

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2014 年 4 月 3 日 (03.04.2014)



(10) 国际公布号
WO 2014/048032 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02P 13/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2012/086031
- (22) 国际申请日: 2012 年 12 月 6 日 (06.12.2012)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201210363393.3 2012 年 9 月 26 日 (26.09.2012) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 辽宁省电力有限公司大连供电公司 (DALIAN POWER SUPPLY COMPANY LIAONING ELECTRIC) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。中电普瑞电力工程有限公司 (CHINA-EPRI ELECTRIC POWER ENGINEERING CO., LTD) [CN/CN]; 中国北京市昌平区南邵镇南中路 16 号, Beijing 102200 (CN)。国网智能电网研究院 (STATE GRID SMATR GRID RESEARCH INSTITUTE) [CN/CN]; 中国北京市昌平区小汤山镇大东流村顺

沙路 270 号, Beijing 102211 (CN)。国家电网公司 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) [CN/CN]; 中国北京市西城区西长安街 86 号, Beijing 100031 (CN)。

- (72) 发明人; 及
(71) 申请人 (仅对美国): 燕福龙 (YAN, Fulong) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。于晓辉 (YU, Xiaohui) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。

- (72) 发明人; 及
(71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): 王芝茗 (WANG, Zhiming) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。

- (72) 发明人; 及
(71) 申请人 (仅对美国): 葛维春 (GE, Weichun) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。宋文峰 (SONG, Wenfeng) [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。王城钢 (WANG, Chenggang) [CN/CN]; 中国

[见续页]

(54) Title: ADJUSTMENT METHOD AND SYSTEM FOR FLEXIBLE DIRECT CURRENT POWER TRANSMISSION COUPLING TRANSFORMER ON-LOAD TAP CHANGER

(54) 发明名称: 柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法及系统

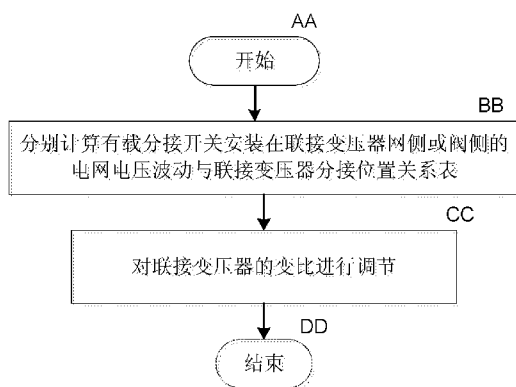


图 6 / Fig. 6

AA START
BB SEPARATELY CALCULATE A RELATIONSHIP TABLE FOR THE GRID VOLTAGE FLUCTUATION AND THE COUPLING TRANSFORMER TAP POSITION FOR THE ON-LOAD TAP CHANGER INSTALLED ON THE NETWORK SIDE OR THE VALVE SIDE OF THE COUPLING TRANSFORMER
CC ADJUST THE COUPLING TRANSFORMER RATIO
DD END

(57) Abstract: An adjustment method and system for a flexible direct current power transmission coupling transformer on-load tap changer. Said adjustment method adjusts the coupling transformer transformation ratio of an on-load tap changer installed on the network side or the valve side of a coupling transformer, and includes the following steps: separately calculating a relationship table for the grid voltage fluctuation and the coupling transformer tap position of the on-load tap changer installed on the network side or the valve side of the coupling transformer; adjusting the coupling transformer transformation ratio. Said adjustment system comprises a coupling transformer, an alternating current system, and a voltage source converter; the coupling transformer is connected between the alternating current system and the voltage source converter. The present adjustment method and system can, in the presence of grid voltage fluctuation, ensure that the ratio of the coupling transformer valve-side voltage to the coupling transformer direct current voltage remains unchanged, thus maximally utilizing the reactive power output capacity of the converter and ensuring that the modulation ratio of the converter is within its optimal range.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2014/048032 A1



辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **李春平 (LI, Chunping)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **夏方 (XIA, Fang)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **阴晓光 (YIN, Xiaoguang)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **季兰兰 (JI, Lanlan)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **孔明 (KONG, Ming)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **李泓志 (LI, Hongzhi)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。 **杨越 (YANG, Yue)** [CN/CN]; 中国辽宁省大连市中山路 102 号, Liaoning 116001 (CN)。

(74) **代理人: 北京安博达知识产权代理有限公司 (AMBOYNA INTELLECTUAL PROPERTY AGENT LTD.)**; 中国北京市海淀区大钟寺 13 号院 1 号楼华杰大厦 B215 号, Beijing 100098 (CN)。

