

贵广直流系统无功功率控制小结

宋述波, 袁鹏, 吴宏波

(广州超高压局, 广东 广州 510405)

摘要: 对贵广一回直流系统中站内无功功率的控制进行了简要的分析, 包括无功功率的需求计算、稳态条件下的无功功率控制、暂态条件下的无功功率控制、低负荷下的无功功率控制及冬季小方式下交流系统利用直流调压方式。对站内小组交流滤波器的控制、无功功率的检测、小组滤波器组的状态监视、小组交流滤波器的投切频率控制、及无功控制和小组滤波器不同控制模式组合也进行了简要的阐述。

关键词: 无功功率; 滤波器; 谐波; 调压; 投切频率

Summary of the reactive power 's control in GuiGuang HVDC

SONG Shu-bo, YUAN Peng, WU Hong-bo

(Guangzhou EHV Bureau, Guangzhou 510405, China)

Abstract: This paper analyzes the control way of GuiGuang HVDC's reactive power, including the calculation of reactive power requirements, and the control in steady state and in transient state, and how to use HVDC to control system's voltage in low load mode. Management of station's single filter and the measure of reactive power and the frequency of single filter's on or off are expatiated as well.

Key words: reactive power; filter; harmonic; voltage adjustment; switching frequency

中图分类号: TM714.3

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2007)11-0069-03

0 引言

直流系统两端换流站在进行无功需求设计时并不完全相同。通常直流系统送端可以考虑利用相邻电站的部分无功补偿, 故交流滤波器在充分满足谐波要求后, 并不要求直流在额定运行方式下无功完全补偿。而直流送端通常临近负荷中心, 交流滤波器不仅需要满足滤波要求, 同时还必须保证在额定运行方式下保持一定的无功裕度^[1]。贵广一回直流500 kV交流母线电压与无功功率水平受以下几个因素的影响:

①与交流母线连接的交流滤波器, C型滤波器组数;

②换流器消耗的无功功率。

换流站与交流系统交换的无功功率以及电压的运行范围可以由运行人员输入的参考值确定。

无功功率控制最重要的组成部分为小组交流滤波器的投切控制。小组交流滤波器的投切由直流站控制, 投切的优先级别:

a.按照运行人员设定的交流母线电压值投退

b.按滤除谐波的最优效果来投退

c.按照设定的整个站的无功消耗功来投退
母线电压只能靠本站的无功补偿设备来维持, 流入系统的无功功率可以靠调节本站无功和系统的无功潮流来控制。

1 换流站无功控制

1.1 换流站需要的无功功率^[2]

$$Q_{dc} = P \tan \Phi \quad (1)$$

其中

$$\tan \Phi = \frac{(\pi/180)u - \sin(u) \cos(2\alpha + u)}{\sin(u) \sin(2\alpha + u)}$$

$$u = \arccos \left[\frac{U_d}{U_{dio}} - \frac{X_c I_d}{\sqrt{2} E_{ll}} \right] - \alpha$$

$$\frac{U_d}{U_{dio}} = \cos \alpha - \frac{X_c I_d}{\sqrt{2} E_{ll}}$$

1.2 稳态条件下的无功功率控制

贵广直流系统设计在最小以及最大功率传输条

件下都能确保损耗的功率很小。为了达到额定负荷,分接头调节正常运行在定角度模式,当过负荷时,分接头运行在定电压模式,以维持较充裕的息弧角,防止在直流电流较大的情况下发生换相失败。角度控制与电压控制方式相比,其特点是换流器在各种运行工况下都能保持较高功率因数,即输送同样的直流功率,换流器吸收的无功功率较少。其缺点是:在定角度控制时,换流变分接头动作次数较为频繁,因而检修周期会短些。

1.3 低负荷下的无功功率控制

当直流系统运行在较低的传输功率时,受最小交流滤波器需求的限制,必然会导致换流站的无功功率过剩,而此时一般在冬季电网小方式运行,交流系统电压调整最为困难,换流站临近变电站电压容易偏高,极端情况下需要直流停运调压。在低负荷条件下,为了增加换流器的无功功率消耗,需要增大触发角运行,这也取决于交流系统的无功消耗能力。为了减少流入交流系统的无功功率,运行人员有两种选择。一方面可以选择一个预先定义的 U_{dc} 特性或者手动降低直流参考电压,或者调节预先定义的直流电压特性。这样增加无功的消耗可以防止过多的无功功率流入交流系统。

