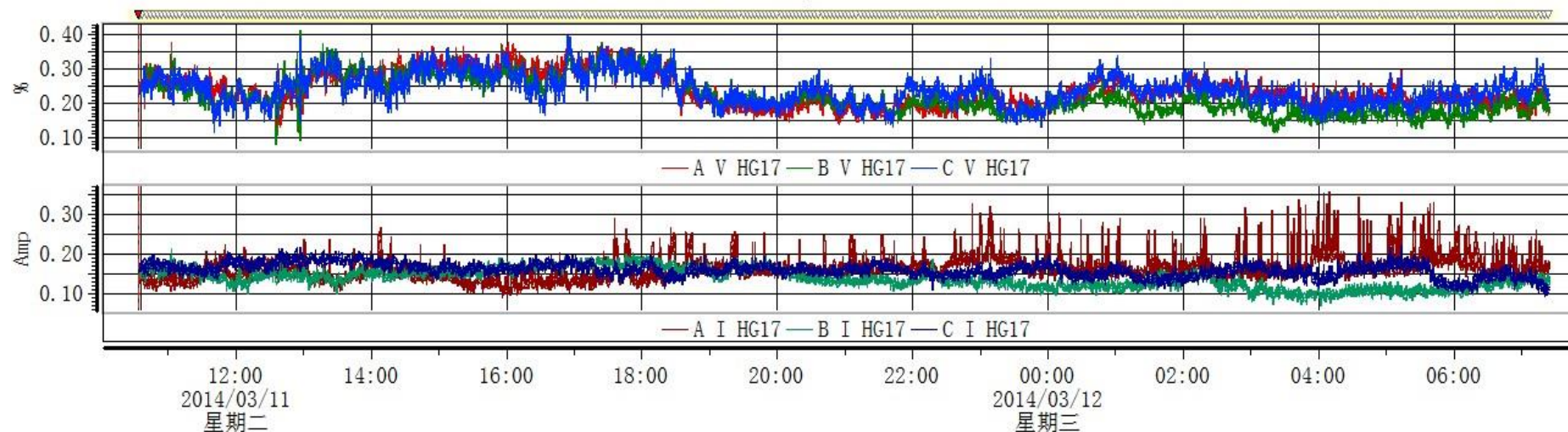
事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG15	0.01046	0.1441	0.05545
BV HG15	0.007323	0.2256	0.05016
CV HG15	0.01280	0.1987	0.06063
AI HG15	0.3337	0.5113	0.3980
BI HG15	0.1075	0.2179	0.1730
CI HG15	0.2334	0.3516	0.2889

U15max=0.23% U15min=0.01%; I15max=0.5A I15min=0.1A

i、15次谐波电压、谐波电流变化曲线：

趋势图



事件 #1 在 2014/03/11 10:34:00.000
趋势

	最小	最大	平均
AV HG17	0.1130	0.3828	0.2392
BV HG17	0.08149	0.4123	0.2226
CV HG17	0.1159	0.3975	0.2406
AI HG17	0.08789	0.3565	0.1629
BI HG17	0.07009	0.2130	0.1388
CI HG17	0.09123	0.2188	0.1600

U17max=0.41% U17min=0.1%; I17max=0.4A I17min=0.1A

第三篇 测试结果分析

通过“第二篇”的分析数据，根据以下电网谐波国家标准，我们对三段测试结果进行分析：

1) 各电压等级谐波电压限值标准如表 1 所示：

表 1 公用电网谐波电压（相电压）限值

电网标称电压（kV）	电压总谐波畸变率（%）	各次谐波电压含有率（%）	
		奇次	偶次
0.38	5.0	4.0	2.0
6	4.0	3.2	1.6
10			
35	3.0	2.4	1.2
66			
110	2.0	1.6	0.8

2) 注入公共连接点的谐波电流允许值如表 2 所示：

表 2 注入公共连接点的谐波电流允许值

标准电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)											
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0.38	10	78	62	39	62	26	44	19	21	16	28	13	24
6	100	43	34	21	34	14	24	11	11	8.5	16	7.1	13
10	100	26	20	13	20	8.5	15	6.4	6.8	5.1	9.3	4.3	7.9
35	250	15	12	7.7	12	5.1	8.8	3.8	4.1	3.1	5.6	2.6	4.7
66	500	16	13	8.1	13	5.4	9.3	4.1	4.3	3.3	5.9	2.7	5.0
110	750	12	9.6	6.0	9.6	4.0	6.8	3.0	3.2	2.4	4.3	2.0	3.7
标准电压 (kV)	基准短路容量 (MVA)	谐波次数及谐波电流允许值 (A)											
		14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
0.38	10	11	12	9.7	18	8.6	16	7.8	8.9	7.1	14	6.5	12
6	100	6.1	6.8	5.3	10	4.7	9.0	4.3	4.9	3.9	7.4	3.6	6.8
10	100	3.7	4.1	3.2	6.0	2.8	5.4	2.6	2.9	2.3	4.5	2.1	4.1
35	250	2.2	2.5	1.9	3.6	1.7	3.2	1.5	1.8	1.4	2.7	1.3	2.5
66	500	2.3	2.6	2.0	3.8	1.8	3.4	1.6	1.9	1.5	2.8	1.4	2.6
110	750	1.7	1.9	1.5	2.8	1.3	2.5	1.2	1.4	1.1	2.1	1.0	1.9

注：220kV 基准短路容量取 2000MVA

一、电解分厂 10kV 配电所 I#整流变进线:

1.谐波含量测试结果

测试项目	电压测试最大	电压国标允许	备注	电流测试最大值	电流国标允许值	备注
电压总畸变率	1.55%	4%	合格			
3次谐波	0.18%	3.2%	合格	0.67A	20A	合格
5次谐波	0.68%	3.2%	合格	0.6A	20A	合格
7次谐波	0.73%	3.2%	合格	0.6A	15A	合格
11次谐波	1%	3.2%	较大	10.7A	9.3A	超标
13次谐波	0.76%	3.2%	较大	8.5A	7.9A	超标
15次谐波	0.23%	3.2%	合格	0.5A	4.1A	合格
17次谐波	0.41%	3.2%	合格	0.4A	6A	合格

