

低压型 TSC 主回路不同接线方式的谐波特性分析

张劲光¹, 吴加新², 张宝华³

(1. 河南省电力公司, 河南 郑州 450052; 2. 新乡供电公司, 河南 新乡 453002;

3. 许昌继电器研究所, 河南 许昌 461000)

摘要: 按照晶闸管和电容器的连接方式, 将低压型 TSC (晶闸管投切电容器) 装置主回路接线分为星型有中线、星型无中线、角内、角外四种接法, 并定量分析了不同连接方式的谐波特性, 为 TSC 装置在配电网中的应用提供了理论基础。

关键词: 无功补偿; TSC; 谐波

中图分类号: TM714.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2002)07-0034-03

1 前言

由于无功功率平衡是保证电力系统电压水平的重要因素之一, 所以供电部门对其用户负荷的功率因数数值有特定的要求。当用户负荷的功率因数达不到规定水平时, 就必须安装无功功率补偿装置。过去常用的补偿方式为用接触器投切电容器组, 这种方法因为在投切过程中会产生冲击电流或过电压, 对系统冲击较大, 对装置本身则容易造成器件损坏, 运行效果不很理想。随着电力电子技术及微电子技术的发展, 原来用于抑制系统电压波动与闪变的静止无功补偿装置 SVC 在低压配电系统中也逐步得到应用, 即低压型的 TSC, 它采用晶闸管作为开关来投切电容器组, 使用过零投切方式, 可做到投切时无冲击电流和过电压, 对系统和装置本身都没有影响。

按照晶闸管和电容器的连接方式, 可以把 TSC 型无功补偿装置分为四种类型: 即 (1) 星形有中线; (2) 星形无中线; (3) 角外; (4) 角内。其具体接线如图 1~4 所示。由于电容器对谐波电流有放大作用, 不同接线方式对谐波产生有不同影响, 本文通过定量的方法, 比较分析了装置在不同接线方式时的谐波特性, 为工程应用提供了理论基础。

2 谐波特性分析

按照国家标准, 电网电压波形畸变率一般应不超过 5%。因为电力系统中主要以 3 次谐波为主, 为方便, 在以下讨论中, 设电网电压中仅包含 5% 的三次谐波, 即:

$$\begin{cases} u_a = u_{a1} + u_{a3} = U_{m1} \sin t + U_{m3} \sin 3 t \\ u_b = u_{b1} + u_{b3} = U_{m1} \sin(t - 120^\circ) + U_{m3} \sin 3 t \\ u_c = u_{c1} + u_{c3} = U_{m1} \sin(t + 120^\circ) + U_{m3} \sin 3 t \end{cases} \quad (1)$$

由约定可知, $U_{m3} = 0.05 U_{m1}$ 。另外, 设图 1~4 中各种方式的总补偿容量相等, 且设图 1 中单相补偿容量为 Q , 电容量为 C , 则单相电容容纳 $Y_1 = j C$, 3 次谐波容纳 $Y_3 = j3 C$ 。

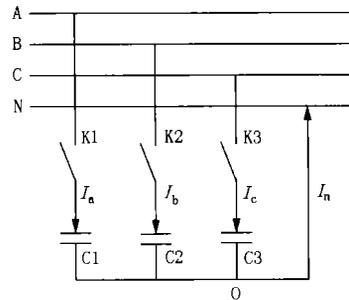


图1 星形有中线

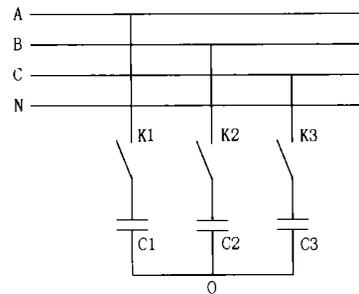


图2 星形无中线

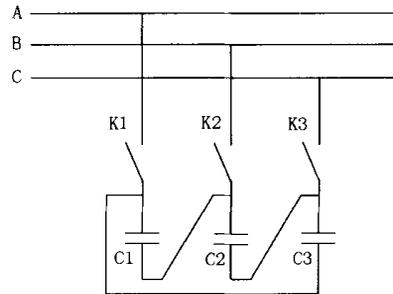


图3 角外接法

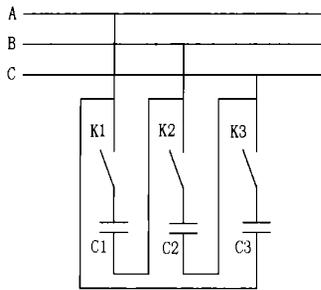


图4 角内接法

2.1 星型有中线

此方式的优点在于可以进行分相投切,从而补偿电网负荷的三相不平衡。由假设可知,每相电容器支路上流过的基波电流 I_1 和 3 次谐波电流 I_3 分别为:

$$\begin{aligned} I_1 &= Y_1 U_{m1} / \sqrt{2} = j CU_{m1} / \sqrt{2} \\ I_3 &= Y_3 U_{m3} / \sqrt{2} = j3 CU_{m3} / \sqrt{2} \end{aligned} \quad (2)$$

