

云南 - 广东 ± 800 kV 直流 系统无功控制策略研究

崔光照, 董振廷

(郑州轻工业学院 电气信息工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 在特高压直流输电系统中, 为了实现无功控制减轻换流站谐波对交直流系统及主设备的危害, 进而保证交直流系统无功交换满足系统要求的目的, 以云南 - 广东 ± 800 kV 特高压直流输电工程为例, 分析了直流系统控制滤波器投切的电压控制、无功交换控制和谐波性能控制, 提出了相关的控制逻辑优化策略: 修改极控系统送给直流站控系统的电压, 由参考电压改为实际电压, 同时增加一个判断逻辑判断每极是否有效解锁, 以避免所有滤波器投入来满足谐波性能需求; 加入滤波器小组电流判断逻辑, 以消除滤波器小组无功功率取值问题, 避免系统过多投入滤波器。试运行情况表明, 该优化策略能够解决云广工程站控系统存在的缺陷, 为其他特高压直流工程的设计提供有益的参考。

关键词: 特高压直流输电; 无功控制; 交流滤波器; 投切控制

中图分类号: TM732 文献标志码: A DOI: 10. 3969/j. issn. 2095 - 476X. 2013. 06. 021

Strategy of reactive power control in Yunnan-Guangdong ± 800 kV DC system

CUI Guang-zhao, DONG Zhen-ting

(College of Electric and Information Engineering Zhengzhou University of Light Industry Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In ultra high voltage direct current(UHVDC) transmission system, in order to realize the function of the reactive power control to mitigate the harms of the harmonics produced by the converters to the system and the primary equipments, then to balance the reactive power exchanged between the AC and DC systems. Taking Yunnan-Guangdong ± 800 kV UHVDC transmission project as an example, the voltage control, reactive power control and harmonic performance control for the DC filter groups switching was analyzed, and certain strategies to optimize the control logic of the DC filter groups were presented: pole control system for the station control system of the reference voltage was changed to the current voltage, at the same time increase a logic judgement that used to determine each pole whether effective unlocked, in order to eliminate filter group reactive power values and avoid excessive input filter system. This optimization strategy can fully solve the problems of station control in Yunnan-Guangdong project and have good reference value for the following UHVDC transmission project.

Key words: ultra high voltage direct current(UHVDC); reactive power control; AC filter; switching control

收稿日期: 2013 - 11 - 05

作者简介: 崔光照(1957—), 男, 河南省洛宁县人, 郑州轻工业学院教授, 博士, 主要研究方向为智能电器控制技术、系统工程、测试系统。

0 引言

伴随各类大型输电工程的不断建设,输电走廊资源日益匮乏。±800 kV 直流输电工程的建设,不但可以使电网运行更加安全稳定,而且能够大大提高输电走廊的利用率、扩大输电规模。云南-广东±800 kV 直流输电工程(以下简称云广工程)东起广东省穗东换流站,西至云南省楚雄换流站,全线长度1 418 km,额定输送功率5 000 MW,运行后对南方电网安全稳定运行起着重要作用^[1]。

特高压直流工程运行过程中,逆变站和整流站都需要使用大量无功功率。为了确保工程现场换流站运行安全可靠,需要将系统无功功率的补给保持在一定的范围内。补给的无功功率过多或者过少,都会造成交流电压的波动,严重时会影响整个输电工程的运行。直流系统无功功率控制对于保证直流工程中换流站所需无功功率,保持无功功率补给,具有重要的意义。系统在额定功率运行过程中,整流站需要使用的无功功率占输送功率的42%~52%,逆变站使用的无功功率占输送功率的52%~60%。以额定输送功率为6 400 MW的±800 kV特高压直流输电工程为例,整流站需要补给3 400~4 500 Mvar的无功功率,逆变站则需要补给3 200~4 500 Mvar的无功功率^[2-3]。

