

· 经验交流 ·

混合型 SVC 在冶金行业中的应用

孙 勇,汪玉凤,阎 韬,章振海

(辽宁工程技术大学 电气与控制工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

摘要:针对内蒙古通辽某铝厂 6.3 kV 配电网电能损耗严重、电能质量不高的情况,提出了利用 TSC 与 APF 并联应用的混合型 SVC 连续补偿大容量负载的无功和谐波分量。该装置于 2007 年投入使用后,取得了较好的补偿和滤波效果,达到了高可控性和快速响应性,对冶金行业供电系统无功补偿谐波治理具有借鉴意义。

关键词:无功补偿;谐波;晶闸管投切电容器;有源滤波器;电能质量

中图分类号: TM714.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-7059(2009)01-0066-03

Application of hybrid SVC to metallurgical industry

SUN Yong, WANG Yu-feng, YAN Tao, ZHANG Zhen-hai

(Faculty of Electrical and Control Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

Abstract: For 6.3 kV distribution grid of a certain aluminium plant in Tongliao, Inner Mongolia, electric energy loss is serious and power quality is poor. Therefore, a hybrid SVC based on TSC and APF was adopted to compensate reactive power and eliminate harmonics for high power load. The system was put into use in 2007, better compensation and filtering effect was obtained, and high controllability and fast response were achieved. For reactive compensation and harmonic control problem of power supply system in metallurgical industry, it can be used for reference.

Key words: reactive compensation; harmonics; TSC; APF; power quality

0 前言

随着大容量电力电子装置在冶金行业中的应用日益广泛,冶金企业的用电设备普遍采用直流电动机晶闸管变流器供电或交流电动机变频调速,在生产过程中普遍存在无功冲击大、谐波含量大、功率因数低、电压波动和闪变、电力损耗大等问题,给冶金行业供电系统和各类用电设备带来危害^[1]。因此,对电力系统进行谐波抑制及无功补偿,提高电网供电质量变得日益重要。就目前技术而言,进行动态无功补偿滤波最有效的解决方案是采用有源滤波器,但是由于电力电子开关容量的限制,用在带有大容量负载的 6 kV 电网上的有源滤波器容量也就受到限制。

内蒙古通辽某铝厂 6.3 kV 配电网由于缺少相应配套的谐波与无功补偿装置,造成电能损耗严

重,电能质量不高的情况。针对这一问题,作者提出了采用 TSC(晶闸管投切电容器)和 APF(有源滤波器)并联应用的混合型 SVC 方案,采用 TSC 补偿负载大部分基波无功功率,APF 补偿剩余的无功功率和谐波,这样 APF 可以在较小的容量下对大容量负载进行动态谐波抑制和无功补偿。另外,TSC 的电容器分组投切,易造成电压阶跃变化,通过并联一个 APF 装置可以平缓这种特性。该方案得以采纳并于 2007 年投入运行,取得了较好的补偿和滤波效果,达到了高可控性和快速响应性,对冶金行业供电系统无功补偿和谐波治理具有借鉴意义^[2]。

1 APF 的基本结构和工作原理^[3]

APF 系统主要由两大部分组成,即指令电流运算电路和补偿电流发生电路(由电流跟踪控制

收稿日期:2008-07-04;修改稿收到日期:2008-11-14

作者简介:孙 勇(1983-),男,辽宁大连人,硕士研究生,研究方向为智能电器理论与应用。

电路、驱动电路和主电路 3 部分构成)。它的基本工作原理是检测补偿对象的电流和电压,经过指令运算电路得到补偿电流的指令信号,该信号经控制器由补偿电流发生电路获得,补偿电流与负载中的谐波及无功等电流抵消,最终获得期望的电源电流。

图 1 为并联型 APF 原理图,图中 U_s 为交流电源,所带非线性负载,产生谐波并消耗无功功率; i_s 为电网电流; i_l 为负载电流; i_c 为补偿电流。指令运算电路的功能主要是从负载电流 i_l 中分离出高次谐波分量 i_{lh} 和基波无功分量 i_{lq} ,然后产生幅值、相位相反的补偿电流的指令信号 $i_c = -(i_{lh} + i_{lq})$ 。

