

文章编号 :1007 - 649X(2001)04 - 0107 - 03

# 静止无功补偿装置的理想补偿电流

郑 研<sup>1</sup>,王克文<sup>2</sup>

(1. 郑州大学后勤管理处,河南 郑州 450002; 2. 郑州大学电气工程学院,河南 郑州 450002)

摘 要 :对静止无功补偿装置(SVC)的功能进行了扩展,着重分析了其在波形恢复方面的功能改进.在系统电压为纯正弦波的假设下,对静止无功补偿装置(SVC)的理想补偿电流从理论分析、在线算法和实验观测三方面进行了讨论,并给出了通常状态下的计算机仿真实验过程.实验表明,采用理想补偿电流作为 SVC 的输出控制信号具有响应快、平滑调节性能好、补偿效率高的优点,有一定的实用价值.

关键词 无功补偿;无功补偿装置;理想补偿电流

中图分类号:TM 761+.12 文献标识码:A

在配电网中,当建设或改造较小容量的变电所时,通常按主变压器额定容量的 10% ~ 30% 来配置补偿的容性无功功率.但由于电网负荷随时间、季节会发生较大幅度的波动,负荷的无功功率也随之变化,这就要求无功补偿装置能够及时、准确地检测负荷的变化信息,以便确定应投入的无功补偿容量,适时做到配电网的无功就地平衡,确保系统的安全经济运行.

理想状态下,三相交流系统的传输量为三相对称的正弦波,每相电流完全满足  $i(t) = \sqrt{2}I\cos\omega t$  的约束.从物理本质上讲,理想状态下的无功功率是由电压电流波形间的相位差造成的.但在非理想状态下,负荷电流不仅与系统电压存在相位差,而且负荷电流本身还含有高次谐波电流,由它引起的波形畸变,会影响到无功功率.这种由电压电流波形间的相位差和电流波形的畸变引起的无功功率,称为广义的无功功率<sup>[1]</sup>.无功补偿除了具有维持系统电压的正常功能外,也可以使畸变后的负荷电流恢复为理想传输量.

在系统电压为正弦波的前提下,一个与系统电压同频率同相位的标准正弦电流,就是有功电流.正是这一有功电流表示了从系统到负载的能量传输,所以,姑且称之为基波有功电流.显然,从实际负荷电流中减去这一基波有功电流之后得到的任意波形电流,就是要加以补偿消除的电流,该电流为理想补偿电流  $i_{com}$ <sup>[2]</sup>.

静止无功补偿装置(SVC)是电力系统枢纽点控制电压和无功的理想设备,对保证电力系统的安全、经济运行有着重要意义.本文从 SVC 装置的控制信号分析入手,选择适当的信号控制,通过与电力系统中电子技术的结合,达到理想的补偿效果.

## 1 理想补偿电流

对于 SVC 装置的补偿电流进行检测,基波有功电流分离法是一种简单易行的方法.它根据功率的定义,将负荷电流分解成基波有功电流和另一分量之和,这后一分量即为所需的补偿电流——理想补偿电流.

静止无功补偿装置(SVC)的结构如图 1 所示.其中,恒定电容器组提供较大的无功缺额, SVC 除补偿电压外,通过附加控制器提供电流波形修正,即理想补偿电流,它可由以下方法确定.为简明,以单相交流量进行说明.假设负荷母线电压为

$$u_s = U_s \cos\omega t, \tag{1}$$

负荷电流  $i_L$  一般为非正弦波,其傅里叶级数展开式为

$$i_L = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega t + \varphi_k) = I_0 + I_{1m} \cos(\omega t + \varphi_1) + \sum_{k=2}^{\infty} I_{km} \cos(k\omega t + \varphi_k) =$$

收稿日期 2001 - 09 - 08,修订日期 2001 - 10 - 11

作者简介 郑 研(1972 - )男,河南省周口市人,郑州大学助理工程师,主要从事电网规划及电气技术推广工作.