对于±800 kV特高压直流输电工程而言,交流站控系统和直流站控系统的设计相比常规的高压直流输电工程更加复杂,功能也更加强大。特高压直流输电系统在直流站控中实现了对双极层的控制以及对直流滤波器的控制和监视。由于工程现场中每站共包含4个阀组,所以特高压直流输电工程中还增加了阀组控制系统^[1]。云广工程共有4组交流滤波器:双调谐滤波器DT11/24(A型)、双调谐滤波器DT13/36(B型)、HP3(C型)、SC(D型)^[4]。本文拟对云广直流系统用于控制滤波器投切的电压控制、无功交换控制和谐波性能控制进行分析,以提出控制逻辑优化策略。

1 电压控制

电压控制维持交流场母线电压在最小电压设置值 U_{\min} 和最大电压参考值 U_{\max} 之间的范围内^[6]。交流侧交流场母线电压小于 U_{\min} ,系统自动投入滤波器小组,交流侧交流场母线电压大于 U_{\max} ,系统自

动切除滤波器小组。为了保证系统安全稳定的运行,交流侧交流场母线电压值达到设定级别时,系统自动切除滤波器组,最小滤波器组除外。系统设定的级别为跳闸级别或者隔离级别^[5]。云广工程中电压控制时滤波器投切曲线如图1所示。

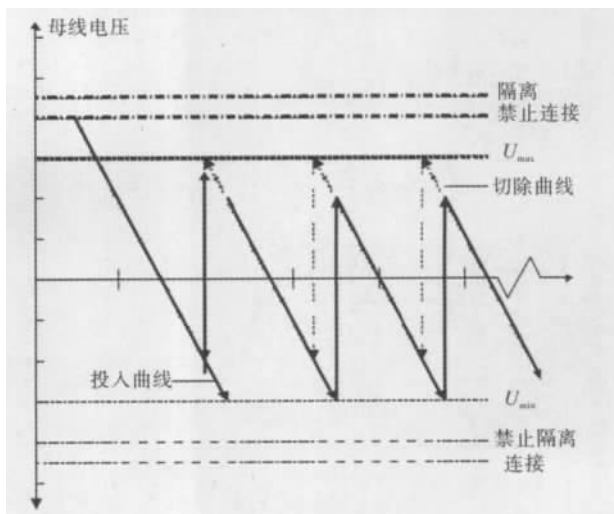


图1 电压控制投切曲线

在云广直流系统中,穗东换流站设定 $U_{\min} = 485 \sim 525$ kV, $U_{\max} = 495 \sim 535$ kV。楚雄换流站设定 $U_{\min} = 500 \sim 540$ kV, $U_{\max} = 510 \sim 550$ kV。

2 无功交换控制

无功交换控制的目的是把交流系统与换流站交换的无功功率限定在一定范围内。当设定为无功交换控制模式时,系统将依据交流系统与换流站之间无功功率交换的情况进行滤波器投切控制。交流系统与换流站之间的无功功率交换表示为

$$Q_{\text{sys}} = Q_c - Q_{\text{fil}} \quad (1)$$

式中 Q_c 为换流站换流器吸收的无功功率/Mvar, Q_{fil} 为滤波器提供的无功功率/Mvar。

$$Q_{\text{fil}} = Q_{\text{filn}} \times U_{\text{ACa}}^2 / U_{\text{ACn}}^2 \quad (2)$$

式中 Q_{filn} 为交流滤波器小组功率额定值/Mvar, U_{ACa} 为交流母线实际电压测量值/kV, U_{ACn} 为交流母线电压额定值/kV。

根据公式①②,按照最低母线电压和最高母线电压分别计算出投入运行的滤波器实际提供的无功功率。经计算楚雄换流站无功功率交换上限(Q_{\max})设定为 $-20 \sim 40$ Mvar,下限(Q_{\min})设定为 $-220 \sim -160$ Mvar。穗东换流站上限(Q_{\max})设定为 $-90 \sim 10$ Mvar,下限(Q_{\min})设定为 $-310 \sim -210$ Mvar。

系统在投入滤波器时,正好换流变压器分接头同时启动.在这种情况下会导致点火角或熄弧角变化,换流变压器的无功消耗快速变小,系统无功值落在切除滤波器区域.为了防止出现这种情况,系统在投入滤波器时增加无功裕度 Q_{mar} ,云广系统中将 Q_{fil} 的15%~20%作为投入滤波器的裕度值.