(81) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB,

BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) **指定国** (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法及系统。该调节方法对联接变压器网侧或阀侧安装有载分接开关的联接变压器变比进行调节, 包括下述步骤: 分别计算有载分接开关安装在联接变压器网侧或阀侧的电网电压波动与联接变压器分接位置关系表; 对联接变压器的变比进行调节。该调节系统包括联接变压器、交流系统、电压源换流器; 联接变压器连接在交流系统和电压源换流器之间。该调节方法及系统在电网电压波动的情况下保证联接变压器阀侧电压与直流电压的比值不变, 最大利用换流器的无功输出能力, 并保证换流器的调制比在最优范围内。

柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法及系统

技术领域

本发明涉及柔性直流输电（VSC-HVDC）技术领域，具体涉及一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法及系统。

背景技术

柔性直流输电技术灵活的应用性能，使其在城市电网互联、新能源并网以及无源负荷供电等领域有着极其广阔的应用前景。联接变压器是柔性直流输电系统的核心部件之一，联接变压器的参数设计直接影响到系统的运行性能。在已有的文献中，对柔性直流联结变压器的参数设计多集中于其额定变比，未见变压器分接开关设计与调节的相关报道。王姗姗的博士学位论文《模块化多电平 VSC-HVDC 系统主电路参数选择的理论和方法》中只对联接变压器阀侧电压额定值的选取进行了研究，没有考虑电网电压波动和换流器调制度比范围对换流器运行特性的影响。而常规直流输电中，换流变压器有载分接头调节主要有两种调节方式：①保持换流变压器阀侧空载电压恒定；②保持控制角（触发角或关断角）于一定范围。但是由于柔性直流输电技术的工作原理不同于常规直流，在变压器有载分接开关的设计上需要考虑的不是控制角（触发角或关断角），而是柔性直流换流器的调制比，因此在设计方法和调节方法上有很大的差异。

基于电压源换流器的柔性直流输电技术（VSC-HVDC）由于其卓越的可控性和灵活性，近年来发展迅速，工程应用不断增多。联接变压器是柔性直流输电系统中换流器与交流系统之间能量交换的纽带，是柔性直流输电系统的核心部件。联接变压器的参数影响着换流站的运行特性，特别是联接变压器的阀侧电压与换流电抗配合可以获得期望的功率运行区间，同时降低设备的制造成本；联接变压器阀侧电压与换流器的调制比相协调，可使换流器调制比运行于合适的范围，减少输出电压和电流的谐波量。

联接变压器在柔性直流输电系统中实现的主要功能有：

- 1、在交流系统和电压源换流器间提供换流电抗的作用；
- 2、将交流系统的电压进行变换，使电压源换流器工作在最佳的电压范围之内以减少输出电压和电流的谐波量，进而减小滤波装置的容量，甚至省去滤波装置；

- 3、将不同电压等级的换流器进行连接；
- 4、阻止零序电流在交流系统和换流站之间流动。

柔性直流输电基波等效原理图如图 1，根据图 1 所示，当不计联接变压器和相电抗器的电阻时，联接变压器阀侧电压 U_v 与换流器输出电压 U_c 的基频分量共同作用于联接变压器和相电抗器的等效电抗 X ，并决定了电压源换流器与交流系统间交换的有功功率 P 和无功功率 Q 分别为式 (1) 和式 (2)：

$$P = \frac{U_v U_c}{X} \sin \delta \quad (1);$$

$$Q = \frac{U_v (U_c \cos \delta - U_v)}{X} \quad (2);$$

式中， $U_c = M \mu \frac{U_{dc}}{\sqrt{2}}$ ， M 为调制比， μ 为直流电压利用率。

由式 (1) 和式 (2) 可知，联接变压器阀侧电压 U_v 和调制比 M 影响换流器传输的有功和无功功率，而在柔性直流输电工程中，联接变压器网侧电压的波动是客观存在的，若忽略其影响，则整个输电系统在运行中可能出现无功出力受限或换流器电流超出额定值运行的状况，这直接影响了电压源换流器的运行性能和经济性。同时，还要保证换流器调制比运行于合适的范围内以获得较好的波形质量。这些问题可以通过动态调节变压器的有载分接开关来解决，相应的，联接变压器有载分接开关的调节方法就成为柔性直流输电工程中需要解决的重要技术问题。

发明内容

针对现有技术的不足，本发明提供一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法及系统，本发明保证联接变压器阀侧空载电压与直流电压的比值不随网侧电压波动改变，同时能够优化换流器调制比。

本发明的目的是采用下述技术方案实现的：

一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法，其改进之处在于，所述调节方法对联接变压器网侧或阀侧安装有载分接开关的联接变压器变比进行调节；所述方法包括下述步骤：