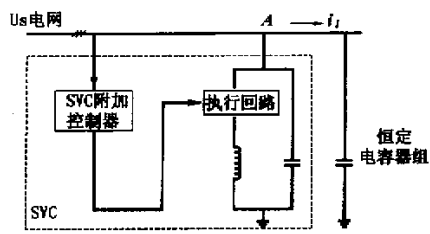


图 1 SVC 示意图

Fig.1 Diagrammatic sketch of SVC

$$I_0 + I_{1m}\cos\omega t\cos\varphi_1 + (-I_{im}\sin\omega t\sin\varphi_1) + \sum_{k=2}^{\infty} I_{km}\cos(k\omega t + \varphi_k) = I_0 + i_{1p}(t) + i_{1q}(t) + i_h(t).$$
 (2)

式中： $I_0$  为负荷电流的恒定分量； $i_{1p}(t) = I_{1m}\cos\varphi_1$ ，为基波有功电流， $i_{1p}(t) = -I_{1m}\sin\omega t\sin\varphi_1$ ，为基波无功电流； $i_h(t) = \sum_{k=2}^{\infty} I_{km}\cos k\omega t + \varphi_k$  为高次谐波电流。通常  $I_0 = 0$ 。

由以上分析可知，负荷电流是由基波有功电流、基波无功电流和一系列高次谐波电流组成的。通过一定的途径，能从负荷电流中分离出基波有功电流，剩下的部分就应为 SVC 装置提供的理想补偿电流  $i_{com}$ ，显然，

$$i_{com}^{(t)} = i_{1q}(t) + i_h(t).$$
 (3)

2 理想补偿电流的在线算法

在图 1 所示的系统中，在 A 处对三相电压和电流交流采样进行 A/D 转换，得到三相电压的瞬时值  $u_{aj}$ 、 $u_{bj}$ 、 $u_{cj}$  和三相电流的瞬时值  $i_{aj}$ 、 $i_{bj}$ 、 $i_{cj}$ ，则瞬时有功功率为<sup>[3]</sup>

$$P_j = u_{aj}i_{aj} + u_{bj}i_{bj} + u_{cj}i_{cj} \quad (j = 1, 2, \dots, N),$$
 (4)

式中： $N$  为一个工频周期内的采样点数，本文取  $N = 12$ 。而一个工频周期内的有功功率为

$$P = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N p_j.$$
 (5)

在系统电压为正弦波等理想的假设前提下，三相系统中只存在基波的有效功率，相电压的有效值为

$$U_\varphi = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N u_j^2},$$
 (6)

于是得到有功电流的有效值为

$$I_\varphi = \frac{P}{3U_\varphi}.$$
 (7)

事实上，我们所需要的有功电流是一个与电源

电压同频率、同相位的量，也就是说，不仅要得到有功电流的有效值，而且要保证它与系统电压同频率、同相位。设理想负荷为

$$R_\varphi = \frac{U_\varphi}{I_\varphi},$$
 (8)

显然，理想负荷  $R_\varphi$  表现为三相对称的线性纯阻性负荷。

于是可得到与系统电压同频率、同相位的有功电流为

$$\begin{cases} i_{ap} = \frac{u_a}{R_\varphi}; \\ i_{bp} = \frac{u_b}{R_\varphi}; \\ i_{cp} = \frac{u_c}{R_\varphi}. \end{cases}$$
 (9)

式中： $u_a$ 、 $u_b$ 、 $u_c$  分别为系统电压瞬时值（略去下标  $j$ ，下同）。

至此，已从任意波形电流中分离出三相基波有功电流。SVC 应提供的理想补偿电流为

$$\begin{cases} i_{acom} = i_a - i_{ap}; \\ i_{bcom} = i_b - i_{bp}; \\ i_{ccom} = i_c - i_{cp}. \end{cases}$$
 (10)

3 实验研究

根据以上分析及计算，我们对 SVC 进行了计算机仿真研究，前提条件是：

(1) 电网电压为三相对称的正弦波，即

$$\begin{aligned} u_a &= U_1\cos\omega t; \\ u_b &= U_1\cos\left(\omega t - \frac{2}{3}\pi\right); \\ u_c &= U_1\cos\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi\right). \end{aligned}$$

(2) 以三相不平衡的非线性 R-L 电路模拟负荷，电流中除含有基波电流外，还有 3 次、5 次谐波及无功电流

$$\begin{aligned} i_a &= I_1\cos(\omega t + \varphi) + I_3\cos 3\omega t + I_5\cos 5\omega t; \\ i_b &= 0; \\ i_c &= I_1\cos\left(\omega t - \frac{4}{3}\pi + \varphi\right) + I_3\cos 3\omega t + I_5\cos\left(5\omega t - \frac{2}{3}\pi\right). \end{aligned}$$

