静止无功补偿器对提高电铁电压稳定水平的研究

刘凡[1],杨洪耕[1],叶茂清[2]

(1.四川大学电气信息学院,四川 成都 610065; 2.四川省电力试验研究院,四川 成都 610072)

摘要: 利用 OrCAD 软件对在电气化铁道上装设 SVC 后的效果进行研究。并采用实时测量的数据针对建构的数学模型编程实现 SVC 对电压稳定和无功补偿的效果。数字仿真和算法的编程效果表明:静止无功补偿器能提高系统稳定性和动态补偿无功,优化功率因数。

关键词: 电气化铁路; 电压稳定; 静态无功补偿器

中图分类号: TM712 **文献标识码**: B **文章编号**: 1003-4897(2003)05-0030-03

1 引言

在电气化铁道中,由于负荷存在很大的波动,经常导致电压波动和功率因数恶化,危害设备和线路的安全。在这种情况下,使用静止无功补偿装置将会对负荷的无功功率进行快速的动态补偿,对动态无功负荷的功率因数进行校正,提高整个系统的静态和动态稳定性,同时降低过电压。

静止无功补偿器是电网中控制无功功率的工具,它根据无功功率的需求量自动进行补偿,所以是一种动态补偿装置。除了可抑制谐波以外,特别适合于抑制快速变化的谐波源(如电力机车)所产生的电压波动和闪变。三相 SVC 有抑制三相不平衡的作用。

2 SVC 无功动态补偿的原理

图 1 所示为系统、负荷和补偿器的单相等效电路图。其中,U 为系统线电压,R 和 X 为系统电阻和电抗。设负荷变化很小,故有 $\Delta U \ll U$。其中 $\Delta U = U_0 - U$,(U_0 是无功功率为零时的系统电压)。

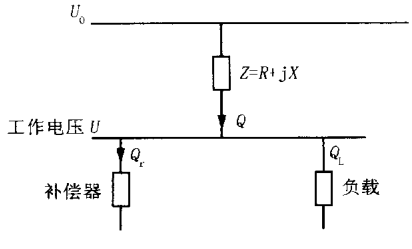

图 1 单相电路无功补偿原理

Fig. 1 Basic principles of var compensating in single-phase circuit

投入补偿器之后,系统供给的无功功率为负载和补偿器无功功率之和,即

$$Q = Q_L + Q_r$$

因此,当负载无功 Q_L 变化时,如果补偿器的无功功率 Q_r 总能够弥补 Q_L 的变化,从而使 Q 维持不变,即 $\Delta Q = 0$,ΔU 也将为零,工作电压 U 保持恒定。

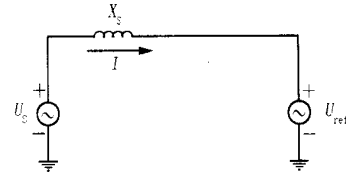

图 2 理想补偿器等效电路

Fig. 2 Equivalent circuit of ideal compensator

在工程实际中,常常把负载包括在系统之中,总体等效为一个串联一定内阻的电压源,并忽略内部阻抗中的电阻。另外,SVC 具有维持连接点电压恒定的作用,故可以将其视为恒定电压源,电压值取为系统未接补偿器时连接点处的正常工作电压,记为 U_{ref}。当图中未接补偿器使得连接点处电压变化时,接入补偿器,连接点电压即回到正常值,此时,补偿器吸收的无功为 $Q_r = \Delta U_S U_{ref} / X_S$,式中:$\Delta U_S = U_S - U_{ref}$。换句话说,一台可以吸收无功功率为 Q_r 的补偿器,可以补偿的系统电压变化为 $\Delta U_S = X_S Q_r / U_{ref}$。由于补偿器吸收无功,使得功率因数得到很大的改善,由此可以看出当补偿容量逐渐增大时,得到改善的点越多,也就是说效果越好,当然这还要将工程实际的造价考虑进去。

3 OrCAD 仿真及结论

以成昆线西昌段泸沽站为例,对其牵引变电站的α臂进行仿真。在27.5 kV侧,将系统 110 kV 侧电

路等效到27.5 kV侧,得到系统阻抗 $Z_s = 11.1568\ \Omega$,电压源为 $U = 27.5$ kV,考虑一个点初始负载为 12 Mvar,$\cos\alpha = 0.8$,同时在未加入 SVC 之前,在负载端并联一个电容组,主要起稳压作用,维持负载的工作电压在24.703 kV水平。