(1) 分别计算有载分接开关安装在联接变压器网侧或阀侧的电网电压波动与联接变压器分接位置关系表；

(2) 对联接变压器的变比进行调节。

其中,所述步骤(1)中,当有载分接开关安装在联接变压器网侧时,计算电网电压波动与联接变压器分接位置关系表包括下述步骤:

步骤 A1: 确定联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围;

步骤 B1: 确定分接开关的调压范围;

步骤 C1: 确定有载分接开关的分接档距;

步骤 D1: 计算各分接位置的联接变压器变比;

其中,所述步骤 A1 中,所述联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围由电网实际情况决定,或为 $\pm 10\%$ 。

其中,所述步骤 B1 中,根据联接变压器的网侧电压稳态和暂态波动范围确定分接开关的调压范围,所述调压范围等于步骤 A1 联接变压器网侧电压的波动范围。

其中,所述步骤 C1 中,根据柔性直流输电系统对换流器无功输出能力的调节精度要求确定有载分接开关的档距。

其中,所述步骤 D1 中,计算各分接位置的联接变压器变比,得出电网一次侧电压与联接变压器变比的分接位置关系表,即“一次侧电压—变比”分接位置关系表。

其中,所述步骤(1)中,当有载分接开关安装在联接变压器阀侧时,计算电网电压波动与联接变压器分接位置关系表包括下述步骤:

步骤 A2: 确定联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围;

步骤 B2: 初步确定分接开关的调压范围;

步骤 C2: 计算所述有载分接开关在最大和最小分接处的联接变压器变比;

步骤 D2: 将步骤 C2 中计算得到的最大最小联接变压器变比 c_2 与步骤 D1 中得到的最大最小联接变压器变比 d_1 进行比较;

步骤 E2: 确定阀侧有载分接开关的调压范围;

步骤 F2: 确定分接开关的档距;

步骤 G2: 计算各分接位置的联接变压器变比。

其中,所述步骤 B2 中,根据联接变压器的网侧电压波动范围确定分接开关的调压范围。

其中,所述步骤 D2 中,若 c_2 的范围包含 d_1 的范围,则取 c_2 的范围作为分接开关的设计范围;若 d_1 的范围包含 c_2 的范围,则取 d_1 的变比范围作为目标联接变压器变比范围。

其中,所述步骤 E2 中,计算目标变比和额定网侧电压条件下的联接变压器阀侧电压,所得联接变压器阀侧电压范围即为阀侧有载分接开关的调压范围。

其中,所述步骤 F2 中,根据柔性直流输电系统对换流器无功输出能力的调节精度要求确定有载分接开关的档距。

其中, 所述步骤 G2 中, 计算各分接位置的联接变压器变比, 得出电网二次侧电压与联接变压器变比的分接位置关系表, 即“二次侧电压—变比”分接位置关系表。

其中, 所述步骤 (2) 中, 对联接变压器的变比进行调节包括以下三种调节方式:

- A、电网电压波动时的有载分接开关调节方法;
- B、优化调制比运行范围的有载分接开关调节方法;
- C、柔性直流输电系统降压运行时的有载分接开关调节方法。

其中, 所述 A 包括: 实时监测电网电压, 当电网电压波动至分接位置关系表中额定位置外的其他值并持续 3-7s 时, 在“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表查找最接近的联接变压器变比, 并通过有载分接开关的控制系统将联接变压器有载分接开关调节至对应变比。

其中, 所述 B 包括下述步骤:

I、采用反馈的方法, 监测换流器的调制比 M ;

II、当调制比 M 指令值低于设计阈值 (如 0.7) 且持续时间大于 5s 时, 根据“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表将有载分接开关向变比增加的方向调节一档, 继续监测调制比 M , 若调制比 M 仍低于 0.7, 则继续重复向变比增加的方向调节一档, 直至调制比 M 落在最优范围 (0.7~0.95) 内;

III、若调制比 M 指令值高于设计阈值 (如 0.95) 且持续时间大于 5s 时, 则根据“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表将有载分接开关向变比减小的方向调节一档, 继续监测调制比 M , 若 M 仍高于设计阈值 0.95, 则继续重复向变比减小的方向调节一档, 直至调制比 M 落在最优范围 (0.7~0.95) 内。

其中, 所述步骤 C 包括: 当柔性直流输电系统降压运行时, 如以 kU_{dc} 运行时, 联接变压器阀侧电压相应调节为额定电压的 k 倍, 即 kU_v ; 在“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表中查找最接近的变比, 并通过有载分接开关的控制系统将变压器分接开关调节至对应变比; 所述 $k < 1$ 。

本发明基于另一目的提供的一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节系统, 其改进之处在于, 所述调节系统包括联接变压器、交流系统、电压源换流器; 所述联接变压器连接在所述交流系统和电压源换流器之间。