2 滤波器控制

2.1 小组滤波器的投退控制

小组滤波器的投退级别,从高到低的级别为: B 型滤波器,三调谐,3、24、36 次谐波; A 型滤波器,双调谐,11、13 次谐波; C 型滤波器。

换流器解锁后 500 ms 最少滤波器的投入组数为 1A 型加上 1B 型,再次投入 1 组 B 型,再次投入一组 A 型,若所有的 A、B 型小组滤波器投入完毕,则投入 C 型电容器。若某组滤波器不可用,则按照 B 型、A 型、C 型滤波器的顺序替代。在双极运行时, C 型滤波器投入时至少必须有两组 B 型滤波器已投入,否则 C 型滤波器会自动退出,并自动闭锁投入功能。

2.2 小组滤波器的状态监视

无功控制功能可以监视小组滤波器的状态。若小组滤波器没有按照滤除谐波的要求来配置,则顺序事件记录将会发“RPC AUTO ON REQUEST BY HARMONIC PERF”这可能是由以下几种情况引起的:

- 1) 小组滤波器被手动退出。
- 2) 交流电压参考值被修改。(在这种情况下不需要按谐波需要投入滤波器,因为按电压投入滤波器的需要级别高于按谐波需要投入滤波器)

当系统运行在少于需要的滤波器组数时是不允许的,因为此时运行的滤波器处于过负荷状态,并且谐波将对网络产生影响。在延时 2 秒以后将向极控请求降低电流到与投入滤波器相匹配的值。在启动延时的同时,控制系统将投入其他的滤波器,当延时时间到后,将根据实际投入的滤波器数限制电流到相应值^[3]。

3 无功功率检测环节

3.1 无功功率及交流电压的测量

小组交流滤波器的无功功率的测量采用接入间隔控制单元中的 CT/PT 计算。小组交流滤波器的电流输入为 CT-T3,电压输入为 PT-T5。三相的电流以及无功由交流控制接口屏中的间隔控制单元 6MD66 来扫描。测量环节如图 1 所示。

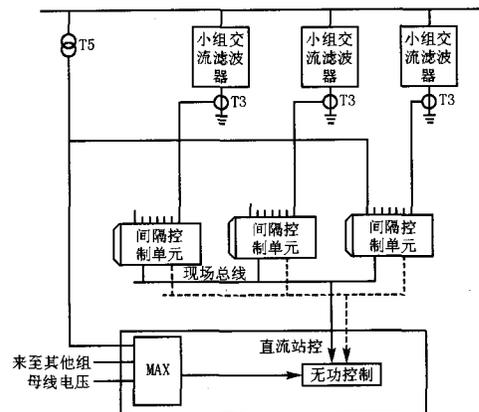


图 1 无功功率测量环节

Fig.1 Measure of reactive power

每组滤波器的交流母线电压直接送到直流站控,经过一个 6 脉动整流,各组母线电压经过一个 20 ms 的积分时间的模数转换后被记录下来。大组母线中的电压最大值作为进一步控制的信号量。换流站与交流系统交换的总的无功功率通过计算各小组交流滤波器产生的无功功率以及换流器的无功功率之和来得到。当无功功率为正值时表示从系统吸收无功,当无功功率为负值时表示换流站向系统送出无功。

3.2 无功功率及交流电压测量值的回检

若正在运行的小组滤波器无功功率的测量回路中发生故障时,采用有名值来代替测量值,来计算总的无功功率。若滤波器处于投入状态时,且测量的无功功率值大于额定值的 150% 或者小于额定值的 50%,则说明测量回路有故障,且发出告警信号。如果所有的电压测量通道故障,则交流电压控制以及交流电压限值控制将会转为用交流滤波器小组间