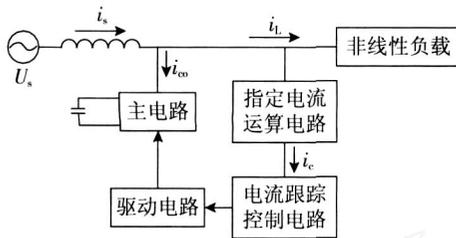


图 1 并联型 APF 原理图

Fig. 1 Principle diagram of parallel type APF

电流跟踪控制电路的功能是根据主电路产生的补偿电流 i_{co} 应跟踪指令电流 i_c 的原则,计算出主电路各开关器件的触发脉冲,此脉冲经驱动电路后作用于主电路,产生补偿电流 i_{co} ,由于 $i_c = i_{co}$,所以 $i_s = i_l + i_{co} = i_l + i_c = i_l - (i_{lh} + i_{lq}) = i_p$,即电源电流中 i_s 中只含有基波的有功分量 i_p ,从而达到消除谐波并进行无功补偿的目的。

2 无功补偿和滤波系统主电路

内蒙古通辽某铝厂 6 kV 母线设置 3 条支路: APF 装置、TSC 装置和高通补偿装置 (FC),如图 2 所示。系统采样电流为 A 和 C 相电流。APF 装置自动检测电网谐波,滤除各次谐波电流,并且提供超前或者滞后无功补偿。FC 滤除 11 次以上谐波, TSC 设置为 5 次滤波,这都是根据现场的特征谐波含量所设定的。

为了系统正常稳定工作,3 个支路都设置微机保护装置,可以对系统和装置进行保护并对故障进行检测。TSC 装置的功率因数控制器可以自动检测系统功率因数,并根据电网的情况自动进行投切,不需要用户看管。当系统功率因数低于设定值时 TSC 自动投入;当系统过补时, TSC 自动切除相应容量的电容器。

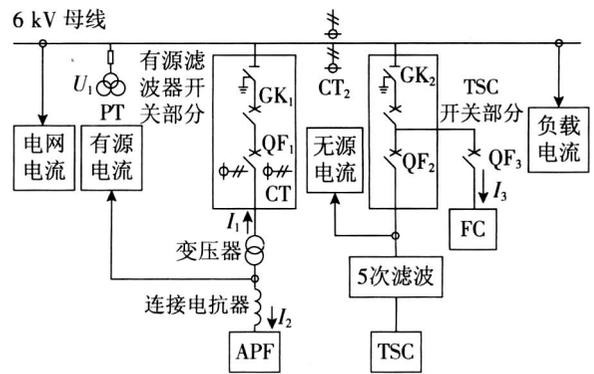


图 2 整体系统图

Fig. 2 Entire system diagram

U_1 —A 相电压值; I_1 —负载侧电网电流值; I_2 —流入 APF 的电流值; I_3 —无源滤波器的电流值

2.1 有源滤波器

有源滤波器的主要设备为 IGBT 变流器。变流器采用了一个通用的 BBM90B 型 IGBT 变流器模块,其输出容量可达 800 kVA。BBM90B 模块集成了 7 个 3 300 V / 1 200 A 的 IGBT 元件,作为三相逆变器的三相桥臂及斩波桥臂。模块上 IGBT 元件之间及与支撑电容的连接使用了低感母排,减少了线路上的杂散电感,省掉了吸收电路,使电路更为简洁可靠,因此具有结构紧凑、体积小、重量轻等优点。变流器还设置了全面完善的故障保护功能、模块级的故障诊断功能和一定程度的故障自动排除功能。

2.2 TSC 无功补偿

如果电力网最大负荷日平均有功功率为 P_1 ,补偿前的功率因数为 $\cos \phi_1$,补偿后的功率因数为 $\cos \phi_2$,则所需补偿容量 Q_c 可用下述公式计算:

$$Q_c = P_1 \left[\frac{1}{N \cos^2 \phi_1} - 1 - \frac{1}{N \cos^2 \phi_2} - 1 \right]$$

这里 $\cos \phi_1$ 采用最大负荷日平均功率因数, $\cos \phi_2$ 的确定必须适当。通常,将功率因数从 0.9 提高到 1 所需的补偿容量,与将功率因数从 0.72 提高到 0.9 所需的补偿容量相当。因此,在高功率因数下进行补偿,其效益将显著下降。这是因为在高功率因数下, $\cos \phi$ 曲线的上升率变小,提高功率因数所需的补偿容量也要相应地增加。因此根据实际情况和现场要求,设定补偿后的功率因数在 0.95 左右,另外,当功率因数在 0.93 ~ 0.95 之间时, TSC 并不投切,这样做的目的是留有一定的功率因数范围,防止因功率因数在设定值 0.95 左右波动时造成 TSC 的频繁投切。