其中, 在所述联接变压器上安装有有载分接开关; 所述有载分接开关用于调节换流器运行于最优的调制比范围内。

其中, 所述联接变压器用于:

- a、在交流系统和电压源换流器间提供换流电抗；
- b、将交流系统的电压进行变换，使电压源换流器工作在最优的电压范围之内；
- c、将不同电压等级的电压源换流器进行连接；
- d、阻止零序电流在交流系统和电压源换流器之间流动。

与现有技术比，本发明达到的有益效果是：

- 1、在电网电压波动的情况下保证联接变压器阀侧电压与直流电压的比值不变，从而最大利用换流器的无功输出能力；
- 2、保证换流器的调制比运行在最优范围内，从而得到较优的输出电压电流波形；
- 3、利用现有的有载分接开关设备实现电压调节，技术成熟、成本可控；
- 4、有载分接开关可根据绝缘设计成本安装在联接变压器网侧或者阀侧；
- 5、在电网电压负向波动时保证换流器不过载运行，降低设备成本。

附图说明

- 图 1 是柔性直流输电基波等效原理图；
- 图 2 是本发明提供的为联接变压器在额定参数下的运行区间示意图；
- 图 3 是本发明提供的电网电压波动至原来的 1.1 倍时换流器的运行区间变化示意图；
- 图 4 是本发明提供的电网电压波动至原来的 0.9 倍时换流器的运行区间变化示意图；
- 图 5 是本发明提供的电网电压一次侧和二次侧电压与联接变压器变比分接位置关系表；
- 图 6 是本发明提供的柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法流程图。

具体实施方式

下面结合附图对本发明的具体实施方式作进一步的详细说明。

本发明提供的柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法及其系统，该方法包括两种调节方式，方式一：保持联接变压器阀侧空载电压与直流电压的比值恒定；方式二：保持换流器调制比在一定范围之内。

方式一主要用于交流电网本身的电压波动所引起的联接变压器阀侧空载电压与直流电压比值的变化。在根据系统运行要求设计好联接变压器阀侧额定电压与直流电压比值后，联接变压器的额定变比也就确定了。那么在系统电压为额定电压时，变压器的阀侧电压与直流电压比值即为设计值，从而能够得到期望的换流器功率运行区间。但是由于电网电压的波动及其他影响因素，该比值可能偏离设计值，从而无法得到期望的功率运行区间。如图 2 所示，

为联接变压器在额定参数下的运行区间，若没有加装有载分接开关，当电网电压波动至原来的 1.1 倍时，阀侧电压与直流电压的比值也相应变化为原来的 1.1 倍，设为 $1.1U_v$ ，此时，换流器的运行区间变化为图 3，其无功输出能力明显减小；相反，若电网电压波动至原来的 0.9 倍，阀侧电压与直流电压之比也相应变化为原来的 0.9 倍，即 $0.9U_v$ ，如图 4 所示，此时，虽然换流器的无功输出能力增大了，但是换流阀的电流应力超出了额定值，对换流系统也是不利的。若加装了有载分接开关并使用所述调节方法，在上述两种情况下均可保持换流器的运行区间为图 2。

方式二保持换流器的调制比 M 运行于最优的范围之内。若调制比过低，会使换流器输出的电压电流谐波量增加，影响波形质量；若调制比太高，换流器无法达到，从而影响换流器的实际无功输出。因此，在实际运行中，应保证换流器运行于合适的调制比范围内。通过动态调节联接变压器的有载分接开关从而改变联接变压器阀侧电压与直流电压的比值，在达到无功输出要求的同时保持调制比在最优范围内。

针对柔性直流输电系统中联接变压器网侧电压波动的实际情况和调制比的运行范围要求，提出了在联接变压器网侧或阀侧加装有载分接开关进行调节，从而保证联接变压器阀侧电压与直流电压比值保持不变和优化调制比运行范围的解决方法，本发明提供的柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法流程如图 6 所示，该方法包括下述步骤：

(1) 分别计算有载分接开关安装在联接变压器网侧或阀侧的电网电压波动与联接变压器分接位置关系表；

若有载分接开关安装在联接变压器网侧，则：

步骤 A1：确定联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围；

步骤 B1：根据联接变压器的网侧电压波动范围确定分接开关的调压范围；

步骤 C1：根据系统对换流器无功输出能力的调节精度要求确定分接开关的档距；

步骤 D1：计算各分接位置的联接变压器变比，作出“一次侧电压—变比”对应关系表，即图 5 中的关系表 1。

若有载分接开关安装在联接变压器阀侧，则计算步骤如下：

步骤 A2：确定联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围；

步骤 B2：根据联接变压器的网侧电压波动范围初步确定分接开关的调压范围；

步骤 C2：计算分接开关在最大和最小分接处的变压器变比；

步骤 D2：将步骤 C2 中计算得到的最大最小变比范围 $c2$ 与步骤 D1 中得到的关系表 1 中的最大最小变比范围 $d1$ 进行比较，若 $c2$ 的范围覆盖 $d1$ 的范围，则取 $c2$ 的范围作为分接开