由于系统短路容量未知，以上数据在 10KV 系统基准短路容量为 100MVA 下的结果。

二、分析

本变电所主要谐波源为整流装置，1#整流变一次电压 10kV，直流输出 43kA（实际电流为 $43 \times 0.93 = 39.99$ ），210V，整流电路为 12 脉波整流。整流装置在 10kV 母线产生的等效基波电流 I 为：

$$39.99\text{kA} \times 210 / 10 / \sqrt{3} = 484.87\text{A}$$

从测试结果来看系统等效基波电流只有 183A，通过测试的各次谐波的有效值与系统等效基波的比值，得出各次谐波在本整流系统的占比 Kh 值。

谐波次数	3	5	7	11	13	15	17
Kh值	0.0037	0.0033	0.0033	0.0585	0.046	0.003	0.0022

用 Kh 值再乘以满负荷时的基波电流 I，得出在满负荷下的各次谐波电流值如下：

谐波次数	3	5	7	11	13	15	17
谐波电流值	1.8A	1.6A	1.6A	28.4A	22.3A	1.5A	1.1A

本次测试的谐波含量为电解分厂 10KV 变电所 1#整流变 10KV 侧的谐波含量，很显然，11 次、13 次谐波严重超标；功率因数最低为 0.84，最高为 0.9，功率因数变化较大且较低。从无功量来看，系统在系统的功率因数低，导致整流变出力不够，且影响电解质量，造成次品增多。

谐波的来源主要为整流变的整流单元产生，大量的谐波的产生影响电气设备的安全运行，尤其高次谐波的产生导致元器件发热严重，影响电气设备的寿命。建议贵方对谐波进行治理。

第四篇 解决方案

一、系统危害

根据测试数据结果分析，现 10kV 系统 11 次、13 次谐波含量较大，功率因数不高。谐波的危害主要表现在以下几个方面：

- 1) .谐波使公网元件产生附加损耗，降低了发，输，用电设备的效率。
- 2) . 由于肌肤效应谐波会使电缆过热，加速绝缘老化。
- 3) . 谐波会产生局部的串，并联谐振，危害电力设备的安全，特别是电力电容器的安全。
- 4) . 大量的谐波电流会使中线电流过大，甚至烧毁中线，引发火灾。
- 5) . 谐波会使继电保护装置误动作，使电气仪表计量不准确
- 6) . 谐波会干扰附近的通讯信号。

功率因数较低导致了设备利用率不高，电压波动大，供电部门会收取惩罚性电费等缺点。

二、解决方案

在其 10KV 侧安装一套 MSVC-L 型无功补偿兼滤波装置，滤波支路分为 5 次、7 次、11 次兼高通三个支路。5 次、7 次滤波支路起滤波及防止低次谐波放大的作用，11 次兼高通滤波支路滤除 11 次及以上谐波。另配磁控电抗器一台，用于平衡系统中的容性无功，稳定系统电压，提高功率因数。

无功补偿容量计算如下：

由于本次测试，系统未全负荷运行，故本方案中的无功量的测试值不能作为依据。

$$P=39.99\text{kA}\times 210\text{V}=8398\text{KW} \quad \text{从 } 0.84 \text{ 补偿到 } 0.93 \text{ 的补偿系数为 } 0.251$$

$$\text{补偿容量 } Q=P\times K=8398\times 0.251=2108\text{Kvar} ,$$

谐波治理计算过程如下：

(1) 5 次滤波支路电容器安装容量 900kvar，采用单星型接线，采用额定电压为 $12\sqrt{3}\text{KV}$ 的电容器，每相 1 串 1 并，共 3 只，每组单只电容器 300kvar。

$$\text{单只电容器容值：} c = \frac{Q}{2\pi fU^2} = \frac{300}{2\times 3.14\times 50\times (12/\sqrt{3})^2} = 19.89\text{uf}$$

$$\text{单台电容器额定阻抗：} X_c = \frac{1}{2\pi fL} = \frac{1}{314\times 19.89} = 160\Omega$$

$$\text{每相电容器额定电流：} I_1 = \frac{Q\times N}{U_c} = \frac{300}{12/\sqrt{3}} = 43.3\text{A}$$

$$\text{每相电容器额定容值：} C_1 = \frac{Q}{2\pi fU^2} = \frac{300}{2 \times 3.14 \times 50 \times (12/\sqrt{3})^2} = 19.89\mu\text{f}$$

$$\text{每相电容器额定阻抗：} X_c = \frac{1}{2\pi fL} = \frac{1}{314 \times 19.89} = 160\Omega$$

$$\text{每相电抗器额定电感：} L = \frac{1}{(2\pi f_n)^2 C_1} = \frac{1 \times 1.02}{(2 \times 3.14 \times 250)^2 \times 19.89} = 20.37\text{mH}$$

$$\text{每相电抗器额定阻抗：} X_L = \omega L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 20.37 = 6.4\Omega$$

$$\text{每相电容器组基波电流：} I_{ce} = \frac{U \div \sqrt{3}}{X_c - X_L} \times 1000 = \frac{10 \div \sqrt{3}}{160 - 6.4} \times 1000 = 38\text{A}$$

$$\text{每组电容器基波输出容量：} Q = \sqrt{3}UI_{ce} = \sqrt{3} \times 10 \times 38 = 650\text{k var}$$

$$\text{谐波电流滤除能力：} I_s = \sqrt{I_1^2 - I_{ce}^2} = 21\text{A}$$

通过上述计算得知，5次滤波支路选用额定电压 $12\sqrt{3}\text{KV}$ 的电容器，每相1串1并，共3只，每组单只电容器300kvar，单星型接线，电容器安装容量900kvar，基波输出容量650kvar，能滤除约21A的5次及以上谐波，满足整流变运行时所需的滤波要求。

