

# 基于 UAPCPlatform 的天广直流换流变压器分接头控制原理

刘 洋

(中国南方电网有限责任公司教育培训评价中心, 广东 广州 510520)

摘 要:介绍了换流变压器分接头控制功能,阐述了基于 UAPCPlatform 的换流变压器分接头控制的两种方式及其基本原理,分析了两种控制方式的优缺点,对控制保护系统改造后的天广直流运行和维护有一定的借鉴意义。

关键词:换流变压器;分接头;触发角;熄弧角;电压

**Abstract:** The tap changer control (TCC) function of converter transformer is introduced, the basic principles of two kinds of control modes for TCC of converter transformer based on UAPCPlatform are described, and the advantages and disadvantages of these two control methods are analyzed, which has a certain reference significance for Tian - Guang HVDC operation and maintenance after the reconstruction of control and protection system.

**Key words:** converter transformer; tap changer; firing angle; extinction angle; voltage

中图分类号:TM762 文献标志码:A 文章编号:1003 - 6954(2012)02 - 0056 - 05

## 0 引 言

分接头控制(tap changer control, TCC)是直流极控系统中的一个重要功能模块,其作用是通过对换流变压器分接头的控制使触发角(alpha)、熄弧角(gamma)或阀侧理想空载直流电压 $U_{dio}$ 等被控量保持在其参考值附近,以提高换流器工作的功率因数,减小其无功消耗,降低直流传输中的线损等。此外,分接头控制还用于确保 $U_{dio}$ 低于其最大值。分析清楚天广直流工程中的分接头控制功能及其优缺点,具有重要的实际运用意义,对高压直流输电系统的运行和维护具有很好的借鉴作用。

## 1 分接头控制功能

### 1.1 总体说明

按照分接头控制策略,在正常运行时,分接头控制可采用角度控制或电压控制两种控制方式。角度控制方式用于保持触发角(alpha)、熄弧角(gamma)在额定值附近,电压控制方式用于保持阀侧理想空载直流电压 $U_{dio}$ 在其额定值附近<sup>[1]</sup>。

由于分接头的动作是逐级而非连续的,因此需要为被控量设定一个合适的动作死区以避免分接头动作振荡。

实际采用的分接头控制方式由运行人员确定,在角度控制和电压控制中选择一种方式。

在角度控制方式下,整流侧分接头控制 $\alpha$ 角为 $15^\circ \pm 2^\circ$ ,逆变侧分接头控制 $\gamma$ 角为 $19^\circ \pm 1.5^\circ$ 。

在电压控制方式下,分接头控制本侧 $U_{dio}$ 为 $(1 \pm 1\%) U_{dioN}$ ,其中整流侧 $U_{dioN} = 281.6 \text{ kV}$ ,逆变侧 $U_{dioN} = 268 \text{ kV}$ 。

为了避免设备承受过高的稳态电压,分接头控制应保证 $U_{dio}$ 不大于某一最大值。当 $U_{dio}$ 大于该最大值时,分接头立即动作使 $U_{dio}$ 降低到限值以下。

换流变压器未充电时,分接头的位置应位于初始挡位。当分接头调至规定的最高或最低位置后,就不再允许分接头继续上调或下调。

当分接头之间出现不同步时应能通过对分接头的自动控制使分接头之间自动恢复同步。

### 1.2 控制模式

#### 1.2.1 手动模式

换流变压器分接头控制具有手动和自动两种模式<sup>[2]</sup>。如果选择了手动模式,报警信号将送至SCADA系统。当运行在手动模式时,可调节单相换流变压器分接头,也可同时调节三相换流变压器分接头。如果选择了调节单个分接头,那么在切换回自动模式前,必须对所有换流变压器的分接头进行手动同步。手动控制模式仅在自动控制模式失效的情况下才被启用。而且在传输直流功率的过程中应避免对分接