关的设计范围，若 $d1$ 的范围覆盖 $c2$ ，则取 $d1$ 的变比范围作为目标变比范围；

步骤 E2：计算目标变比和额定网侧电压条件下的联接变压器阀侧电压，所得联接变压器阀侧电压范围即为阀侧分接开关的调压范围。

步骤 F2：根据系统对换流器无功输出能力的调节精度的要求确定分接开关的档距；

步骤 G2：计算各分接位置的联接变压器变比，做出“二次侧电压—变比”对应关系表，即图 5 中的关系表 3。

(2) 对联接变压器的变比进行调节：

A、对电网电压波动时的分接开关进行调节：实时监测电网电压，当电网电压波动至分接位置关系表中额定位置外的其他值并持续 3-7s 时，在图 5 关系表 1 或者关系表 3 中查找最接近的变压器变比，并通过控制系统将变压器分接开关调节至对应变比。

B、对优化调制比运行范围的分接开关进行调节：采用反馈的方法，监测换流器的调制比 M ；当调制比 M 指令值低于设计阈值（如 0.7）且持续时间大于 5s 时，根据“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表，即根据图 5 关系表 1 或者关系表 3 将有载分接开关向变比增加的方向调节一档（调制比偏高时，向变比减小的方向调节；调制比偏低时，向变比增加的方向调节），继续监测调制比 M ，若调制比 M 仍低于 0.7，则继续重复向变比增加的方向调节一档，直至调制比 M 落在最优范围（0.7~0.95）内；若调制比 M 指令值高于设计阈值（如 0.95）且持续时间大于 5s 时，则根据“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表将有载分接开关向变比减小的方向调节一档，继续监测调制比 M ，若 M 仍高于设计阈值 0.95，则继续重复向变比减小的方向调节一档，直至调制比 M 落在最优范围（0.7~0.95）内。

C、对直流系统降压运行时的分接开关进行调节：当柔性直流输电系统降压运行，如以 kU_{dc} （ $k < 1$ ）运行时，联接变压器阀侧电压相应调节为额定电压的 k 倍，即 kU_v ，在图 5 关系表 1 或者关系表 3 中查找最接近的变比，并通过控制系统将联接变压器分接开关调节至对应变比。关系表 2 是计算关系表 3 的一个中间过程。

最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制，尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换，而未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换，其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

权 利 要 求

1、一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述调节方法对联接变压器网侧或阀侧安装有载分接开关的联接变压器变比进行调节；所述方法包括下述步骤：

(1) 分别计算有载分接开关安装在联接变压器网侧或阀侧的电网电压波动与联接变压器分接位置关系表；

(2) 对联接变压器的变比进行调节。

2、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤(1)中，当有载分接开关安装在联接变压器网侧时，计算电网电压波动与联接变压器分接位置关系表包括下述步骤：

步骤 A1：确定联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围；

步骤 B1：确定分接开关的调压范围；

步骤 C1：确定有载分接开关的分接档距；

步骤 D1：计算各分接位置的联接变压器变比；

3、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤 A1 中，所述联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围由电网实际工况决定，或为 $\pm 10\%$ 。

4、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤 B1 中，根据联接变压器的网侧电压稳态和暂态波动范围确定分接开关的调压范围，所述调压范围等于步骤 A1 联接变压器网侧电压的波动范围。

5、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤 C1 中，根据柔性直流输电系统对换流器无功输出能力的调节精度要求确定有载分接开关的档距。

6、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤 D1 中，计算各分接位置的联接变压器变比，得出电网一次侧电压与联接变压器变比的分接位置关系表，即“一次侧电压—变比”分接位置关系表。

7、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤(1)中，当有载分接开关安装在联接变压器阀侧时，计算电网电压波动与联接变压器分接位置关系表包括下述步骤：

步骤 A2：确定联接变压器网侧电压的稳态和暂态波动范围；

步骤 B2: 初步确定分接开关的调压范围;

步骤 C2: 计算所述有载分接开关在最大和最小分接处的联接变压器变比;

步骤 D2: 将步骤 C2 中计算得到的最大最小联接变压器变比 c_2 与步骤 D1 中得到的最大最小联接变压器变比 d_1 进行比较;