实验接线原理图如图 2 所示。

根据三相电流互感器检测出的负荷电流  $i_{La}$ 、 $i_{Lb}$ 、 $i_{Lc}$ ，经过矢量变换成  $i_\alpha$ 、 $i_\beta$ ，由相量识别器和母线 a 相电压作为参考电压，将  $i_\alpha$ 、 $i_\beta$  转换成相量  $I_a$ 、 $I_b$ ，再经矢量变换成对称分量相量  $I_1 = I_{1p} +$

$jI_{1q}$  及  $I_2$ 。其中  $I_{1p}$  与参考电压同相,是负荷电流中的正序基波电流的有功分量。撤除  $I_{1p}$  的对称分量经矢量变换成欲补偿的三相电流相量  $I_{acom}$ ,  $I_{bcom}$ ,  $I_{ccom}$ , 将它作为控制变量输至触发脉冲分配

驱动电路中,然后分三相分别去控制各相晶闸管控制角的大小,据此控制各项的相控电抗器,从而使 SVC 起到实时无功补偿和三相平衡化的作用。实验结果波形如图 3 所示。

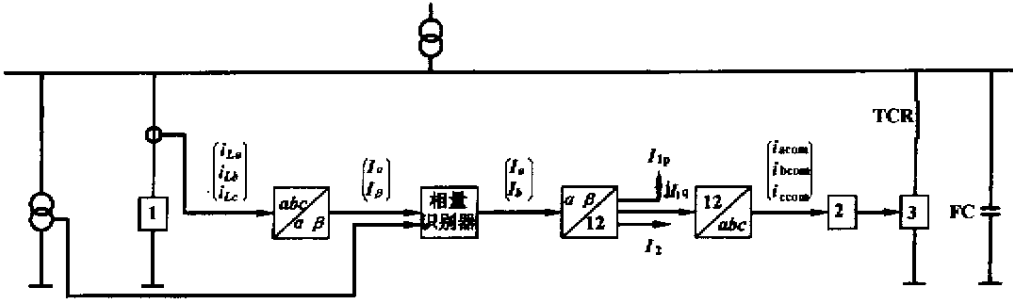


图 2 SVC 实验接线原理图  
Fig.2 Experimental principium hookup of SVC

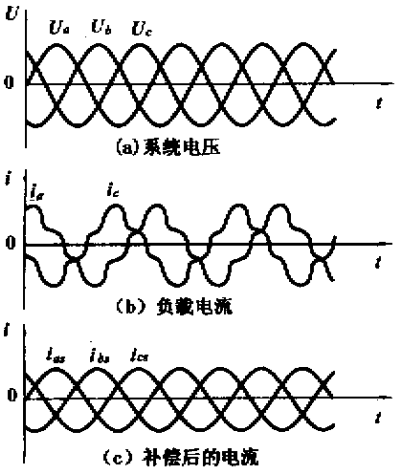


图 3 实验结果波形

Fig.3 Experimented result wave form

4 结论

本文在假设系统电压为纯正弦波形的理想状态下,对静止无功补偿装置(SVC)的扩展功能进行了研究,对理想补偿电流分量,从理论分析、在线算法、实验观测三方面进行了讨论。研究表明,采用理想补偿电流作为控制信号是 SVC 多种矢量控制方式中补偿效果较好的一种。

参考文献:

[1] 孙树勤.无功补偿的矢量控制[M].北京:中国电力出版社,1998.  
[2] 肖立军.静止无功补偿装置[M].长沙:湖南大学出版社,1989.  
[3] 靳龙章.电网无功补偿实用技术[M].北京:中国水利水电出版社,1997.

The Ideal Compensative Current of SVC

ZHENG Yan<sup>1</sup>, WANG Ke-wen<sup>2</sup>

(1. Department of Logistic Management, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China; 2. College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In this paper, the functions of SVC are expanded and especially the improvement of restoration of the wave shape is analysed. The theory analysis, arithmetic on line and experiment observation for the ideal compensative current of SVC are discussed if the system voltage is pure sine ware. The experiments show that adopting the ideal compensative current as the output signals of SVC have the following advantages: quick response, good capability of smooth adjustment, higher compensation efficiency and a definite practical value.

**Key words:** 无功补偿; static voltage compensator (SVC); ideal compensative current