(2) 7次滤波支路电容器安装容量600kvar，采用单星型接线，采用额定电压为 $12\sqrt{3}\text{KV}$ 的电容器，每相1串1并，共3只，每组单只电容器200kvar。

$$\text{单只电容器容值：} c = \frac{Q}{2\pi fU^2} = \frac{200}{2 \times 3.14 \times 50 \times (12/\sqrt{3})^2} = 13.26\mu\text{f}$$

$$\text{单台电容器额定阻抗：} X_c = \frac{1}{2\pi fL} = \frac{1}{314 \times 13.26} = 240\Omega$$

$$\text{每相电容器额定电流：} I_1 = \frac{Q \times N}{Uc} = \frac{200}{12/\sqrt{3}} = 28.87\text{A}$$

$$\text{每相电抗器额定电感：} L = \frac{1}{(2\pi f_n)^2 C_1} = \frac{1 \times 1.02}{(2 \times 3.14 \times 350)^2 \times 26.53} = 15.59\text{mH}$$

$$\text{每相电抗器额定阻抗：} X_L = \omega L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 0.001559 = 4.9\Omega$$

$$\text{每相电容器组基波电流：} I_{ce} = \frac{U \div \sqrt{3}}{X_c - X_L} \times 1000 = \frac{10 \div \sqrt{3}}{240 - 4.9} \times 1000 = 25\text{A}$$

$$\text{每组电容器基波输出容量：} Q = \sqrt{3}UI_{ce} = \sqrt{3} \times 10 \times 25 = 425\text{k var}$$

$$\text{谐波电流滤除能力：} I_5 = \sqrt{I_1^2 - I_{ce}^2} = 14\text{A}$$

通过上述计算得知，7次滤波支路选用额定电压 $12\sqrt{3}\text{KV}$ 的电容器，每相1串1并，共3只，每组单只电容器200kvar，单星型接线，电容器安装容量600kvar，基波输出容量425kvar，能滤除约14A的7次及以上谐波，满足整流变运行时所需的滤波要求。

(3) 11次滤波兼高通支路电容器安装容量1500kvar，采用单星型接线，采用额定电压为 $12\sqrt{3}\text{KV}$ 的电容器，

每相 1 串 2 并，共 6 只，每组单只电容器 250kvar。

$$\text{单只电容器容值：} c = \frac{Q}{2\pi fU^2} = \frac{250}{2 \times 3.14 \times 50 \times (12/\sqrt{3})^2} = 16.58\mu\text{f}$$

$$\text{每相电容器额定电流：} I_1 = \frac{Q \times N}{Uc} = \frac{250 \times 2}{12/\sqrt{3}} = 72.17\text{A}$$

$$\text{每相电容器额定容值：} C_1 = \frac{Q}{2\pi fU^2} = \frac{500}{2 \times 3.14 \times 50 \times (12/\sqrt{3})^2} = 33.17\mu\text{f}$$

$$\text{每相电容器额定阻抗：} X_c = \frac{1}{2\pi fL} = \frac{1}{314 \times 33.17} = 96\Omega$$

$$\text{每相电抗器额定电感：} L = \frac{1}{(2\pi f_n)^2 C_1} = \frac{1 \times 1.01}{(2 \times 3.14 \times 550)^2 \times 33.17} = 2.53\text{mH}$$

$$\text{每相电抗器额定阻抗：} X_L = \omega L = 2 \times 3.14 \times 50 \times 2.53 = 0.8\Omega$$

$$\text{每相电容器组基波电流：} I_{ce} = \frac{U \div \sqrt{3}}{X_c - X_L} \times 1000 = \frac{10 \div \sqrt{3}}{96 - 0.8} \times 1000 = 60\text{A}$$

$$\text{每组电容器基波输出容量：} Q = \sqrt{3}UI_{ce} = \sqrt{3} \times 10 \times 60 = 1038\text{k var}$$

$$\text{谐波电流滤除能力：} I_s = \sqrt{I_1^2 - I_{ce}^2} = 40\text{A}$$

通过上述计算得知，11 次兼高通滤波支路选用额定电压 $12\sqrt{3}\text{KV}$ 的电容器，每相 1 串 2 并，共 3 只，每组单只

电容器 250kVar，单星型接线，电容器安装容量 1500kVar，基波输出容量 1038kVar，能滤除约 40A 的 11 次及以上谐波，满足整流变运行时所需的滤波要求。

综上所述，电解车间 10kV 母线 1#整流变滤波器总装机容量为 3000kVar，总基波补偿容量为 2113kVar。能满足功率因数从 0.84 提高到 0.93，并保证了滤波效果。

但由于此 10KV 母线上还有一台 12500KVA 的整流变，暂时未投入运行，如果此整流变投入运行的时候，上面的无功补偿装置远远无法满足要求，且此整流变比 1#整流容量稍大，故需要的基波补偿容量也稍大。根据 1#的测试结果来看，1#的总基波补偿容量为 2113kvar，则 1#和 2#整流变共同运行时是要的总基波补偿容量应为 4500kvar 左右，则总的装机容量为 6300kvar，5 次滤波支路安装容量为 1800kvar，7 次滤波支路安装容量为 1500kvar，11 次兼高通滤波支路安装容量为 3000kvar。