步骤 E2: 确定阀侧有载分接开关的调压范围;

步骤 F2: 确定分接开关的档距;

步骤 G2: 计算各分接位置的联接变压器变比。

8、如权利要求 7 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述步骤 B2 中, 根据联接变压器的网侧电压波动范围确定分接开关的调压范围。

9、如权利要求 7 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述步骤 D2 中, 若 c_2 的范围包含 d_1 的范围, 则取 c_2 的范围作为分接开关的设计范围; 若 d_1 的范围包含 c_2 的范围, 则取 d_1 的变比范围作为目标联接变压器变比范围。

10、如权利要求 7 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述步骤 E2 中, 计算目标变比和额定网侧电压条件下的联接变压器阀侧电压, 所得联接变压器阀侧电压范围即为阀侧有载分接开关的调压范围。

11、如权利要求 7 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述步骤 F2 中, 根据柔性直流输电系统对换流器无功输出能力的调节精度要求确定有载分接开关的档距。

12、如权利要求 7 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述步骤 G2 中, 计算各分接位置的联接变压器变比, 得出电网二次侧电压与联接变压器变比的分接位置关系表, 即“二次侧电压—变比”分接位置关系表。

13、如权利要求 1 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述步骤 (2) 中, 对联接变压器的变比进行调节包括以下三种调节方式:

A、电网电压波动时的有载分接开关调节方法;

B、优化调制比运行范围的有载分接开关调节方法;

C、柔性直流输电系统降压运行时的有载分接开关调节方法。

14、如权利要求 13 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法, 其特征在于, 所述 A 包括: 实时监测电网电压, 当电网电压波动至分接位置关系表中额定位置外的其他值并持续 3-7s 时, 在“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表查找最接近的联接变压器变比, 并通过有载分接开关的控制系统将联接变压器有载分接开关调节至对应变比。

15、如权利要求 13 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述 B 包括下述步骤：

I、采用反馈的方法，监测换流器的调制比 M ；

II、当调制比 M 指令值低于设计阈值且持续时间大于 5s 时，根据“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表将有载分接开关向变比增加的方向调节一档，继续监测调制比 M ，若调制比 M 仍低于 0.7，则继续重复向变比增加的方向调节一档，直至调制比 M 落在最优范围 0.7~0.95 内；

III、若调制比 M 指令值高于设计阈值且持续时间大于 5s 时，则根据“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表将有载分接开关向变比减小的方向调节一档，继续监测调制比 M ，若 M 仍高于设计阈值 0.95，则继续重复向变比减小的方向调节一档，直至调制比 M 落在最优范围 0.7~0.95 内。

16、如权利要求 13 所述的联接变压器有载分接开关的调节方法，其特征在于，所述步骤 C 包括：当柔性直流输电系统降压运行时，如以 kU_{dc} 运行时，联接变压器阀侧电压相应调节为额定电压的 k 倍，即 kU_v ；在“一次侧电压—变比”分接位置关系表或“二次侧电压—变比”分接位置关系表中查找最接近的变比，并通过有载分接开关的控制系统将变压器分接开关调节至对应变比；所述 $k < 1$ 。

17、一种柔性直流输电联接变压器有载分接开关的调节系统，其特征在于，所述调节系统包括联接变压器、交流系统、电压源换流器；所述联接变压器连接在所述交流系统和电压源换流器之间。

18、如权利要求 17 所述的联接变压器有载分接开关的调节系统，其特征在于，在所述联接变压器上安装有有载分接开关；所述有载分接开关用于调节换流器运行于最优的调制比范围内。

19、如权利要求 17 所述的联接变压器有载分接开关的调节系统，其特征在于，所述联接变压器用于：

- a、在交流系统和电压源换流器间提供换流电抗；
- b、将交流系统的电压进行变换，使电压源换流器工作在最优的电压范围之内；
- c、将不同电压等级的电压源换流器进行连接；
- d、阻止零序电流在交流系统和电压源换流器之间流动。