隔控制单元的测量值, 由于该信号具有平滑环节处理, 故不能反映暂态过电压, 在正常运行状态下只是用来作为监视用。

4 小组滤波器投切控制

4.1 小组滤波器开关投切控制

小组交流滤波器开关装备了大功率的马达, 在小组交流滤波器开关动作后给弹簧储能。站用电系统汇控箱的设计需要在同一时刻不能有两组以上的开关储能马达同时运行。小组交流滤波器的开关按照交流场的区域划分为如下组:

- 组一: 第二大组交流滤波器
- 组二: 第一大组和第三大组交流滤波器
- 组三: 第四大组交流滤波器

如果在一组中同时有两台交流滤波器开关马达在运行, 在 15 s 内直流站控将闭锁其他小组滤波

器的开关。这个逻辑由开关的节点指示触发。

4.2 投切频率控制

各小组交流滤波器的投切也受到控制, 使各个小组交流滤波器的开关动作的频率接近相等, 使各个小组滤波器的电容、电阻以及电感的工作负荷接近一致。对于各小组交流滤波器而言, 按照先投先退的原则来进行。

4.3 手动投退小组交流滤波器

在直流系统处于非解锁状态时, 所有滤波器只能手动进行操作。在直流系统处于解锁状态时: 无功功率控制处于手动状态时, 所有交流滤波器也只能进行手动操作; 无功功率控制处于自动状态, 被选择为自动控制且处于热备用的小组交流滤波器可自动投切, 被选择为手动控制制度则可通过手动单独操作其开关和刀闸。

表1 无功控制模式

Tab.1 Reactive power control modes

运行状态	无功控制模式	小组交流滤波器	控制种类
解锁	自动控制模式	自动	由无功控制自动投切
		手动	小组交流滤波器不由无功控制投切 小组交流滤波器不考虑投切频率控制 开关和刀闸可以单独合分
	手动控制模式	自动	小组交流滤波器不由无功控制投切 小组交流滤波器考虑投切频率控制 开关和刀闸可以单独合分
		手动	小组交流滤波器不由无功控制投切 小组交流滤波器不考虑投切频率控制 开关和刀闸可以单独合分
非解锁状态	自动/手动	手动	开关和刀闸可以单独合分

无功控制将显示下一组会根据定义的电压和无功限值自动投切的小组滤波器。但是投切的命令必须由运行人员手动发出。运行人员也可以投切其它的滤波器, 但是此时处于非最优滤波器的配置状态。需要注意的是, 如果无功控制处于手动控制模式时, 此时必须投入最少滤波器组数, 以防止换流器解锁时会由于无交流滤波器运行而自动闭锁^[4]。

5 小组交流滤波器的投切与换流器的配合

在解锁极时, 可用的滤波器小组数将由直流站控进行检测。如果最小交流滤波器组数可用 (1 组 A 型, 1 组 B 型) 的使能信号将传送给极控允许极解锁。通常在一极顺序操作过程中最小交流滤波器投入。在解锁一极的时候也可以由手动方式事先投入几小组交流滤波器。如果有需要可以再投入额外的交流滤波器。如果手动投入的交流滤波器使电压或者无功限值超出了限制, 则会自动退出多余的交

流滤波器。极控发出解锁信号到极控, 例如直流电流上升到门槛值超过零时, 这时发出触发信号投入一组 A 型及一组 B 型小组滤波器。如果一组滤波器因为故障没有投入, 下一组可用的滤波器会自动投上。当换流器达到解锁稳态后 500 ms 后最小滤波器配置完成。如果一极跳闸, 根据无功和电压限制值将会退出交流滤波器, 这样将会最大程度地减小电压波动。

6 总结

本文对贵广一回直流系统无功功率的控制及测量检测、小组滤波器的配合、投切频率控制等进行了很好的总结, 通过本文的介绍能对从事高压直流工作的人员有一定的借鉴和指导意义。目前我国直流技术发展迅速, 特别是在特高压直流输电中,

(下转第 81 页 continued on page 81)

