

# (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



(10) 国际公布号

WO 2021/208293 A1

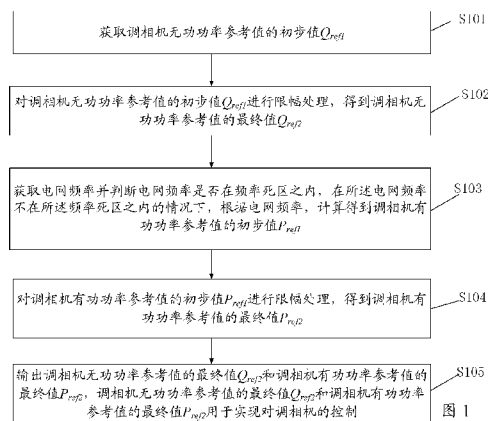
(43) 国际公布日  
2021 年 10 月 21 日 (21.10.2021)

- (51) 国际专利分类号:  
H02J 3/18 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2020/105681
- (22) 国际申请日: 2020 年 7 月 30 日 (30.07.2020)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:  
202010290626.6 2020 年 4 月 14 日 (14.04.2020) CN  
202010290627.0 2020 年 4 月 14 日 (14.04.2020) CN
- (71) 申请人: 中国电力科学研究院有限公司 (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE COMPANY LIMITED) [CN/CN]; 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。
- (72) 发明人: 孙华东 (SUN, Huadong); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

李文锋 (LI, Wenfeng); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 许涛 (XU, Tao); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 郭剑波 (GUO, Jianbo); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 张健 (ZHANG, Jian); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 李志强 (LI, Zhiqiang); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 郭强 (GUO, Qiang); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 赵兵 (ZHAO, Bing); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 贺静波 (HE, Jingbo); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 贾媛 (JIA, Yuan); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 魏巍 (WEI, Wei); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 李莹 (LI, Ying); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。

(54) Title: PHASE MODIFIER CONTROL METHOD AND DEVICE, PHASE MODIFIER SYSTEM, AND STORAGE MEDIUM

(54) 发明名称: 调相机控制方法、装置、调相机系统及存储介质



- S101 Acquire a preliminary value Qref1 of a reactive power reference value of a phase modifier
- S102 Perform amplitude limiting on the preliminary value Qref1 of the reactive power reference value of the phase modifier, so as to obtain a final value Qref2 of the reactive power reference value of the phase modifier
- S103 Acquire a power line frequency, determine whether or not the power line frequency is within a frequency dead zone, and if not, calculate, according to the power line frequency, a preliminary value Pref1 of an active power reference value of the phase modifier
- S104 Perform amplitude limiting on the preliminary value Pref1 of the active power reference value of the phase modifier, so as to obtain a final value Pref2 of the active power reference value of the phase modifier
- S105 Output the final value Qref2 of the reactive power reference value of the power modifier and the final value Pref2 of the active power reference value of the power modifier, wherein the final value Qref2 of the reactive power reference value of the power modifier and the final value Pref2 of the active power reference value of the power modifier are used to control the power modifier

(57) Abstract: The present application provides a phase modifier control method and device, and a phase modifier system. The phase modifier control method comprises: acquiring a preliminary value  $Q_{ref1}$  of a reactive power reference value of a phase modifier; performing amplitude limiting on the preliminary value  $Q_{ref1}$  of the reactive power reference value of the phase modifier, so as to obtain a final value  $Q_{ref2}$  of the reactive power reference value of the phase modifier; acquiring a power line frequency, determining whether or not the power line frequency is within a frequency dead zone, and if not, calculating, according to the power line frequency, a preliminary value  $P_{ref1}$  of an active power reference value of the phase modifier; performing amplitude limiting on the preliminary value  $P_{ref1}$  of the active power reference value of the phase modifier, so as to obtain a final value  $P_{ref2}$  of the active power reference value of the phase modifier; and outputting the final value  $Q_{ref2}$  of the reactive power reference value of the power modifier and the final value  $P_{ref2}$  of the active power reference value of the power modifier.