头进行手动控制,因为在传输功率的过程中,分接头是用于控制触发/熄弧角和  $U_{dio}$  的。无论是在手动模式还是在自动模式,当分接头被升至最高位或降至最低位时,极控系统将发出信号至 SCADA 系统,并禁止分接头继续升高或降低。

### 1.2.2 自动模式

自动模式是分接头控制的主要控制模式,它是根据被控量偏离其参考值的程度来自动的调节分接头,使被控量恢复到要求的范围内。根据被控量的不同可分为以下几项。

#### (1) 空载控制

换流变压器分接头的空载控制用于换流器闭锁和空载加压试验的情况下。空载控制能将换流变压器分接头控制在预先设定的位置。如果换流变压器失电(交流断路器断开),换流变压器分接头将移至初始位置(天生桥站 12 挡,广州站 7 挡)。如果换流变压器充电,并且不在空载加压试验的状态下,换流变压器分接头会根据最小运行电流(0.1 p. u.) 工况的需要建立  $U_{dio}$ 。

在空载加压试验时,空载控制根据试验需要的直流电压值控制  $U_{dio}$  到要求的值。在天广直流中,分接头动作死区设为  $\pm 1$  倍的一挡调节量,即  $\pm 1.0\% U_{dioN}$ 。

#### (2) alpha 角度控制

整流侧的 alpha 控制用来维持触发角(alpha)为要求的参考值, alpha 参考值由 VARC(电压角度参考值计算)功能产生<sup>[3]</sup>。为了防止分接头动作产生振荡, alpha 控制的目的是将 alpha 控制在以其参考值为中心的动作死区范围内, alpha 控制比较参考值和测量值,如果其差值超出了动作死区,分接头就要求动作。在天广直流工程中,整流侧 alpha 参考值为  $15^\circ$ ,死区大小设为  $\pm 2^\circ$ 。

假设整流侧交流电压上升,换流器触发控制将迅速增大触发角以保持直流电流等于电流指令值。如果 alpha 变化至大于 alpha 参考值加上  $2^\circ$  ( $17^\circ$ ),分接头动作,降低阀侧电压来使 alpha 回到动作死区范围内。如果交流电压下降, alpha 下降至小于 alpha 参考值减去  $2^\circ$  ( $13^\circ$ ),分接头动作,增大阀侧电压,直到 alpha 重新回到死区范围内。

#### (3) 电压控制

正常工况下,电压控制用于维持换流变压器阀侧的理想空载直流电压  $U_{dio}$  恒定。为了防止分接头动

作产生振荡,电压控制的目的是将  $U_{dio}$  控制在以其额定值为中心的动作死区范围内,死区大小可设为  $\pm 1.0\% U_{dioN}$ 。

假设交流电压上升,使得  $U_{dio}$  上升至大于  $(1 + 1.0\%) U_{dioN}$  时,分接头动作以降低阀侧电压,使得  $U_{dio}$  回到死区范围内。如果交流电压降低,使得  $U_{dio}$  下降至小于  $(1\% \sim 1.0\%) U_{dioN}$  时,分接头动作,增大阀侧电压,直到重新回到死区范围内。

#### (4) gamma 角度控制

逆变侧的分接头用来维持熄弧角 gamma 在预期的范围内,其控制类似于 alpha 控制。gamma 控制比较参考值与测量值之间的差值,如果差值超出了动作死区,分接头就要求动作。在天广直流工程中,分接头控制的 gamma 参考值为  $19^\circ$ ,死区大小设为  $\pm 1.5^\circ$ 。

#### (5) $U_{dio}$ 限制

$U_{dio}$  限制的目的是为了设备承受过高的稳态电压。因此,  $U_{dio}$  限制是优先于其他正常的分接头控制之上的。通过控制换流变压器阀侧电压来保证稳态时的  $U_{dio}$  永远不会大于  $U_{dioL}$ 。与  $U_{dio}$  限制相关的限值有两个:  $U_{dioG}$  和  $U_{dioL}$ ,这两个限值在直流保护程序中整定。