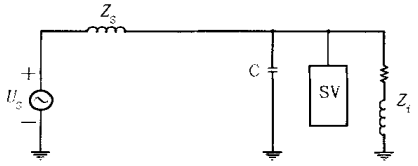

图 3　电路系统结构图

Fig. 3　Configuration of circuit system

对并联的电容组进行估算,当未并入 SVC 时,维持工作电压不变,则理论上 C 需要10.8 μF,对于单位电容值为4.21 μF的电容,结构为四串十并,即 4×10。实际电容组 $C = 10.525$ μF。

针对上述数据进行 OrCAD 仿真,将 SVC 的补偿容量考虑到 2 Mvar 以内,加入 SVC 前后的负荷侧电压有效值对比如图 4、图 5 所示。可以看出在并入 SVC 后,电压稳定在负载的工作电压附近,同时该点的功率因数也从0.8提高到0.912。每个周期 200 个采样点,共计 40 个运算周期。

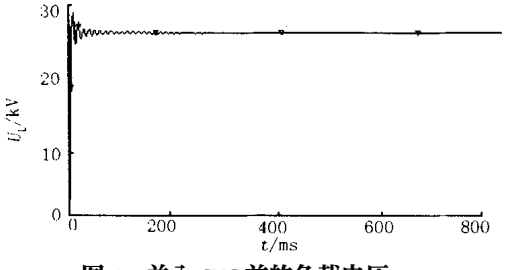

图 4　并入 SVC 前的负载电压

Fig. 4　The load voltage before parallel connection with SVC

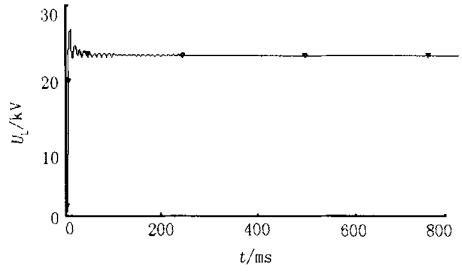

图 5　并入 SVC 后的负载电压

Fig. 5　The load voltage after parallel connection with SVC

如图 4、图 5 所示,并入 SVC 之后,负载电压从远远超过工作电压变化为稳定在工作电压附近。

4　针对实时数据的处理和运算

由于使用 OrCAD 对负载的某一点仿真的可行性,于是将该思路扩展开来,我们有在泸沽牵引变电所供电臂侧以及其对电网公共联接点(泸沽变电站 110 kV 母线)数日完整的测量数据(测量间隔小于 1 min,覆盖 24 h),以便于对设计方案作仿真分析和结果校验。

核心算法主要由 C 语言实现,外部通过 VB6.0 进行连接,利用 VB 的绘画功能将采用 SVC 前后的负荷侧电压波动和功率因数进行对比。同时考虑随着 SVC 补偿容量的增大,它对电压稳定和无功补偿的影响。

在算法中使用到的主要计算公式包括:补偿器吸收的无功为 $Q_r = \Delta U_s U_{ref} / X_s$,补偿的系统电压变化为 $\Delta U_s = X_s Q_r / U_{ref}$,还有电压波动。$\Delta U = \dfrac{U - U_0}{U_0} \times 100\ \%$。

A. 设计 SVC 补偿容量为1.5 Mvar(图 6、7)

同时,计算得到补偿前 95 %最大电压波动率为5.127 %,补偿后 95 %最大电压波动率为3.016 %,补偿前最大电压波动率为14.719 %,补偿后最大电压波动率为12.511 %。

B. SVC 设计补偿容量为 2 Mvar(图 8、9)

补偿前 95 %最大电压波动率为5.127 %,补偿后 95 %最大电压波动率为2.312 %,补偿前最大电压波动率为 14.719 %,补偿后最大电压波动率为 11.775 %。

由理论推导和仿真以及算法实现得到了较为一致的结果,使用静态无功补偿器不但可以有效地提高电气化铁道供电电压的静态和动态稳定,同时很大程度上校正了恶化的功率因数。另外,随着 SVC 补偿容

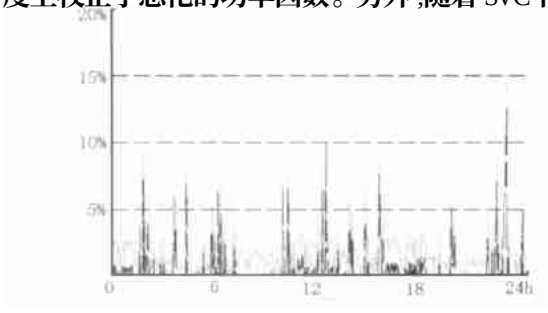

图 6　补偿前后负荷端电压波动对比图
(浅色为补偿前,深色为补偿后)

Fig. 6　Comparison of the fluctuation of load side voltage before and after var compensation