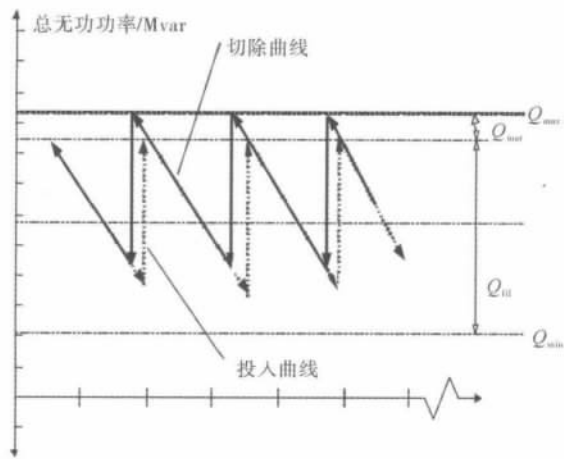


图2 抑制滤波器频繁投切曲线

为防止滤波器频繁投切,同一个滤波器在一定的时间内投切次数超过设定值,ABB公司自动把频繁投切的滤波器转换到手动控制.图3,图4表示云广直流输电工程中换流站无功交换控制参数设定(图中白色柱表示无功出力,灰色柱表示无功裕度).

当系统采用无功交换控制时,倘若无功功率小于系统设定的下限值,则必须切除滤波器组,使系统

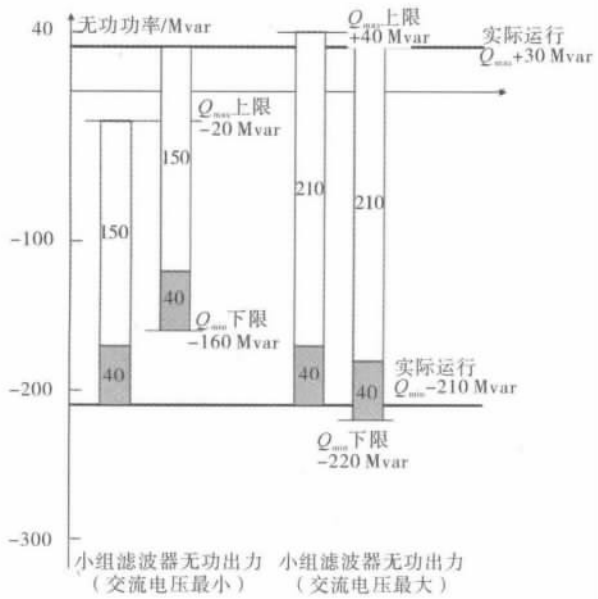


图3 楚雄换流站无功交换控制参数

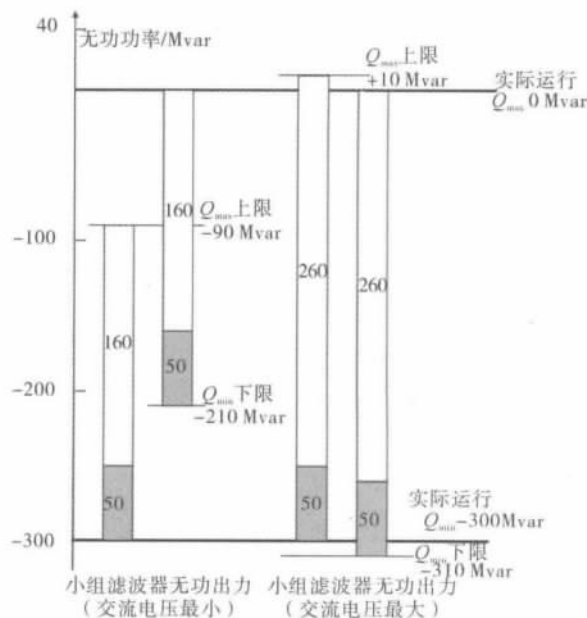


图4 穗东换流站无功交换控制参数

补偿的无功功率保持在给定范围内,系统交换的无功功率与无功交换上限的差值大于无功交换下限时,即可投入滤波器.在电压变化的情况下,根据电压的高低动态地改变投入点.

3 谐波性能控制

换流站换流阀消耗的无功功率随直流场功率的变化而变化.系统消耗的无功功率增加,交流侧产生谐波同时增加,所需要滤波器数目相应增加,反之,所需滤波器数目减少.根据直流电压和直流场配置模式,不同电流级别下配置不同滤波器个数,从而滤除交流侧谐波.

云广直流输电系统中,谐波性能控制滤波器投切不考虑阀组运行方式,只考虑全压、80%降压、70%降压3种运行模式下功率水平.直流场实时电压实时折算功率法可用于滤波器数目的配置.根据直流场电压大小分为70%,70%~80%,80%,80%~100%,100%这5种谐波性能配置模式,使滤波器的配置在全压恢复过程中符合谐波变化规律.