后故障时 $1/C$ 为一常数, 因此通过计算可以明确地判别出故障点相对于串补的位置, 由于差别明显, 对计算误差要求不高, 采用三阶方程组计算不会引起误判。这种算法的优点在于, 在作出故障点位置判别后, 即可采用相应的模型 (式 2、4) 来计算线路的阻抗。这时求解 R 、 L 就可不依赖于暂态分量的存在与否, 在故障后暂态时也可求解。

在电容后故障时, 要随时监视电容器保护间隙动作情况, 因此其计算量大。

2.5 实用降阶法

考虑到线路电阻与线路电感之比为常数, 不随故障距离的远近而变化, 则式

$$\begin{cases} u_{t1} = Ri_{t1} + L \frac{di_{t1}}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_1} idt \\ u_{t2} = Ri_{t2} + L \frac{di_{t2}}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_2} idt \\ u_{t3} = Ri_{t3} + L \frac{di_{t3}}{dt} + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_3} idt \end{cases}$$

可简化为

$$\begin{cases} u_1 = L \left(\frac{R}{L} i_1 + \frac{di_1}{dt} \right) + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_1} idt \\ u_2 = L \left(\frac{R}{L} i_2 + \frac{di_2}{dt} \right) + \frac{1}{C} \int_{-\infty}^{t_2} idt \end{cases}$$

很显然, 这种方法相对于串联电容判别法而言, 大大减小了计算量, 且精度较高, 仿真结果也证明了这种方法的优越性能。

3 结论

通过以上分析可知, 串补线路模型法虽然简单直观, 但在具体应用于实践中时, 却遇到了求解的

困难。本文提出了几种可能的降阶方法, 并对其逐一进行了误差分析, 采用实用降阶法, 具有计算量小, 精度高, 且不受电容器间隙保护动作情况影响的优点。

结合串联电容判别法不依赖于暂态量的特点, 当故障点在线路末端时, 可以通过判断 $1/C$ 的大小, 采用相应的模型, 并配合带通滤波器, 可以提高在线路末端短路时计算的准确性。

参考文献

- [1] Ohura L J, et al. Digital Distance Relay with Improved Characteristics Against Distorted Transient Waveforms[J]. IEEE PWRD-4, 2001.
- [2] Sanderson M V H, et al. Protective Scheme for Series-compensated Transmission Lines[J]. IEEE PVOC, 2000, 189(7).
- [3] Thomas D, Bernd K. Neural Network Approach to Fault Classification for High Speed Protective Relaying [J]. IEEE Trans on Power Delivery, 1995, 10(2): 1002-1011.
- [4] 李一峰, 王琨. 一种适用于串联电容补偿线路的微机距离保护算法[J]. 电力学报, 2000, (3): 172-175.
LI Yi-feng, WANG Kun. An Algorithm for Distance Protection Based on Micro-Processor in Series Compensated Transmissim Lines[J]. Journal of Electric Power, 2000, (3): 172-175.

收稿日期: 2006-12-05

作者简介:

李一峰(1966-), 男, 硕士, 副教授, 研究方向为电力系统微机继电保护技术的理论研究与应用技术; E-mail: gdzjlyf@126.com

陈平(1969-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为电力线路故障测距及继电保护技术。

(上接第 71 页 continued from page 71)

滤波器的控制及电网中无功的协调配合必将在未来的直流工程中得到更多的重视。

参考文献

- [1] 陈亦平. 直流系统无功控制对交流系统电压调整的影响分析[J]. 南方电网技术研究, 2005.
- [2] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
ZHAO Wan-jun. Engineering Application of HVDC Transmission[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2004.
- [3] PTDH171/P-000088/ED1.020.AZ- a Study Reports Reactive Power Management[Z].

- [4] PTDH171/P-000088/ED4.321.AZ- 0 C / P Design Specifications DC Station Control[Z].

收稿日期: 2006-07-10; 修回日期: 2007-02-11

作者简介:

宋述波(1978-), 男, 工程师, 硕士研究生, 从事高压直流输电系统的运行维护工作; E-mail: songshubo@126.com

袁鹏(1979-), 男, 工程师, 学士, 从事高压直流输电系统管理工作;

吴宏波(1978-), 男, 工程师, 硕士研究生, 从事高压直流输电系统的运行维护工作。