

直流输电工程双极协调功能研究

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:详细分析了超高压直流输电工程中双极协调功能的应用,针对双极出现的电流限制、低压设备过流等工况,从逻辑与工程应用的层面上分析了功率转移、电流平衡等功能的实现与作用过程。对现场调试和系统运行时的保护配置具有实际指导意义。

关键词:极间功率转移; 电流平衡; 双极平衡

Abstract: The application of bipolar coordination function in HVDC transmission project is analyzed in detail. Aiming at the bipolar current limit and low-voltage equipment overcurrent, the implementation and active process of power transfer and current balance are analyzed as viewed from the logic and engineering application, which has an actual guiding significance to the on-site commissioning and protection configuration when the system is in operation.

Key words: inter-polar power transfer; current balance; bipolar balance

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2013)05-0079-04

0 引言

高压直流输电系统均由正极和负极组成,正常情况下,双极运行于平衡状态下,即两极传输的功率相同。但是在若干特殊情况下,双极会进入不平衡状态,此时若出现功率改变、波动,就需要通过双极的功率、电流协调功能,实现功率的改变等。

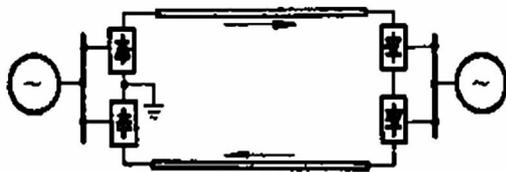


图1 双极直流输电系统

在现有运行的直流工程中,双极协调功能由极间功率转移以及双极平衡控制来实现。

1 双极平衡状态

高压直流系统一般都运行于双极电流相等的状态,保持流过接地极的电流为0。降低流过大地的电流,防止对送受端交流系统的变压器产生直流偏

磁影响,同时也防止对于大地、海水的电解效果。

在实际工程应用中,一般情况下直流系统均运行于功率控制模式下。由运行人员输入指定的功率参考值,每一极的控制系统分别测量当前的双极电压,通过P/U功能计算出控制电流。在测量系统正常的情况下,每一极控制系统测量到的双极电压是相同的。这样就能保证计算出的双极电流参考值完全相同。P/U功能如下式所示。

$$I_{ref} = \frac{P_{ref}}{U_{op} + U}$$

式中 I_{ref} 为电流参考值; P_{ref} 为系统功率参考值; U_{op} 为对极电压; U 为本极电压。

当由于交流系统波动等原因,由稳定控制产生了功率调制量时,其处理过程与运行人员输入功率参考值方法相同,最终得到稳定控制的电流参考值,与运行人员指定的电流参考值累加,双极间的电流参考值是保持相同的。实现方式如下。

$$I_{ref} = \frac{P_{refDC} + P_{refAC}}{U + U_{op}}$$

式中, P_{refAC} 为稳定控制功能产生的功率调制量; P_{refDC} 为运行人员输入功率参考值。

但是在一些情况下,直流系统会进入双极不平

平衡状态运行,主要有以下几种情况。

1.1 功率传输模式区别导致双极不平衡

当直流系统处于电流控制模式下时,极电流即由运行人员直接指定。即

$$I_{ref} = I_{manual}$$

双极运行时,若有一极工作于电流控制模式下,稳定控制功能的功率调制量仅由处于功率控制模式下的极来完成。功率控制模式下极电流参考值的计算方法为

$$I_{ref} = \frac{P_{refDC} + P_{refAC} - U_{op} \times I_{manual}}{U + U_{op}}$$

当两极电流参考值不同时,两极即进入了不平衡的运行状态。

1.2 极功率受限导致双极不平衡

实际运行中,直流极能输送的功率值受限于其相关的设备状态,主要包括以下内容。

- 1) 换流阀冷却系统状态,包括水温、冷却塔容量等。
- 2) 交流滤波器能提供的无功情况。
- 3) 由于交流系统波动影响,安全稳定控制系统对于直流系统的功率限制。
- 4) 换流变压器、平波电抗器的冷却系统状态。

当由于上述原因,导致直流某一极处于功率限制状态,则当双极功率超过此极功率限制值的两倍时,双极即会进入不平衡运行状态。

1.3 降压运行导致双极不平衡

一般来说,直流工程都存在几个电压等级,当直流某一极进入降压运行模式时,会失去过负荷能力。此时,由于运行工况的要求,直流系统需要进行过负荷传输,则双极必然会进入不平衡运行状态。

双极不平衡运行状态是可以持续运行的状态,但是会对两侧的交流系统造成一定程度的影响。同时,由于流过接地极的电流较高,必然对于直流系统的低电压等级设备提出较高的要求。