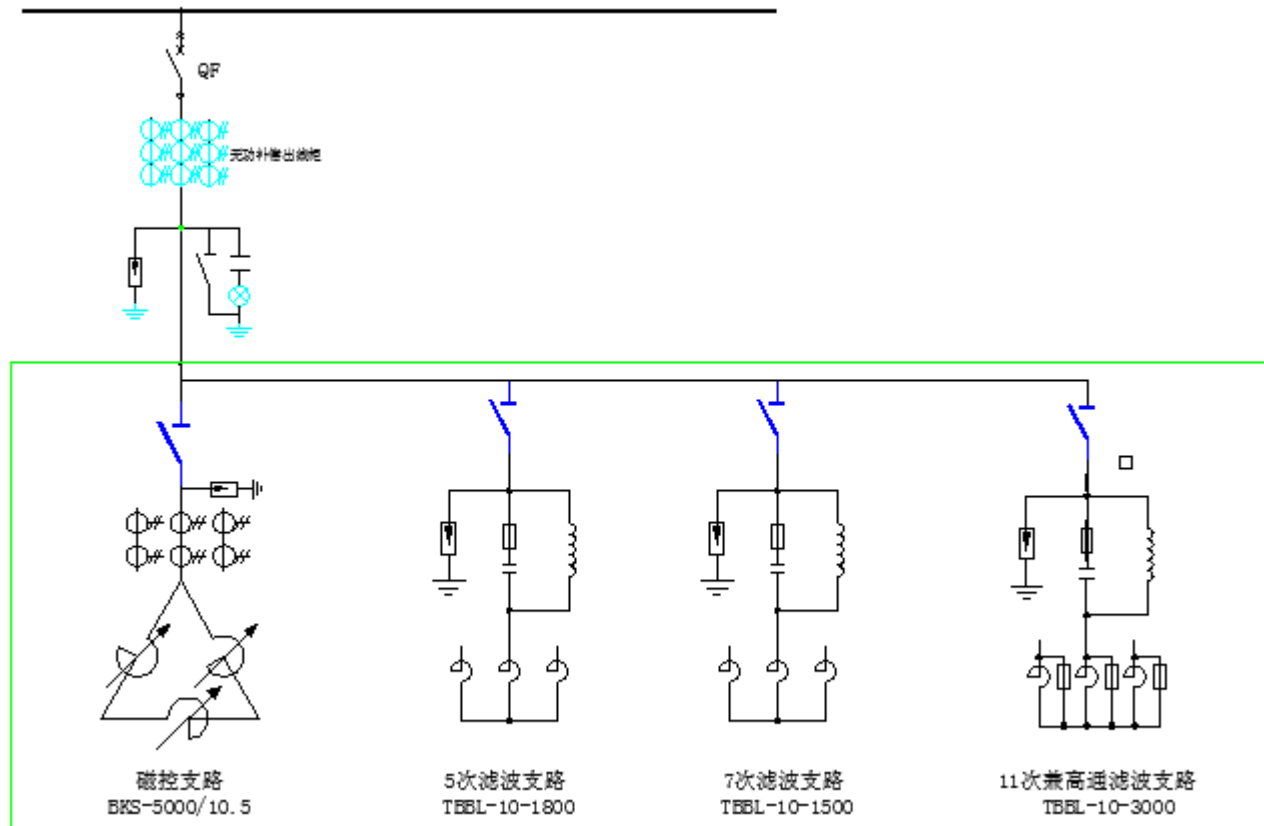
电解车间变电所 YMSVC-L 方案确定如下：

本所 10kV 母线装设 1 套 YMSVC-L-10-6300/5000kVar 的磁控式动态无功补偿及谐波治理设备。

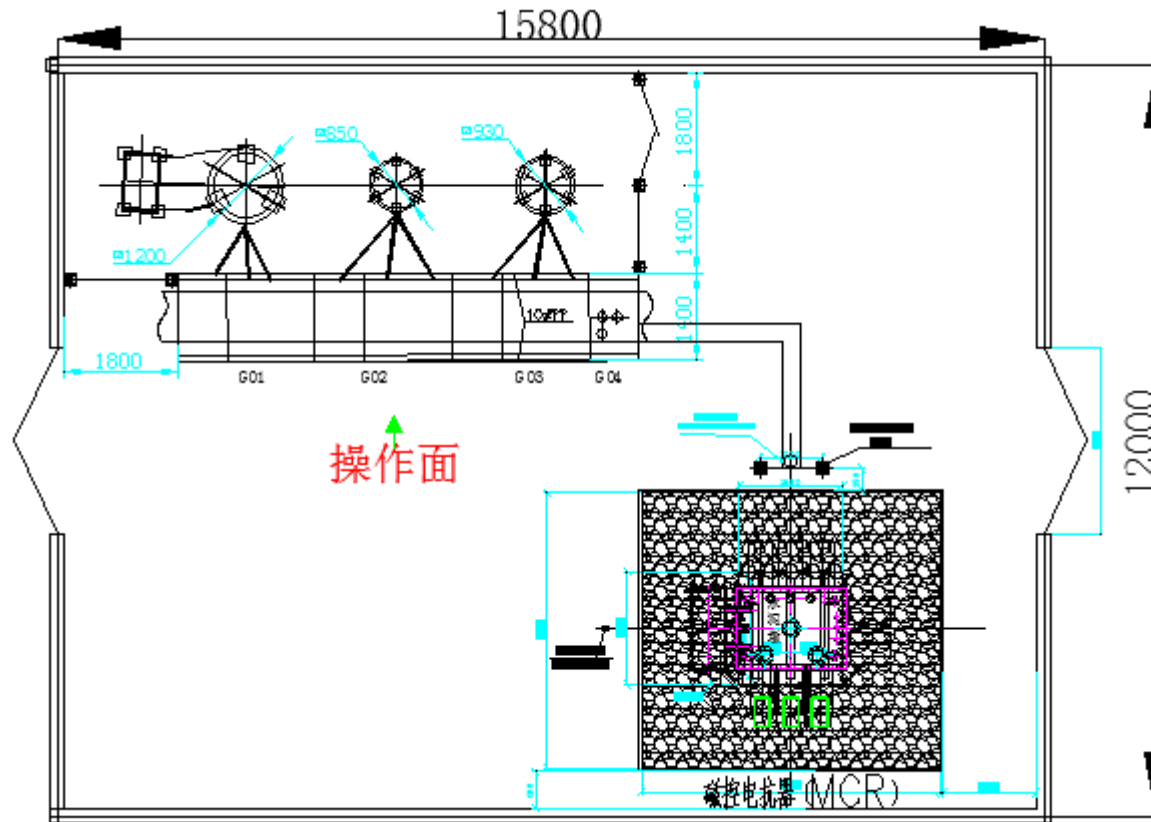
单套设备电容器部分分设 5、7、11 次兼高通三个滤波支路（如上所述），另配设容量为 5000kVar 的磁阀式可控电抗器（考虑点余量），整套设备除可保证实时滤除各次谐波之外，可实现基波补偿容量 0~4500kVar 的动态连续调节，可由功率因数 0.84 调节到 0.93 以上。