功率传输方向为云南至广东.极电压标幺值 > 0.98 时,站控系统判为100%全压运行;极电压标幺值为 $0.82 \sim 0.98$ 时,站控系统判为80%~100%电压恢复过程;极电压标幺值为 $0.78 \sim 0.82$ 时,站控系统判为80%降压运行;极电压标幺值为 $0.72 \sim 0.78$ 时,站控系统判为70%~80%电压恢复过程;极电压标幺值 < 0.72 时,站控系统判为70%降压运行^[6].表1为相同滤波器配置功率对比.

表 1 相同滤波器配置功率对比

滤波器配置	Ud80	Ud70	Ud80/Ud70
1A + 1B	5.0	5.0	
1A + 1B + 1C	15.0	10.0	1.5
2A + 1B + 1C	22.5	15.0	1.5
2A + 2B + 1C	27.5	20.0	1.4
3A + 2B + 1C	32.5	22.5	1.4
3A + 3B + 1C	40.0	27.5	1.5
4A + 3B + 1C	45.0	32.5	1.4
4A + 3B + 2C	50.0	37.5	1.3
4A + 4B + 2C	55.0	40.0	1.4
4A + 4B + 2C + 1D	62.5	45.0	1.4
4A + 4B + 2C + 2D	70.0	47.5	1.5
4A + 4B + 2C + 3D	75.0	50.0	1.5
4A + 4B + 2C + 4D	80.0	55.0	1.5
4A + 4B + 2C + 5D	85.0	60.0	1.4
4A + 4B + 2C + 6D	90.0	65.0	1.4
平均值			1.4

注: A 表示 DT11/24 型滤波器, B 表示 DT13/36 型滤波器, C 表示 HP3 型滤波器, D 表示 SC 型滤波器; Ud80 表示 80% 降压模式, Ud70 表示 70% 降压模式。

电压在 72% ~ 78% 恢复过程中, 电压变化量约为 6%。取 10% 进行计算。从表 1 可知功率平均比值 $K = 1.4$, 将功率折算到 80% 电压水平, 并使折算功率线性减小, 设计功率折算公式为