由式(1)可知,三相基波电压完全对称,所以三相基波电流合成值为零;而三相电压的 3 次谐波大小相等,方向相同,所以三相 3 次谐波电流也大小相等,方向相同,他们汇合后由中线回流到系统,中线电流 I_n 为:

$$I_n = 3I_3 = j9 CU_{m3} / \sqrt{2} \quad (3)$$

由式(2)和(3)可得:

$$\frac{I_3}{I_1} = \frac{3U_{m3}}{U_{m1}} = 0.15 \quad \frac{I_n}{I_1} = \frac{9U_{m3}}{U_{m1}} = 0.45 \quad (4)$$

额定电压 400V、额定容量 300kvar 的低压无功补偿屏是配电变电站的常用配置,其额定电流为 433A,代入式(4)可得: $I_3 = 65A$, $I_n = 195A$ 。按照国家规定,标称电压为 380V、基准短路容量为 10MVA 的系统注入公共连接点的 3 次谐波电流允许值为 62A,可见无功补偿装置的谐波注入量已超标,这还没有包括负荷的谐波。另外,零线上的谐波电流已达 195A,这不但加重了装置的发热量,而且,由于我国的 400V 配电系统多采用“零地合一”的三相四线制供电方式,如果因为某种原因引起接地电阻不为零,将会使电网电压中性点发生偏移,严重时有可能危害人身和设备安全。

现有的一些户外型 TSC 无功补偿设备因为装置体积大小限制,在中性线上加装电抗器以限制涌流和抑制谐波,如图 5 所示。若设电抗器感抗为单相电容容抗的 k 倍,仍按上述方法分析,可知:对于基波而言,由于三相完全对称,将不会在中性线上产生电流;对 3 次谐波而言,则

$$I_{nL} = \frac{U_{m3} / \sqrt{2}}{j \left(3L - \frac{1}{3} \times \frac{1}{C} \right)} = \frac{j CU_{m3} / \sqrt{2}}{1/9 - 3k} \quad (5)$$

与式(3)相比,可得

$$\frac{I_{nL}}{I_n} = \frac{1}{1 - 27k} \quad (6)$$

为了具有抑制谐波的作用,必需 $|1 - 27k| > 1$, 又 $k > 0$, 所以必需 $k > 7.4\%$ 。对于低压无功补偿装置中常用的 $k = 13\%$, $I_{nL} = -0.398I_n$, 中线电流减小为未加电抗器时的 40%, 装置中线发热量明显减少, 电容支路谐波电流仅为 25.9A, 谐波注入量也减小至系统允许值以下。

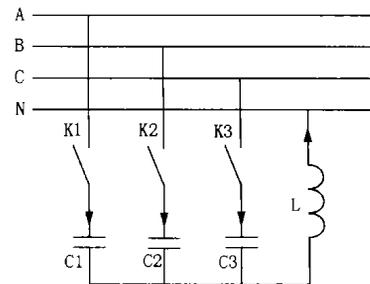


图5 中线加装限流电抗器的补偿主回路

2.2 星形无中线

此方式由于取消了中线,需两相电容才能形成回路,因此不能分相投切补偿三相负荷不平衡。与星形有中线相同,三相基波电压完全对称,所以三相基波电流合成值为零;3 次谐波电流则由线电压决定,以 AB 相间为例:

$$U_{ab} = U_a - U_b = \sqrt{3} U_{m1} \sin(t + 30^\circ) \quad (7)$$

由式(7)可知,因三相电压的 3 次谐波大小相等,方向相同,在线电压中相互抵消,电容支路中只有基波电流,其值为:

$$I = I_1 = Y_1 U_{m1} / \sqrt{2} = j CU_{m1} / \sqrt{2} \quad (8)$$

由此可见,星形无中线方式对 3 倍次谐波具有抑制作用,不对系统产生谐波污染。

2.3 角外方式

按照电工理论中的“星网变换”原理,在电容器总容量相等的情况下,角外方式和星形无中线对外电路所表现的特性都是一样的,对晶闸管而言,无论是星接还是角接,流过的电流大小相等,所承受的电压也一样。由于三相电压源的 3 次谐波向量相等,在电容器组中不会产生 3 次谐波,对系统没有谐波污染。星接与角接相比较,由于三相电容器在价格和体积上的优势,所以实际使用中多采用三相电容器。相对星型有中线接法,角外方式也不能实现分