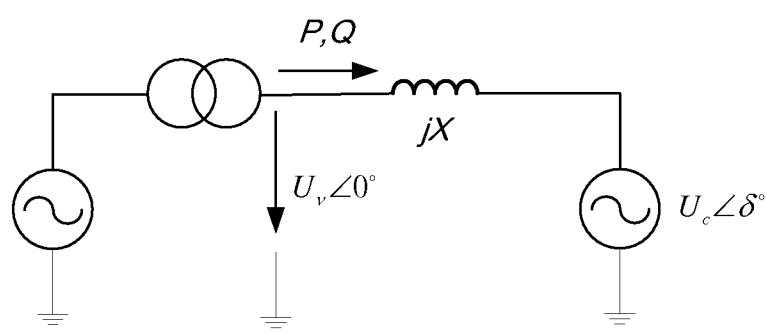


图 1

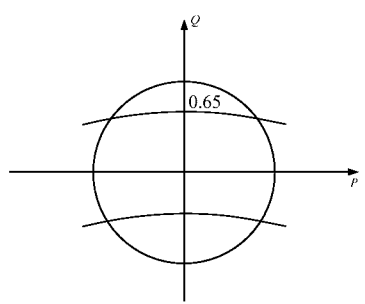


图 2

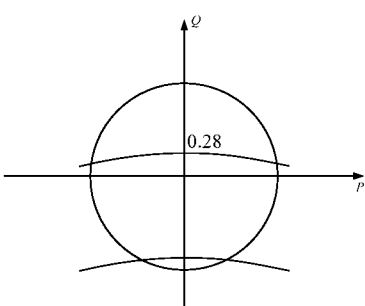


图 3

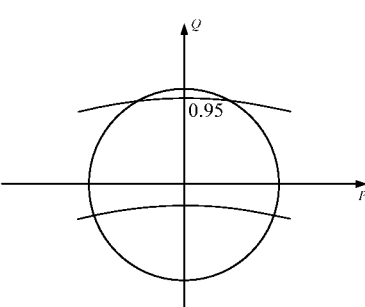


图 4

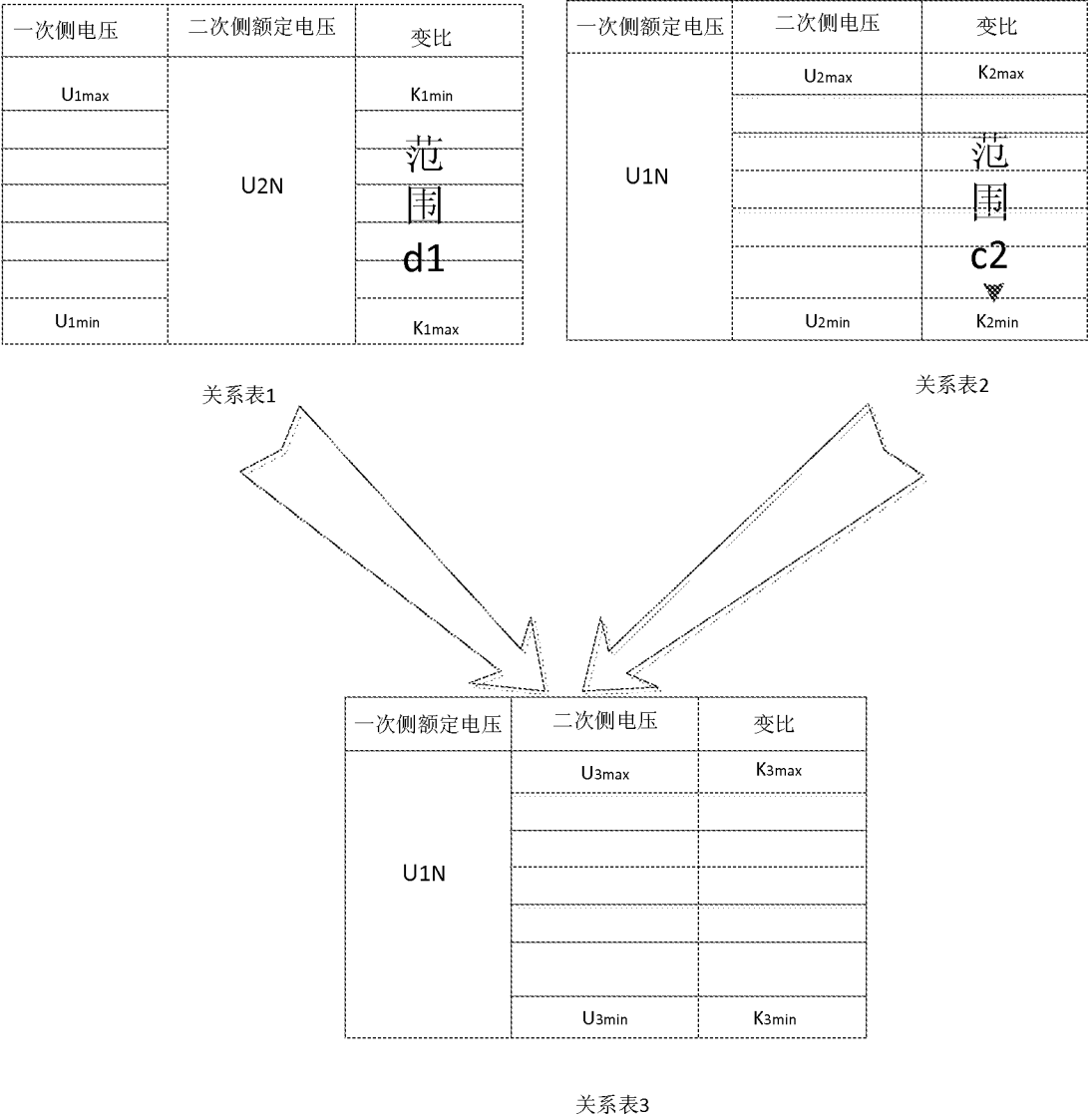


图 5

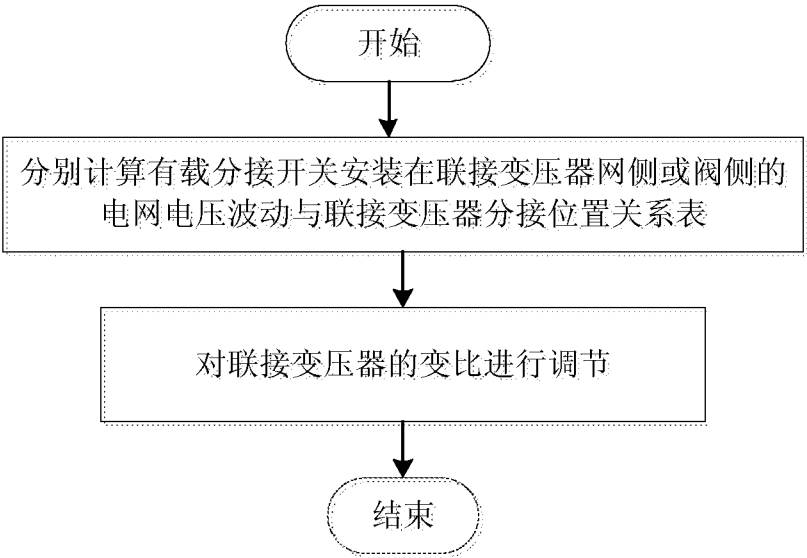


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2012/086031

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02P 13/00 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H02P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CPRS, CNKI, WPI, EPODOC: flexible, direct current transmission, join, connect, conversion, tap switch, contact, transformation ratio, VSC, HVDC, voltage, source, converter, transformer, direct, current, tap

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	Introduction of flexible direct current transmission system, POPULAR UTILIZATION OF ELECTRICITY, 2011, no. 6, page 50, ISSN 1008-9454	17-19
A		1-16
A	CN 102163842 A (STATE GRID DC PROJECT CONSTRUCTION CO., LTD. et al.), 24 August 2011 (24.08.2011), see the whole document	1-19
A	CN 102136725 A (RONGXIN POWER ELECTRONIC CO., LTD.), 27 July 2011 (27.07.2011), see the whole document	1-19
A	CN 102122880 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE), 13 July 2011 (13.07.2011), see the whole document	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search 28 May 2013 (28.05.2013)	Date of mailing of the international search report 13 June 2013 (13.06.2013)