$U_{dio}$  限制在以下电压范围内起作用。

$$\textcircled{1} U_{dioG} \leq U_{dio} \leq U_{dioL}$$

当  $U_{dio}$  大于  $U_{dioG}$  但小于  $U_{dioL}$  时,  $U_{dio}$  限制闭锁任何会增大换流变压器阀侧电压的分接头动作指令。

$$\textcircled{2} U_{dio} > U_{dioL}$$

当  $U_{dio}$  大于  $U_{dioL}$  时,  $U_{dio}$  限制发出降低换流变压器阀侧电压的分接头指令。

其中,  $U_{dioG}$  为换流变压器分接头控制中能够发出增大  $U_{dio}$  指令的上限。为了避免分接头的振荡,例如紧跟着下调  $U_{dio}$  的指令又发出一个上调  $U_{dio}$  的指令,  $U_{dioL}$  应选的足够高。

在所有控制模式,包括手动模式下,  $U_{dio}$  限制功能都被投入,它在分接头控制中具有最高的优先级。

#### (6) 同步控制

当换流变压器的分接头位置不一致时,同步控制功能可以自动在分接头之间进行同步。同步控制功能仅在自动模式下投入。

同步控制功能力图同步换流变压器的分接头,如果同步不成功,将发出一个报警信号,并禁止其他自动控制功能。

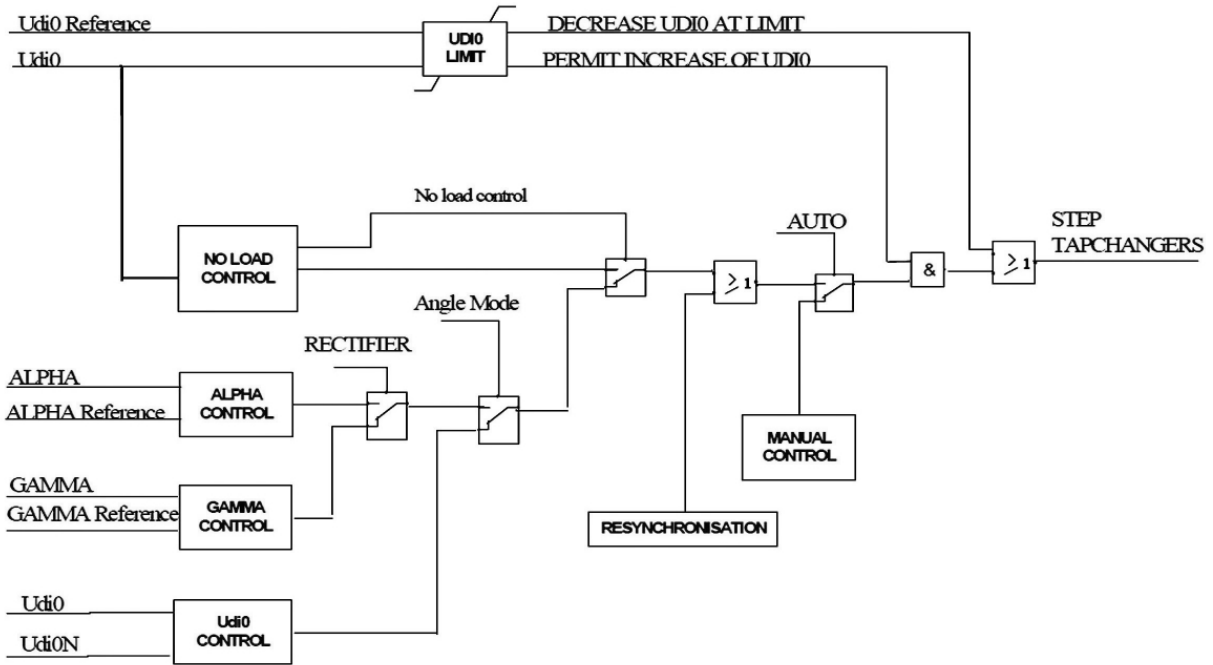


图 1 TCC 功能概况图

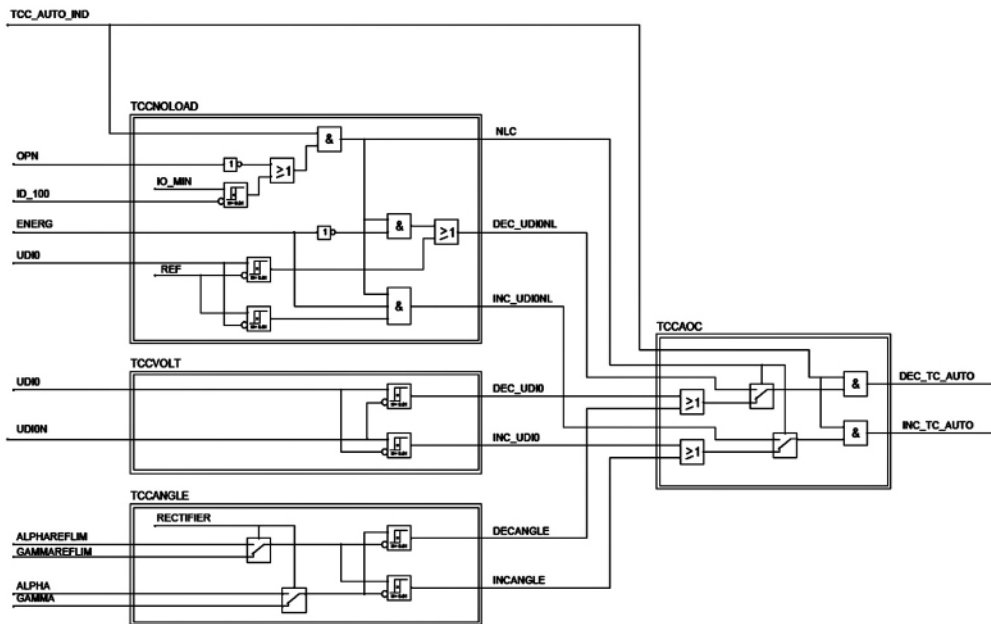