$$P = P_{act} \times [1 + (K - 1) \times (0.8 - U_d) / 0.1]$$

其中 P_{act} 表示折算前功率/Mvar, U_d 表示电压百分比, P 表示折算后功率/Mvar。

4 滤波器投切控制优化

4.1 高压侧注流滤波器投入分析及优化

笔者对穗东高压侧注流试验中所有滤波器投入进行分析, 进而提出优化策略。极控系统经过控制总线把换流变压器阀侧电压发送到直流站控系统。但极控系统发送的是阀侧电压参考值(只要此阀组没有故障, 在闭锁状态下, 此值便发送给直流站控), 而不是换流变压器阀侧电压实际值。此值经过测量系统计算, 经极控控制总线发送到直流站控, 直流站控双极层进行计算得到一个很大的功率值。谐波性能控制是根据直流功率配置滤波器, 而且把电容器也考虑在内。在这种状态下, 若给高压侧注入很大电流, 将导致所有滤波器都投入以满足谐波性能需求。为了避免这种情况的发生, 必须在极控或直流站控系统中加入相应的处理, 修改极控系统送给直流站控系统的电压, 由参考电压改为实际电压。同时增加一个判断逻辑, 其功能是判断每极是否有效解锁(见图 5)。

4.2 交流滤波器小组无功计算优化

在运行阶段, 发生了系统多次投入滤波器的问题。经过分析, 发现是直流站控系统判断滤波器小组无功功率计算逻辑有问题。交流滤波器小组无功功率计算逻辑见图 6。

从以下程序可以看出, 当信号电源丢失后, 滤波器小组和滤波器大组隔离刀闸处于未定义状态, 此时滤波器小组无功值取 0, 有可能导致系统多投入滤波器。

在这种故障状态下, 加入滤波器小组电流判断逻辑, 可以有效消除滤波器小组无功功率取值问题。

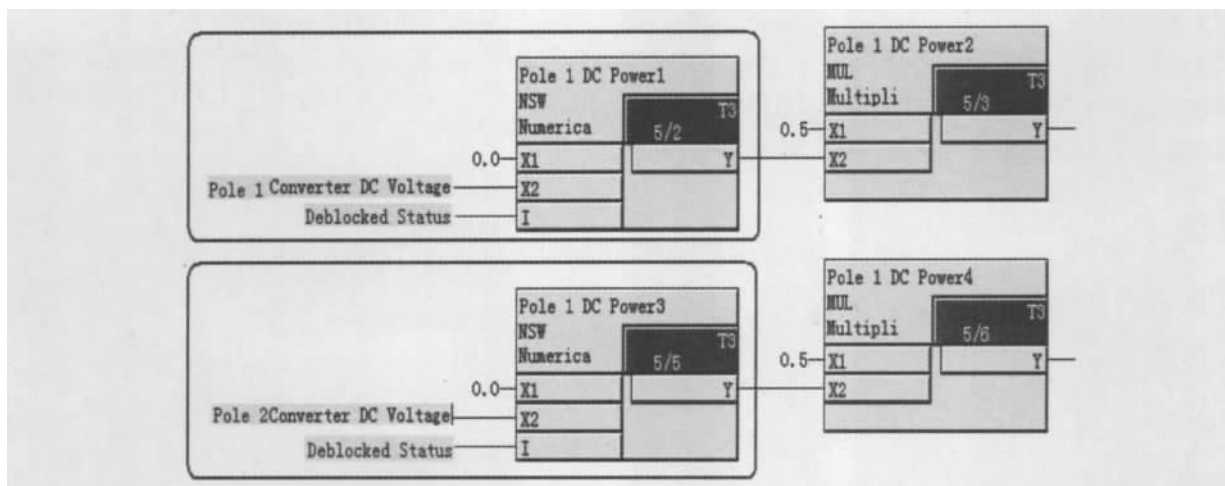


图 5 优化后的判断逻辑图