一次系统图如下：

10kV母线



YMSVC-L 设备参考布置图



附：

附 1： MCR 型 SVC 的原理

磁控式动态无功补偿装置（MCR 型 SVC，简称 MSVC）

1 原理

磁控电抗器采用直流助磁原理，利用附加直流励磁磁化铁心，改变铁心磁导率，实现电抗值的连续可调，其内部为全静态结构，无运动部件，工作可靠性高。

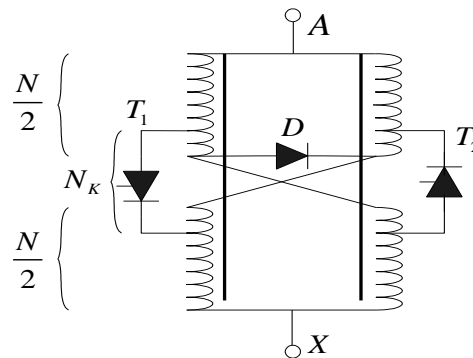


图 1 磁控电抗器原理接线图

2 技术优势

2.1 磁控电抗器不需要外接直流励磁电源，完全由电抗器的内部绕组来实现自动控制

2.2 通过控制可控硅的控制角进行自动控制，可实现连续可调，并且从最小容量到最大容量的过渡时间很短，因此可以真正实现柔性补偿。

2.3 控制元件为低压晶闸管，其端电压仅为系统电压的 1% ~ 2%，无需串并联，运行时不需要承受高电压、大电流，安全可靠，发热量很小，自然冷却即可，无需辅助冷却设备。

2.4 可控硅动作，整流控制产生的谐波不流入外交流系统。

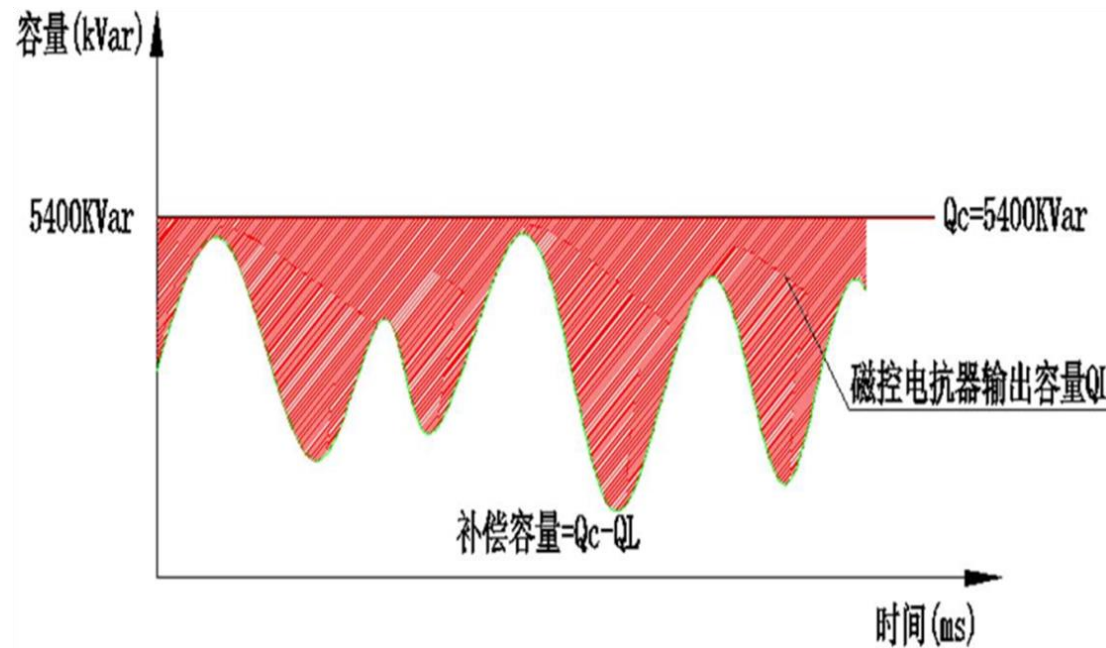
2.5 即使可控硅或二极管损坏，磁控电抗器也仅相当于一台空载变压器，不影响系统其他装置的运行。

2.6 经济优势明显：后期免维护；磁控电抗器结构简单，占地面积小，基础投资大大压缩；MSVC 自身有功损耗低。

- MSVC 系统组成的补偿滤波设备无需投切补偿滤波支路，保证每一个支路都工作在系统电网之内，时时有效滤除系统中存在的特征谐波，效果显著；当系统所需补偿无功功率较小时，由磁控电抗器来吸收电容器过补偿的容性无功，保证整个系统无功功率不过补；且响应时间很短，非常适合负载波动的电力工况使用。

- 无须对电容器组进行投切，有效避免了在投切电容器组时对系统所产生的大的冲击、大的电压陷落、大的冲击电流。同时保证各滤波支路实时投运在系统当中，实时滤除系统中的各次谐波，保证电气设备的安全运行。

MSVC补偿效果示意图如下：(无级调节，快速连续柔性补偿)



MSVC—基于磁阀式可控电抗器(MCR)技术的静止型动态无功补偿装置。由固定补偿兼滤波支路和磁控电抗器(简称MCR)并联组成。

实际补偿容量 = 电容器组基波总补偿容量 (Q_c) - MCR实时输出容量 (Q_L)

附 2

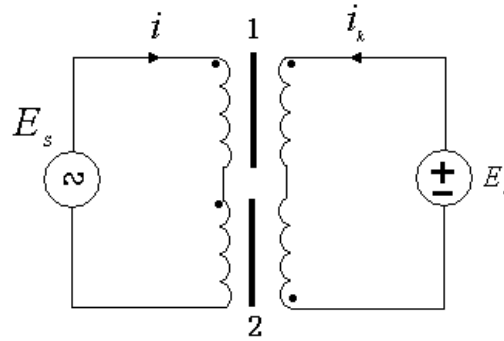
YMSVC 产品简介

概述

YMCR型SVC—基于磁控电抗器(YMCR)技术的静止型动态无功补偿装置。由补偿支路和磁控电抗器(简称YMCR)并联支路组成。装置利用直流励磁原理,采用小截面磁饱和技术,通过调节磁控电抗器的磁饱和度,改变其输出的感性无功功率,中和电容器组的容性无功功率,实现无功功率的连续可调。我公司联合浙江大学、武汉大学电气学院,创造性的提出小截面饱和技术---在整个工作过程中,大截面铁心段始终不饱和,仅小截面段饱和,且饱和的程度很高。这样不仅增强了YMCR的控制精度,提高了装置的反应速度,而且有效降低了装置的损耗和发热量。因与其它(SVC)补偿技术的主要区别在于磁控电抗器,故下面集中对磁控电抗器(YMCR)作介绍。