双极不平衡运行状态是通过极间功率转移实现的,而监视双极运行状态,使双极保护平衡运行状态是由双极电流平衡控制实现的。

2 极间功率转移功能

极间功率转移功能是建立在区分直流极的功率传输模式、降压运行状态、功率受限情况的基础之上。同时,在功率受限等情况消失时,极间功率转移通过指定的变化率,迅速恢复双极平衡运行。

极间功率转移功能在电流控制流程位置如图2所示。

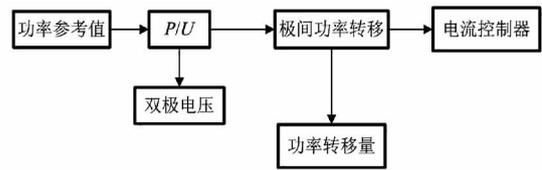


图2 极间功率转移流程

极间功率转移功能将P/U模块的电流参考值经处理、经电流限制模块,送至电流控制器,同时,将功率调制量以模拟量方式送至对极控制系统。

极间功率转移功能的核心实现模块为等变发生器,通过等变发生器,可以使功率平稳上升,同时在功能被闭锁的情况下,其输出可以无缝切换,防止出现功率阶跃。

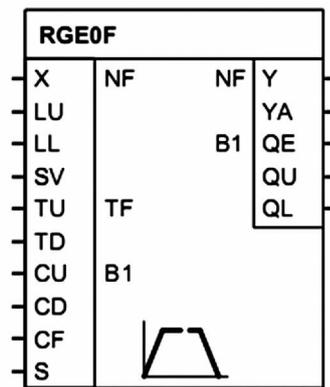


图3 等变发生器

TU/TD为等变上升/下降时间,其决定了功率转移的等变速度, CU、CD、CF决定了等变发生器的工作模式,在极间功率转移功能中,工作于向0等变模式。

S为置位管脚,在S=1的情况下,等变发生器的输出Y=SV。

当仅本极为电流模式,等变发生器置数输出SV = I_{refDC} - I_{refManual};本极未解锁时,等变发生器置数为

0。当本极变为功率模式或者对极变为电流模式时，等变发生器开始由SV向0等变。

极间功率转移功能有两个输出，分为发送至对极的转移量和发送至电流控制环节的控制量。其中，为了适应两极可能存在的电压等级不同的情况，极间转移量是以功率的形式传递的。

2.1 发送至对极的功率转移量

发送至对极的功率转移量计算方法如下。

2.1.1 本极解锁且处于电流模式

传送到对极的功率转移量为

$$P = [(I_{refDC} - I_{refManual}) + (I_{refAC} + I_{refManual} - I_{max})] \times U$$

式中 I_{refAC} 为稳定功能的电流调制量； I_{max} 为极电流限制值； $I_{refManual}$ 为电流模式电流参考值； $I_{refAC} + I_{refManual} - I_{max}$ 下限为0。

2.1.2 本极解锁且处于功率模式

$$P = [I_{Ramp} + (I_{refAC} + I_{refManual} - I_{Ramp} - I_{max})] \times U$$

式中 I_{Ramp} 为本极等变发生器输出； $I_{refAC} + I_{refManual} - I_{Ramp} - I_{max}$ 下限为0。

在本极为功率模式下，等变发生器被置数为0。在未达到本极最大电流时，发送至对极的功率为0。

2.1.3 功率传输模式转换

当处于电流模式时，等变发生器 $Y = SV = I_{refDC} - I_{refManual}$ 。当由电流模式转换为功率模式时，Y由SV按照指定的等变率变为0；反之则动作方式相反。

2.2 发送至电流控制环节的控制量

2.2.1 本极为功率控制模式

处于功率控制模式下，等变发生器输出为0，送至电流控制环节的控制量为

$$I_{ref} = \Delta P_{op} / U_{actual} + I_{refAC} + I_{refDC}$$

式中 ΔP_{op} 为对极功率转移量； U_{actual} 为本极实际直流电压。

2.2.2 本极为电流模式

如果本极工作于电流模式，则稳定控制功能的输出为0，即 $I_{refAC} = 0$ 。

$$I_{ref} = I_{refAC} + I_{refManual} = I_{refManual}$$

2.2.3 本极由电流模式转化为功率模式

由电流模式转化为功率模式，等变发生器输出发生等变，由 $I_{refDC} - I_{refManual}$ 等变至0，以实现功率模式转换下功率的无缝切换。

$$I_{ref} = \Delta P_{op} / U_{actual} + I_{refAC} + I_{refDC} - I_{ramp}$$

由于极间功率转移功能的输出范围较大，因此在硬件设计上，其模拟量传输的范围也较大，对传统控制系统的数-模转换器、变送器的精确度范围有较大的要求，对于元件选择也提出了较严格的要求。