图 2 分接头自动控制逻辑框图

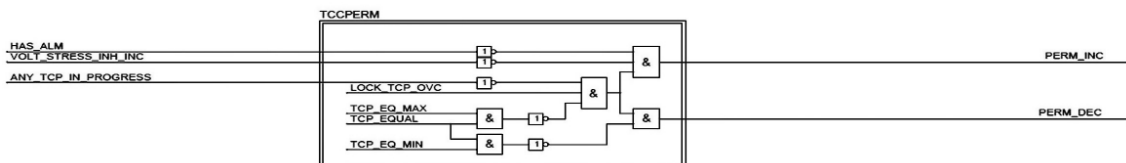


图 3 分接头允许动作逻辑框图

在手动模式下,如果选择了调节单个换流变压器分接头的控制方式,在返回自动模式前换流变压器分接头必须被手动同步。

## 2 软件逻辑分析

### 2.1 功能配置

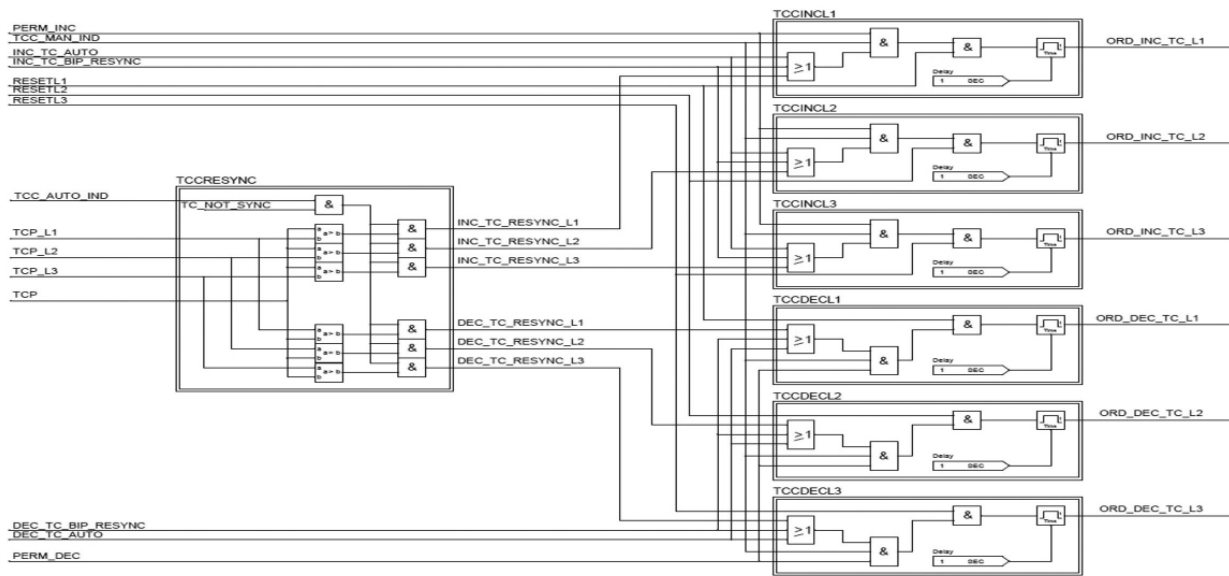


图 4 分接头同步以及最终动作指令逻辑框图

分接头控制的功能概况图如图 1 所示。

控制模式可在自动和手动模式下进行切换。在自动模式时,控制方式可以在角度控制和电压控制之间手动选择切换;在分接头不同步时自动进行分接头的同步。当  $U_{dio}$  超出要求的限值时,立刻调节分接头以降低  $U_{dio}$ ,当该控制发出的指令与正常情况下分接头控制发出的指令矛盾时,优先执行该控制发出的指令。

## 2.2 功能描述

### 2.2.1 自动模式下各种控制方式及其协调选择

空载控制只在直流系统未运行或直流电流不大于允许的最小运行电流时才起作用。在空载控制下,比较  $U_{dio}$  和其参考值,差值大于死区范围就产生增或减  $U_{dio}$  的指令。

角度控制分别在整流侧和逆变侧比较  $\alpha$ 、 $\gamma$  角和其参考值,如果差值大于死区范围就产生增/减角度的指令。

电压控制比较  $U_{dio}$  和其额定值,如果差值大于死区范围就产生增/减  $U_{dio}$  的指令。