YMCR 产品介绍及优势说明

磁控电抗器的简称是YMCR。磁控电抗器采用直流励磁原理,利用附加直流励磁磁化铁心,改变铁心磁导率,实现电抗值的连续可调,其内部为全静态结构,无运动部件,工作可靠性高。



图a 磁饱和电抗器原理图

工作原理：

磁控电抗器的主铁心分裂为两半（即铁心1和铁心2），截面积为A，每一半铁心截面积具有减小的一段，四个匝数为 $N/2$ 的线圈分别对称地绕在两个半铁心柱上（半铁心柱上的线圈总匝数为 N ），每一半铁心柱的上下两绕组各有一抽头比为 $\delta = N_2 / N$ 的抽头，它们之间接有晶闸管 $KP_1(KP_2)$ ，不同铁心上的上下两个绕组交叉连接后，并联至电网电源，续流二极管则横跨在交叉端点上。在整个容量调节范围内，只有小面积段的磁路饱和，其余段均处于未饱和的线性状态，通过改变小截面段磁路的饱和程度来改变电抗器的容量。磁阀式可控电抗器制造工艺简单，成本低廉，对于提高电网的输电能力、调整电网电压、补偿无功功率以及限制过电压都有非常大的应用潜力。磁控电抗器的结构电路如图1所示。

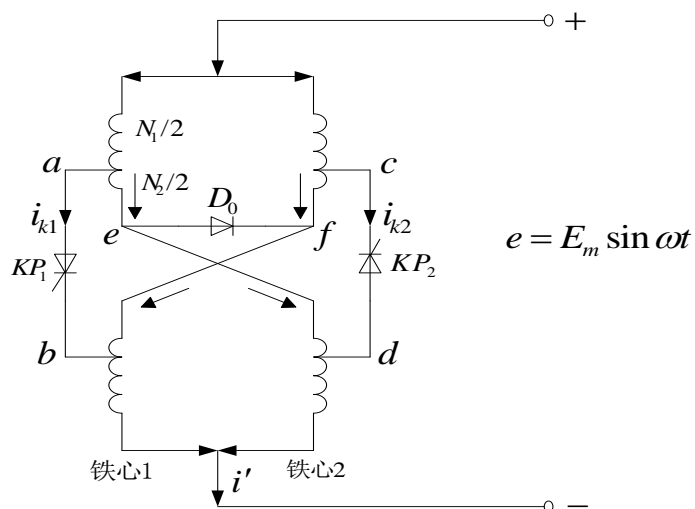


图 1 磁阀式可控电抗器的结构电路

由图 1 可以看出，若 KP_1 、 KP_2 不导通，根据绕组结构的对称性可知，磁阀式可控电抗器相当于一个空载变压器。假设电源 e 处于正半周，晶闸管 KP_1 承受正向电压， KP_2 承受反向电压。若 KP_1 被触发导通（即 a 、 b 两点等电位），电源 e 经变比为 δ 的线圈自耦变压后由匝数为 N_2 的线圈向电路提供直流控制电压（ $\delta E_m \sin \omega t$ ）和电流 i'_y 、 i''_y 。不难得出 KP_1 导通时的等效电路如图 2(a) 所示。同理，若 KP_2 在电源的负半周导通（即 c 、 d 两点等电位），则可以得出如图 2(b) 所示的等效电路。

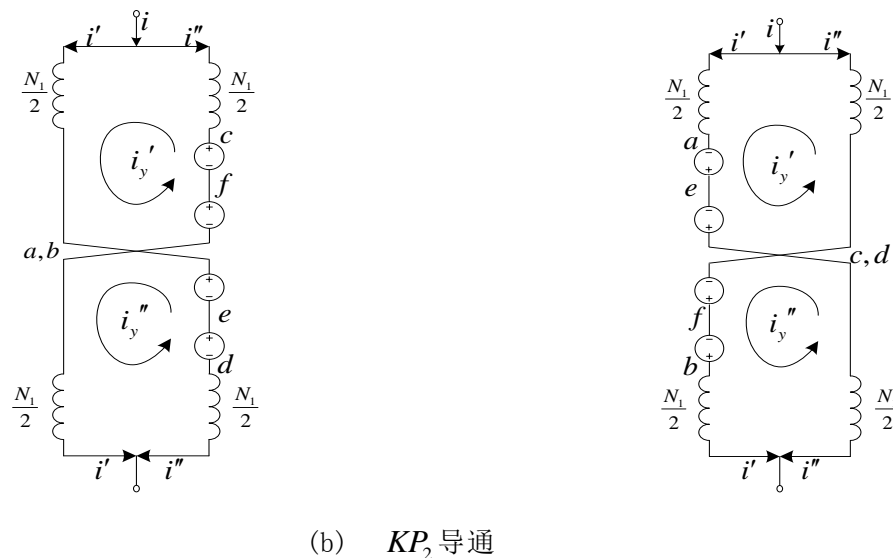


图 2 晶闸管导通的等值电路图

由图可见， KP_2 触发导通所产生的控制电流 i_y' 和 i_y'' 的方向与 KP_1 触发导通时所产生的的一致，也就是说在电源的一个工频周期内，晶闸管 KP_1 、 KP_2 的轮流导通起了全波整流的作用，二极管起着续流作用。改变 KP_1 、 KP_2 的触发角便可改变控制电流的大小，从而改变电抗器铁心的饱和度，以平滑连续地调节电抗器的容量。