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer DING, Dongxia Telephone No.: (86-10) 62411804

International application No.
PCT/CN2012/086031

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2012/086031

A. 主题的分类

H02P 13/00 (2006.01) i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

IPC: H02P

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))

CPRS, CNKI, WPI, EPODOC 柔性, 直流输电, 联接, 联结, 连接, 换流, 变压器, 分接开关, 抽头, 接头, 变比, VSC, HVDC, voltage, source, converter, transformer, direct, current, tap

C. 相关文件

类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	柔性直流输电系统简介.大众用电.2011 年, 第 6 期, 第 50 页, ISSN 1008-9454	17-19
A		1-16
A	CN 102163842 A(国家电网公司直流建设分公司 等) 24.8 月 2011 (24.08.2011) 参见全文	1-19
A	CN 102136725 A(荣信电力电子股份有限公司)27.7 月 2011(27.07.2011) 参见全文	1-19
A	CN 102122880 A(中国电力科学研究院)13.7 月 2011(13.07.2011) 参见全文	1-19

☐ 其余文件在 C 栏的续页中列出。

☒ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型:

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的)

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期
28.5 月 2013(28.05.2013)

国际检索报告邮寄日期
13.6 月 2013 (13.06.2013)

ISA/CN 的名称和邮寄地址:
中华人民共和国国家知识产权局
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088
传真号: (86-10)62019451

受权官员

丁东霞
电话号码: (86-10) **62411804**

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2012/086031

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN 102163842 A	24.08.2011	无	
CN 102136725 A	27.07.2011	WO 2012126306 A1	27.09.2012
CN 102122880 A	13.07.2011	无	