协调选择功能根据该侧的运行方式决定最终选择哪个控制功能产生的动作指令作为增/减分接头的指令<sup>[4]</sup>。

以上功能的逻辑实现框图如图 2。

### 2.2.2 分接头允许动作

在一些情况下,对有分接头动作指令时该情况下是否允许动作进行判断。当分接头挡位等于最大值时,禁止分接头的上升;当分接头挡位等于最小值时,禁止分接头的下降。

当设备承受的应力过大或直流电流过大时,禁止分接头的动作。

该功能的逻辑实现框图如图 3。

### 2.2.3 分接头的同步以及最终动作指令的产生

当某相分接头挡位与挡位平均值不同时就要进行分接头的同步。如果同步不成功,将发出一个报警信号,并禁止其他自动控制功能。

自动模式下各控制功能产生的分接头动作指令或者人工模式下的动作指令经过判断如果是允许被执行的就产生最终的动作指令。

该功能的逻辑实现框图如图 4。

## 3 结 语

直流输电系统换流变压器有载分接头控制有定电压控制和定角度控制两类。定电压控制,只需检测换流变压器二次侧电压,再经过公式换算,求得的值与整定值进行比较并根据差值决定动作,所以控制较为简单,而且分接头动作不太频繁,有利于延长分接头控制机构的寿命。但由于要保持换流变压器二次侧电压恒定,所以不管输送功率和直流电压如何变化,这一值都不变,从而导致换流器控制角波动范围较大,尤其是在较小功率或降压运行时,换流器将运行在较大的触发角  $\alpha$  和熄弧角  $r$ ,这样会导致以下不利影响:①换流器运行不经济,吸收无功多;②阀和直流开关场设备承受的电气应力增大,有可能因疲劳而影响寿命,尤其在降压运行时,更加明显;③阀阻尼回路损耗大;④交、直流