相补偿。

2.4 角内方式

与角外接法一样,角内接法也不会对系统造成谐波污染,它的另一优点在于,晶闸管上流过的电流是电容线电流。以 AB 相为例:

$$I_{ab} = \frac{Q}{U_{ab}} = \frac{Q}{\sqrt{3} U_a} = 0.58 I_a \quad (9)$$

只有相电流的 58%。其缺点是它也不能进行分相补偿。

3 结论

从以上分析可知,在系统电压存在一定的畸变时,星型有中线接法将会产生较大的谐波电流,对系统造成谐波污染,对补偿装置本身也有危害;其它三种接法则对谐波不敏感,不会产生三次谐波电流。所以,星形有中线接法的补偿装置只适宜于在系统

电压波形畸变率很小且需要分相补偿的地方使用,其它时候采用三角形接法的补偿装置效果更好。

参考文献:

- [1] 陈允平,刘会金,彭辉. 微机控制的晶闸管开关型低压配电网基波无功动态分相补偿[C]. 全国高校电自专业第十四届学术年会论文集. 153-161.
- [2] 马维新. 电力系统电压[M]. 中国电力出版社,1998.
- [3] 吕润余. 电力系统高次谐波[M]. 中国电力出版社,1998.

收稿日期: 2002-03-06

作者简介: 张劲光(1971-),男,学士,从事电力系统调度通信及生产管理方面的工作; 吴加新(1971-),男,学士,从事电力系统继电保护及生产管理方面的工作; 张宝华(1975-),男,助工,主要从事高压直流输电方面的工作。

The harmonic characteristic analysis or various low voltage TSC

ZHANG Jir-guang¹, WU Jia-xin², ZHANG Bao-hua³

(1. Henan Electrical Power Company, Zhengzhou 450052, China; 2. Xinxiang Power Supply Bureau, Xinxiang 453002, China; 3. Xuchang Relay Research Institute, Xuchang 461000, China)

Abstract: According to the connection between thyristor and capacitor, the low voltage TSC is classified to four types in this paper. They are Star-Neural, Star-No-Neural, Outer-Delta, Inner-Delta. The harmonic characteristics of the four types is analyzed.

Keywords: reactive power compensation; TSC; harmonic

(上接第 16 页)

- [2] 郭永基. 电力系统可靠性原理和应用(下册)[M]. 北京:清华大学出版社,1986.
- [3] 郭永基,白同朔. 电力系统可靠性中国电力百科全书电力系统卷[M]. 北京:中国电力出版社,1995.
- [4] 周孝信. 中国电力百科全书电力系统卷(第二版)[M]. 北京:中国电力出版社,2000.
- [5] North American Electric Reliability Council(NERC). Planning Standard. 1997.
- [6] 中国电力企业联合会电力可靠性管理中心. 中国电力可靠性管理简报(发电部分)[R]. 1995-1999.

- [7] 中国电力企业联合会电力可靠性管理中心. 中国电力可靠性管理简报(输变电部分)[R]. 1995-1999.
- [8] 清华大学电机系. 江苏田湾核电站外电网运行可靠性分析研究报告[R]. 2000.

收稿日期: 2002-01-21

作者简介: 宋云亭(1972-),男,博士研究生,研究方向为电力系统可靠性和人工智能在电力系统中的应用; 郭永基(1934-),男,教授,博士生导师,现从事电力系统可靠性和电力系统稳定方面的教学科研工作; 程林(1973-),男,博士,研究方向为电力系统可靠性和电力系统稳定。

Statistical analysis of reliability data for power system units

SONG Yun-ting, GUO Yong-ji, CHENG Lin

(Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, 100084 Beijing, China)

Abstract: Statistical analysis of reliability data for power system units is valuable for electric industry. This paper uses the world wide accept ed method to collect and analyze the present available data. Average indices of power system units in China during 1995-1999 were provided. The statistical results have great significance for practice which have been applied to reliability analysis of Tianwan nuclear power plant.

Keywords: reliability; statistical analysis; power system units; 5-year average index