由于极间功率转移功能会直接导致双极处于不平衡状态，因此在极间功率转移功能起作用后，会直接闭锁电流平衡控制功能。

3 电流平衡控制

电流平衡控制是为了平衡两极实际电流，尽可能地使流过接地极电流最小。其控制功能分为两部分，可称之为控制平衡与保护平衡。

电流平衡控制采用采样反馈的控制方式，通过对接地极电流采样，判断是否出现了双极不平衡运行状态，反馈至双极电流控制器，最终实现接地极电流为最低，双极进入平衡状态。

传统的直流控制系统中，电流平衡功能的输出是通过硬接线的方式，以模拟量的形式传递给对极的。由于控制平衡与保护平衡的输出量范围存在着很大的差别，所在传统控制系统一般都经过软件折算，使二者输出的模拟量范围接近相同。

3.1 控制平衡

控制平衡为直流系统正常运行时，用于补偿控制系统电流参考值的采样差别而出现的误差而设置的，其输出的范围约为系统额定值，此功能仅在直流系统整流站的一个极中有效，以防止出现双极采样系统控制回馈。

控制平衡有两个输出，分别为送至对极的电流调制量和送至本极电流控制器的电流控制量。

极间电流调制量计算为

$$\text{主极: } I_{CBC} = \int IdE \times 25 + 100\%$$

$$\text{从极: } I_{CBC} = 100\%$$

电流控制量计算为

$$\text{主极: } I = \int IdE$$

$$\text{从极: } I = (I_{CBCop} - 100\%) \times 4\%$$

上式中 I_{CBC} 为本极控制平衡计算所得电流调制量； I_{CBCop} 为对极控制平衡计算所得电流调制量。

经折算后，控制平衡的输出至对极控制系统的范围为50%~150%，无输出时，送至对极极控系统的值为100%。

3.2 保护平衡

保护平衡为直流系统低压设备出现异常,由直流保护系统发出“平衡双极请求”,强行使双极进入平衡运行状态,其输出范围为±100%。保护平衡起效时,控制平衡被退出。

保护平衡的折算方式如下。

极间电流调制量为

$$\text{主极: } I_{CBC} = \int IdE \times 50\% + 100\%$$

$$\text{从极: } I_{CBC} = -100\%$$

电流控制量计算为

$$\text{主极: } I = \int IdE$$

$$\text{从极: } I = (I_{CBCop} - 100\%) \times 2$$

经折算后,双极间电流调制量范围为-45%~-155%,无输出时双极间传送的值为-100%。

可见,经过折算后,控制平衡与保护平衡的电流调制量输出幅值均为50%~150%左右,并且在没有输出的情况下,控制系统均输出为100%。这样的设置对于变流器选型有非常大的帮助。

当一极处于电流传输模式时,控制平衡功能取消,保护平衡功能不受影响。

4 结 语

直流输电系统的双极协调控制功能集中体现了

(上接第48页)

3 结 论

总结了南京南瑞继保电气有限公司的注入式定子接地保护在现场的调试方法以及应用情况,给出了试验结果。试验结果表明:经过补偿后注入式定子接地保护能够准确测量一定阻值范围内的接地过渡电阻,相对误差可控制在±5%之内,完全满足工程需要。同时针对“基波+3次谐波”试验过程中出现的机端零序电压是中性点零序电压1.25的现象进行了分析,得出结论:由于接地变压器内阻造成的这种现象对发电机定子接地保护并无影响,仍可构成100%定子接地保护。

参考文献

[1] 王李东,陈伟,董钟明.三峡右岸电站国产定子接地保

直流系统的送电灵活性,针对两极可能存在的各种工况,均完整、灵活地使功率平稳、合理的输送。同时有效控制了低压设备的过流、过压等情况。但由于目前传统直流输电工程中设备平台老化的情况,受限于变流器等模拟设备,双极平衡功能的稳定性和精确度尚需进一步提高。

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.
[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] Siemens,DC Station Control: System Information Manual (Tianshengqiao Station) [R]. Germany Siemens,1999.
[5] Siemens,AC filter and DC filter study report: performance and rating (Tianshengqiao Station) [R]. Germany, Siemens,1999.

作者简介:

刘洋(1983),男,工程师,双学士,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:2013-03-11)

护的应用[J].水电站机电技术,2008,31(6):74-77.

[2] 张琦雪,席康庆,陈佳胜,等.大型发电机注入式定子接地保护的现场应用及分析[J].电力系统自动化,2007,31(11):103-107.
[3] 徐鹏.外加电源式定子接地保护在龙滩水电站的应用[J].广西电力,2009(1):14-17.

作者简介:

蔡显岗(1987),男,本科,助理工程师,从事发电厂继电保护工作;

康娣(1986),女,本科,助理工程师,从事发电厂自动化系统工作。

季杰(1987),男,本科,助理工程师,从事发电厂继电保护工作;

黄建琼(1984),女,硕士,工程师,从事发电厂监控系统工作。

(收稿日期:2013-06-11)