显然，磁控电抗器的工作绕组与控制绕组合并为一个，有利于减少损耗，简化结构。

综上所述，可以归纳出磁控电抗器的结构特点：

(1) 基本工作原理都是利用直流控制电流控制铁心的饱和度来平滑连续调节电抗器容量的。

(2) 磁控电抗器稳态调节励磁电流利用自耦变压后由晶闸管整流获得的，近似线性。

(3) 磁控电抗器将工作绕组和控制绕组有机地结合在一起，有利于减少损耗，简化结构。

(4) 磁控电抗器采用小截面技术，在电抗器整个工作范围内，只有小截面段磁路饱和，其余段均处于未饱和和线性状态，相当于一个磁阀，故有“磁阀”之说。

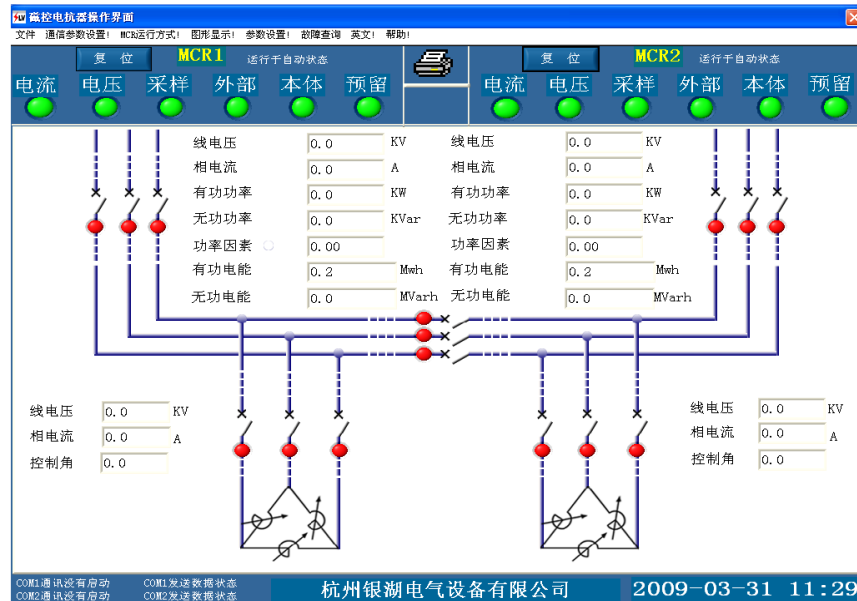
当今，磁控式动态无功补偿装置已在电力牵引提升、煤炭、冶金、化工、工矿、电解熔炼、供/排/污水处理、机场港口公设、风力发电、光伏发电等各行各业中广泛应用。随着用电负荷的增加、非线性负载对电网安全运行的危害，电能质量越来越受到人们的关注，这就对无功补偿装置提出了更高的要求。

高性能、高质量的磁控式动态无功补偿装置主要体现在损耗低、噪音小、响应快、免维护、安全可靠等方面，要达到这些标准必须有快速的励磁单元、可靠完善的控制保护系统、工艺成熟的电抗器本体。下面对我公司在这些方面的技术创新及优势给予相应说明。

① 控制保护系统

YMCR 控制器适合两段母线及两台磁控以下所有三相工况；响应时间达到 40 毫秒，具备相序自动校准功能。

控制器的主界面如下图所示：



- ◆ 全数字设计，人机界面采用大屏幕 LCD 液晶显示器，中英文双语显示。
- ◆ 秉承以人为本的设计理念，模块化组装，外表流线设计。
- ◆ 取样物理量为无功功率，避免了以功率因数取样导致的频繁投切。
- ◆ 以电压优先为设计原则：过压/欠压切除，保护输出；在过压和上限工作电压之间，报警输出，磁控电抗器缓慢投上；上限工作电压和下限工作电压之间，正常投切，每次投切之前先判断电压会否超限，以免频繁动作；在下限工作电压和欠压之间，报警输出，磁控电抗器缓慢切除。
- ◆ 可实时显示系统位置开关开合情况，母线的电压、电流、有功功率、无功功率、功率因素、有功电能、无功

电能、电压的 0~25 次的谐波成分、电流的 0~25 次谐波成分，磁控的电压、电流、控制角，故障信息等。

- ◆ 具有过压/欠压保护，过流保护，采样电压掉线保护，外部接入故障保护、磁控本体故障保护、电压越上下限报警、磁控三相电流不平衡报警等保护。
- ◆ 可查询一年内历史数据和故障记录（包括故障类别、故障时间、故障值等）。
- ◆ 具有手动输出/自动输出两种工作方式；工作时可实现手动/自动平稳转换，并可随时查询运行工作方式和输出角度。
- ◆ 后台通讯可选，具有 RS-232 或 RS-485 通信接口和成熟的接口程序，可全面可靠地实现遥信、遥控等。

② 电抗器本体

铁心的磁特性决定了磁性元件的静态及动态特性，它是电抗器理论分析与工程设计、计算的基础。铁心磁特性不仅取决于铁心磁材料的性能，而且与铁心结构形式、尺寸、铁心制造工艺技术及激磁方式等有很大的关系。

- ◆ 选用优质的硅钢片，采用先进的切片、叠片、绕组技术，结合完善的制造工艺，使噪音、损耗最小化。
- ◆ 电抗器本体与驱动电路之间有屏蔽层进行电磁屏蔽，电抗器通过控制磁路的饱和程度达到控制电抗器容量的效果。
- ◆ 采用小截面铁心和极限磁饱和技术，单相四柱铁心结构，不仅可以减小谐波含量，同时亦能大幅降低铁心磁