3 滤波与无功补偿效果分析

3.1 有源滤波效果

表 1 给出变电所内无源滤波装置和 6 kV 电网电流、电压在有源滤波装置投入前后的参数比较,表中各参数为经过互感器转化后的值。

表 1 有源滤波器投入和切除后的比较分析

Table 1 Comparative analysis of APF with the states of devotion and excision

项目	APF投入后	APF切除后
U_1 电压畸变率 /%	0.58	4.20
I_1 幅值 /A	20	33
I_1 电流畸变率 /%	2.9	6.51
I_2 幅值 /A	9.3	—
I_3 幅值 /A	35.8	56.6

由表 1 明显可见,有源滤波器投入后减少了流入无源补偿电容的谐波电流,减轻了无源设备的负担,提高了无源设备的使用寿命。有源滤波投入后 6 kV 系统的电流畸变率由原来的不合格(6%~10%)变为合格(3%~4%),电压畸变率由原来的不合格(3%~5%)变为合格(<1%)^[4]。有源滤波器的谐波治理效果明显。

3.2 无功补偿效果

供电系统轻载时,功率因数为 0.87~0.90,投入 FC 后为 0.93~0.95,此时功率因数在设定值范围内,TSC 不会投入;系统重载时,功率因数为 0.78~0.90,投入 FC 后为 0.88~0.90,功率因数低于设定值范围下限 0.93,因此 TSC 投入,投入后功率因数为 0.94~0.95。

4 结束语

整套装置已经在内蒙古通辽某铝厂变电所投入近一年时间,运行良好。根据上述分析滤波和无功补偿效果可以看出,这种 APF 和 TSC 滤波和无功补偿系统能有效地滤除谐波、提高功率因数,从而大大改善配电网的电能质量,为电力系统生产提供绿色能源,大大降低事故发生率,节约电能,达到安全生产的目的。

参考文献:

- [1] 杨建宁,曾庆亮,陆新伟,等. 应用于低压大容量冲击负载的 TSC 动态无功补偿及谐波滤波系统 [J]. 冶金自动化, 2005, 29(6): 37-41.
YANG Jian-ning, ZENG Qing-liang, LU Xin-wei, et al TSC dynamic reactive power compensation and harmonic filtering device applied to low voltage and large capacity surge load [J]. Metallurgical Industry Automation, 2005, 29(6): 37-41.
- [2] 沈龙大,刘天泽,贾庆勇,等. 冶金企业的无功补偿与谐波治理 [J]. 电力设备, 2003 (1): 15-17.
SHEN Long-da, LU Tian-ze, JIA Qing-yong, et al Reactive power compensation and harmonics hamessing in metallurgical industry [J]. Electrical Equipment, 2003 (1): 15-17.
- [3] 汪兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制与无功功率补偿 [M]. 北京:机械工业出版社, 1998.
- [4] 程颢忠,艾芊,张志刚,等. 电能质量 [M]. 北京:清华大学出版社, 2006.

[编辑:夏宁]

(上接第 56 页)

普遍意义。

参考文献:

- [1] 杨卫东. 变刚度控制的收敛性与稳态特性分析 [J]. 冶金自动化, 2008, 32(3): 43-46.
YANG Wei-dong Analysis for convergence and steady-state characteristic of variable stiffness control [J]. Metallurgical Industry Automation, 2008, 32(3): 43-46.
- [2] 王君,王国栋. 厚度计型变刚度控制系统研究 [J]. 轧钢, 2001, 18(6): 3-5.
WANG Jun, WANG Guo-dong New gaugemeter type var-

iable stiffness control system [J]. Steel Rolling, 2001, 18(6): 3-5.

- [3] 杨卫东. GM-AGC 的伪正反馈现象研究 [J]. 冶金自动化, 2006, 30(4): 46-48.
YANG Wei-dong Research on pseudo-positive feedback phenomenon of GM-AGC [J]. Metallurgical Industry Automation, 2006, 30(4): 46-48.
- [4] 杨卫东. 基于弹跳方程的 GM-AGC 的局限性 [J]. 冶金自动化, 2005, 29(4): 59-61.
YANG Wei-dong Limitations of GM-AGC based on spring equation [J]. Metallurgical Industry Automation, 2005, 29(4): 59-61.

[编辑:沈黎颖]

**热烈祝贺《冶金自动化》被俄罗斯《文摘杂志》(AJ)
和波兰《哥白尼索引》(IC)数据库正式收录**