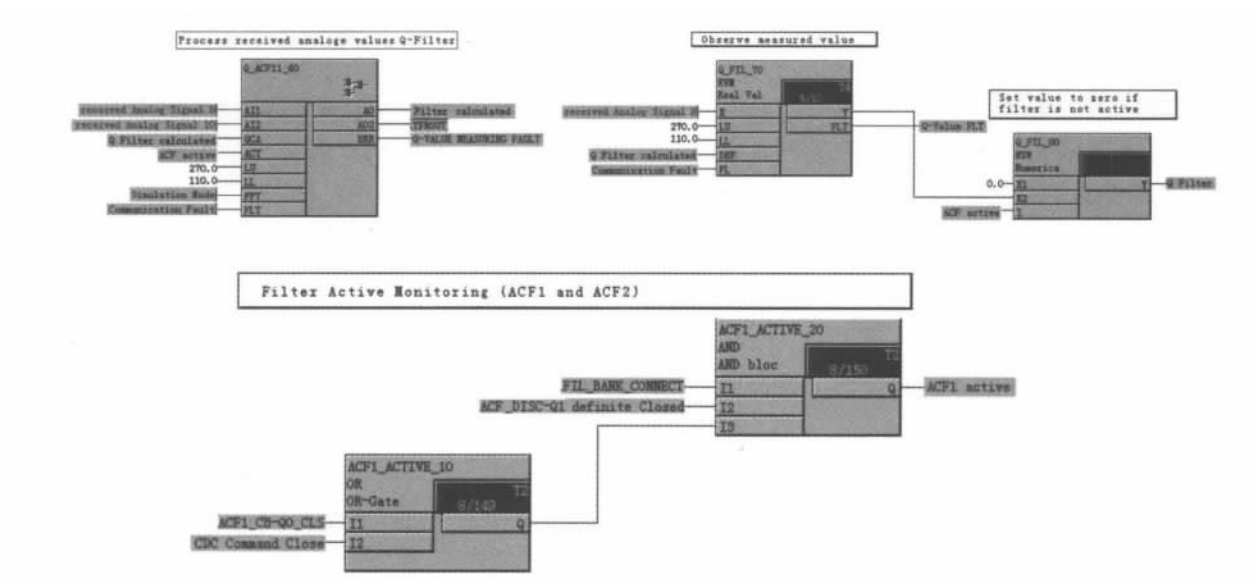


图 6 交流滤波器小组无功功率计算判断逻辑图

当小组滤波器三相电流有效值大于门槛值时,无论滤波器大组开关和滤波器小组开关处于何种状态,系统仍判定该滤波器小组为投入状态.仿真实验表明,加入滤波器小组电流判断逻辑后,交流侧电压在 20 ms 后达到稳定值.

5 结语

特高压直流输电系统主要通过无功单元的投切实现无功控制.系统在满足换流站谐波和无功条件的同时,投切策略设计还应考虑不同类型无功单元投切的均衡性,这样可以避免对某些滤波器组过分使用.

本文分析了云广特高压直流工程中的电压控制、无功交换控制和谐波性能控制,并对云广直流输电工程在软件设计方面暴露出来的一些问题进行了详细的分析,提出了针对性的解决办法.由于云广直流输电工程采用单极双阀组串联结构,阀组之间相互影响和相互联系更加紧密,所以部分滤波

器控制逻辑仍存在优化空间.

参考文献:

- [1] 张爱玲,姚致清,涂仁川,等.云广特高压直流输电工程站控系统的设计缺陷及改进分析[J].电力系统保护与控制,2011,39(4):117.
- [2] 赵婉君.高压直流输电工程技术[M].北京:中国电力出版社,2004.
- [3] 张望,郝俊芳,曹森,等.直流输电换流站无功功率控制功能设计[J].电力系统保护与控制,2009,37(14):72.
- [4] 田庆.云广特高压直流输电工程穗东站交流滤波器电阻基波过流保护误动作分析[J].高压电器,2012,48(2):7.
- [5] 戴国安,周君文,王亚非.特高压直流无功控制策略研究[J].电力系统保护与控制,2008,36(14):48.
- [6] 戴国安,王柏恒,刘文,等.一种高压直流输电全压恢复过程中谐波性能控制的方法[P].中国:CN101895111B,2013-06-12.