滞损耗，电抗器铁损控制在理想状态。

- ◆ 通过增大磁扼的宽度，使它覆盖住全部的绕组，收集电抗器的漏磁通，使它们全部顺着硅钢片导入磁扼中，减小电抗器的铁心损耗。

附 3 杭州银湖电气设备有限公司简介及优势

概况及研发实力

杭州银湖电气设备有限公司是一家致力于动态无功补偿、谐波治理的专业企业，公司的磁控（YMCR）动态无功补偿装置先后获得各项科研成果及技术鉴定证书，YMCR 比其它可控电抗器噪音低、损耗小、响应快。我司生产的磁控电抗器噪音小，功耗低，比同类产品节能、技术先进、安装方便、免维护、占地面积小等。公司的科研实力、生产工艺等均处于同行业的前列，同时也是国内最早将 YMCR 技术应用到无功补偿领域的厂家。公司的 **YMSVC 型高压动态无功补偿装置被国家科技部认定为国家火炬计划项目，已被国家科技部列入“2012 年国家重点新产品计划”。也是唯一获得 YMSVC 产品国家首台套重大装备奖项的厂家。我司是磁控型可调电抗器国家/行业标准的主要起草单位之一，并多次参与标准起草会议（国能科技[2010] 320 号，DL/TC40 标函 [2011] 15 号）。因此，选择银湖电气的磁控式动态无功补偿装置（YMCR 型 SVC）是毋庸置疑的。**

公司现有厂区面积 45000 平方米，厂房面积 30000 平方米。职工 300 余人，其中高级技术人员 78 人（其中国家级专家 3 人），中级技术人员 59 人，拥有一支专业知识深淵、行业经验丰富的研发团队。主导产品为与浙江大学合作的高低电压动态无功补偿装置、高低电压谐波治理装置。特别是在有源电力滤波（APF）、磁控式动态无功补偿（YMCR 型 SVC）的研究上，取得了重大的科研突破，攻克了行业的技术难题，为推动行业的进步起到了推波助澜的作用。

主要产品有:GWK-Z 型高压无功自动补偿成套装置、GLK-Z 高压无源滤波自动控制成套装置、DWK/BR-L 型电压无功滤波综合控制器、DWK/BR-C 型高压无功自动补偿控制器、DWK/BR-Z 型高压无功电压综合控制器、VQKP 型智能无功电压综合控制屏、TBB-J 系列高压并联电容器装置、WDBP 型低压无功自动补偿屏、XDBP 型低压滤波柜、HTQK-W(X)型混合有源电能质量控制柜、YTQK 型低压有源电能质量控制器、YSVG 高低压有源无功补偿器、YMSVC 型磁控式动态无功补偿装置。公司属高新技术企业。

产品优势及特点

公司是专业制造高、低压无功补偿及谐波治理成套设备的专业生产厂家,在各行业新上项目的电力设备配套中,充分显示了专业公司的技术优势,较好的解决了各行业因电力电子产品增多(如大功率变频器、直流电机、软启动等)而带来的新问题,得到各行各业用户的好评。我公司产品的主要优势在于:

- ◆ 高压集中自动补偿技术。集中补偿采取了电压优先,无功功率采样,分组自动投切的技术,同时亦具备手动投切功能。该产品采用了集成一柜化成套技术,补偿精度高,占地小、投资省、故障少。
- ◆ 低压可控硅自动投切技术。同样采用电压优先,无功功率取样的补偿道理。具有无触点、无涌流、无谐波、抗谐波、投切速度快(20ms 内)、补偿精度高、具有使用寿命长等特点,其性价比大大优于接触器技术,是低压补偿的换代产品。
- ◆ 低压有源电能质量控制技术。该技术是采用 PWM 脉宽调制技术,向电网中注入一个与电网中谐波电流大小相等,方向相反的补偿电流,从而完全消除电网中各次谐波,从而达到改善电能品质的目的,该装置具有安装方便,滤波效果彻底,使用寿命长,不产生谐振等特点,是目前世界上最先进的滤波控制技术。
- ◆ 新型磁控电抗器(YMCR)型 SVC 技术。SVC 装置利用附加直流励磁磁化铁心,改变铁心磁导率,实现电抗值的连续可调。具有谐波小、功耗低、响应速度快、免维护、结构简单、投资省等显著优点,是理想的动态无功补偿、电压调节、谐波治理设备。

YMCR 型动态无功补偿装置的技术优势

- ◆ 可靠性

- ① 通过控制可控硅的控制角进行自动控制,可实现连续可调,并且从最小容量到最大容量的过渡时间很短,可

以真正实现柔性补偿。投运后免维护，无须专人职守。

◆ 安全性

① 自励磁采用低压可控硅控制，不需要串、并联，承受电压只有总电压的 0.5% ~ 1%，不容易被击穿，运行稳定可靠。

② 可控硅处于铁芯副边回路，可控硅动作，整流控制产生的谐波不流入外交流系统。

③ 即使可控硅或二极管损坏，磁控电抗器也仅相当于一台空载变压器，不影响系统其他装置的运行。

◆ 经济优势

① 自励磁采用低电压可控硅控制，运行时无需承受高电压、大电流。发热量小，采用自然冷却即可，投运后可实现免维护。

② 磁控电抗器结构简单，占地面积小，基础投资大大压缩。

③ YMSVC 自身功耗低。

◆ 响应速度快

采用快速励磁技术，光电触发，光纤传输，在行业内率先实现响应时间为 30ms

YMCR 技术创新点

① 电抗器本体与驱动电路之间有屏蔽层进行电磁屏蔽，电抗器通过控制磁路的饱和程度达到控制电抗器容量的效果，**比其它可控电抗器噪音低、损耗小，是现有无功补偿装置升级换代的产品。**

(国家实用新型专利：ZL200420004793.6)

② 采用小截面铁心和极限磁饱和技术，单相四柱铁心结构，不仅可以减小谐波含量，同时亦能大幅降低铁心磁滞损耗，电抗器铁损控制在理想状态。

(国家实用新型专利：ZL 01 278031.6)

③ 磁路并联漏磁自屏蔽式：饱和区域铁芯的漏磁通，通过不饱和区域铁芯吸收而形成自屏蔽，使铁芯的损耗、噪声、谐波含量大幅度降低。

(国家发明专利：ZL200820022995.1)

④ 树脂浇注绝缘干式磁控电抗器具有防火、防爆、防污秽的特点

(国家发明专利：ZL200820024842.0)

杭州银湖电气设备有限公司

2014.3.19