谐波分量增大,交直流滤波器应力大,损耗大;⑤在所有低于额定功率的工况,由于换流变压器二次侧电压选得高,降低了设备的绝缘裕量。定角度控制,通过调整分接头位置来维持触发电角  $\alpha$  或关断角  $r$  在指定范围内,使换流器在各种运行工况下保持较高的功率因数,也就是在输送相同功率的情况下,换流器吸收的无功功率较少,但同时分接头动作次数比较频繁,缩短分接头的检修周期。相比较而言,定角度控制除增加一定的维护费用外,其他方面明显优于定电压控制,因此正常控制模式时,推荐采用定角度控制。

### 参考文献

[1] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

出版社, 2004.

[2] 曹继丰. 高压直流输电现场实用技术问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.

[3] 2008 浙大直流组. 直流输电[M]. 北京: 电力工业出版社, 1982.

[4] 中国南方电网公司. 直流输电技术研究[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

作者简介:

刘洋(1983),男,工学、理学双学士,工程师,主要从事高压直流输电系统的运行、维护及课件开发工作。

(收稿日期:2012-01-09)

[1] 赵晓君. 高压直流输电工程技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.

(上接第36页)

所研究的问题,同时 HSPPSO 有效地解决了 PSO 算法易于早熟的缺点,为电力系统最优减载提供了新的参考。

### 参考文献

[1] 刘斌,陈磊,闵勇. 考虑暂态电压稳定的低压减载地点选择[J]. 电力系统自动化, 2008, 32(5): 11-14.

[2] TUAN T Q, FANDINO J. Emergency Load Shedding to Avoid Risks of Voltage Instability Using Indicators [J]. IEEE Trans on Power Systems, 1994, 9(1): 341-351.

[3] 马平,蔡兴国,于继来,等. 基于最小不匹配函数的低压减载算法研究[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(1): 27-31.

[4] 李碧君,徐泰山,周霞,等. 低压减载参数优化整定中暂态电压安全性的考虑[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(5): 6-8.

[5] Tso S K, Zhu T X, Zeng Q Y, et al. Evaluation of Load Shedding to Prevent Dynamic Voltage Instability Based on Extended fuzzy reasoning [J]. IEE Proc. Gener. Transm. Distrib., 1997, 144(2): 81-86.

[6] 戴剑锋,朱凌志,周双喜,等. 基于风险的低压减载策略问题研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(19): 18-22.

[7] 吕林,罗绮,刘俊勇,等. 一种基于多种群分层的粒子群优化算法[J]. 四川大学学报: 工程科学版, 2008, 40(5): 171-176.

[8] 米增强,田建设,刘力丰. 低压减载对电压稳定作用机理的探讨[J]. 华北电力大学学报, 1999, 26(1): 31-36.

[9] Kennedy J, Eberhart R. Particle Swarm Optimization [C]. Proceedings of IEEE Conference on Neural Networks, Perth, Australia, 1995(4): 1942-1948.

[10] Shi Y, Eberhart R. A Modified Swarm Optimizer [C]. IEEE International Conference of Evolutionary Computation, Anchorage, Alaska, USA, 1998.

[11] Clerc M, Kennedy J. The Particle Swarm: Explosion, Stability, and Convergence in Multi-dimension Complex space [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2002, 16(1): 58-73.

[12] Eberhart R, Shi Y. Particle Swarm Optimization: development, Applications and Resource [C]. IEEE Int Conf on Evolutionary Computation, Seoul, Korea, 2001: 81-86.

作者简介:

刘丽(1975),女,本科,电力工程师,从事电力系统生产技术、人力资源管理。

(收稿日期:2011-11-29)