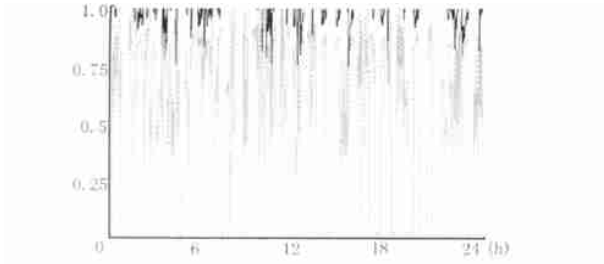

图 7 补偿前后负荷端功率因数对比图
(浅色为补偿前,深色为补偿后)

Fig. 7 Comparetion of power factor in the load side before and after var compensation

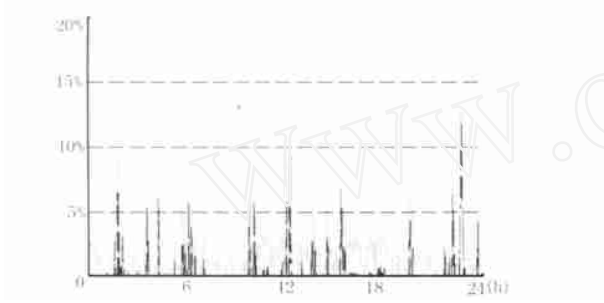

图 8 补偿前后负荷端电压波动对比图
(浅色为补偿前,深色为补偿后)

Fig. 8 Comparetion of the fluctuation of the load side voltage before and after var compensation

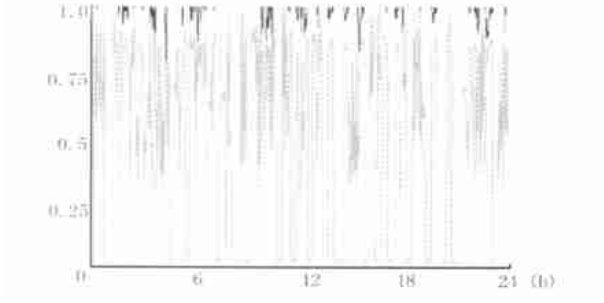

图 9 补偿前后负荷端功率因数对比图
(浅色为补偿前,深色为补偿后)

Fig. 9 Comparetion of power factor in the load side before and after var compensation

量的增加,这种效果越加明显,当然,考虑到 SVC 的实际造价不菲,因而,只要达到了工程的实际要求即可。在牵引变低压侧进行无功补偿同时会对三相侧产生一定的影响,其性质的好坏要靠控制方法来决定。目前,该课题正处于研究中。

5 结论

(1) 本文采用 OrCAD 首先对单点数据进行仿真,验证了 SVC 的稳定电压和改善功率因数的作用。在仿真过程中,将 SVC 与电容器相结合,即反映了 SVC 可以快速地调整无功的优点,又考虑了设备投资的经济性问题,可以获得较理想的补偿方案。

(2) 利用算法对电铁牵引站一天的实时数据进行计算,求出在 SVC 投入前后的电压波动对比和功率因数对比,得到了较为满意的结果,负荷侧电压水平和功率因数明显提高,验证了本文提出的方法的合理性和算法的有效性。

参考文献:

[1] 王兆安,杨君,刘进军. 谐波抑制和无功功率补偿[M]. 北京:机械工业出版社,1998.

[2] 吴竞昌. 供电系统谐波[M]. 北京:中国电力出版社,1998.

[3] 卢强,孙元章. 电力系统非线性控制[M]. 北京:科学出版社,1993.

[4] Martin N, lima L T G. Determination of suitable locations for power system stabilizers and static VAR compensators for damping electromechanical oscillation in large-scale power systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1990, 5(4).

[5] Zhu Ning, Vadari S, Hwang D. Analysis of a static var compensator using the dispatcher training simulator[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1995, 10(3).

收稿日期: 2002-09-03; **修回日期**: 2002-11-25

作者简介:

刘 凡(1978 -),硕士研究生,研究方向为电能质量监测和治理及其计算机应用;

杨洪耕(1949 -),博士,教授,长期从事电能质量监测和治理方向的研究和教学工作。

Research of improving the voltage stability of electrical railway transmission system with static var compensator

LIU Fan[1], YANG Hong-geng[1], YE Mao-qing[2]

(1. College of Electrical and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China;
2. Sichuan Electric Power Testing and Research Institute, Chengdu 610072, China)

Abstract: Effect of Static Var Compensator (SVC) to the stability of electrical railway transmission system is investigated by using OrCAD software. Based on mathematics model, program to realize the effects of SVC on voltage stability and compensating var with real time data. It is illustrated that SVC can improve the stability and dynamic performance and should be considered as a useful candidate in electrical railway.

Key words: electrical railway; voltage stability; Static Var Compensator (SVC)