王官宏(WANG, Guanhong); 中国北京市海淀区  
清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。 陶  
向宇(TAO, Xiangyu); 中国北京市海淀区清河  
小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。

(74) 代理人: 北京品源专利代理有限公司(BEYOND  
ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市海淀区莲花  
池东路39号西金大厦6层, Beijing 100036 (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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT,  
JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK,  
LR, LS, 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, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,  
ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, WS, 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, ST, 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, KM, 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))。

(57) 摘要: 本文提供一种调相机控制方法、装置及调相机系统, 调相机控制方法包括: 获取调相机无功功率参考值的初步值 $Q_{ref1}$ ; 对调相机无功功率参考值的初步值 $Q_{ref1}$ 进行限幅处理, 得到调相机无功功率参考值的最终值 $Q_{ref2}$ ; 获取电网频率并判断电网频率是否在频率死区之内, 在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下, 根据电网频率, 计算得到调相机有功功率参考值的初步值 $P_{ref1}$ ; 对调相机有功功率参考值的初步值 $P_{ref1}$ 进行限幅处理, 得到调相机有功功率参考值的最终值 $P_{ref2}$ ; 输出调相机到无功功率参考值的最终值 $Q_{ref2}$ 和调相机有功功率参考值的最终值 $P_{ref2}$ 。

## 调相机控制方法、装置、调相机系统及存储介质

本申请要求在 2020 年 04 月 14 日提交中国专利局、申请号为 202010290627.0、202010290626.6 的中国专利申请的优先权，该申请的全部内容通过引用结合在本申请中。

### 技术领域

本申请涉及调相机领域，例如涉及一种调相机控制方法、装置、调相机系统及存储介质。

### 背景技术

调相机，作为一种无功功率补偿装置，可以根据系统的需要，自动地在电网电压下降时增加无功输出，在电网电压上升时吸收无功功率，以维持电压，提高电力系统的稳定性，改善系统供电质量，因而广泛应用于特高压直流换流站。

调相机均是采用同步电机，调相机在运行中存在惯量支撑不可控、不能参与系统的一次调频等问题，使得调相机在很多应用场景下，例如电网运行特性复杂的应用场景（如新能源场站），无法在解决短路电流不足及电压调节问题的同时，解决电网系统的惯量和频率调节问题，从而导致电力事故频发。

### 发明内容

本申请提出了一种调相机控制方法、装置、调相机系统及存储介质，旨在同时解决电力系统中电压、惯量、频率调节以及短路电流不足的问题。

提供了一种调相机控制方法，包括：

获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ；

对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ；

获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内，在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下，根据所述电网频率，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ；

对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ；

输出所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ , 所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

还提供了一种调相机控制装置, 包括:

数据获取单元, 设置为获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ;

第一限幅单元, 设置为对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理, 得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ;

判断单元, 设置为获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内, 在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下, 根据所述电网频率, 计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ;

第二限幅单元, 设置为对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理, 得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ;

输出单元, 设置为输出所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ , 所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

还提供了另一种调相机控制方法, 包括:

获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ ;

判断所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内:

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下, 通过计算和限幅得到变流器的 d 轴电流参考值;

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下, 将变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为变流器的 d 轴电流参考值;

根据所述变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ , 计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ ;

对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ;

输出所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

还提供了另一种调相机控制装置, 包括:

数据获取单元, 设置为获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流

侧无功功率  $Q_g$ ;

判断单元, 设置为判断所述变流器直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内: 在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下, 通过计算和限幅得到变流器的 d 轴电流参考值; 在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下, 将变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为变流器的 d 轴电流参考值;

计算单元, 设置为根据所述变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ , 计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ ;

限幅单元, 设置为对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ;

输出单元, 设置为输出所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

还提供了一种调相机系统, 包括:

采集装置, 设置为采集电力数据, 并将所述电力数据发送给控制装置, 所述电力数据包括以下至少一项: 电网频率、电网电压、调相机的转速、调相机系统中变流器的直流侧电压、调相机系统中变流器的交流侧无功功率;

控制装置, 设置为获取所述电力数据, 并根据如上述实施例所述的方法输出控制信号, 所述控制信号包括以下至少一项: 调相机无功功率参考值的最终值、调相机有功功率参考值的最终值、变流器的 d 轴电流参考值、变流器的 q 轴电流参考值的最终值;

变频器, 设置为接收所述控制信号, 并根据所述控制信号来控制异步电机运转;

异步电机, 设置为在所述变频器的控制下实现对电网异常的调节;

其中, 所述采集装置分别与电网、所述异步电机以及所述控制装置相连, 所述控制装置与所述变频器相连, 所述变频器与所述异步电机相连。

还提供了一种计算机存储介质, 存储有计算机程序, 所述计算机程序用于实现:

获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ;

对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理, 得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ;

获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内, 在所述电网频率

不在所述频率死区之内的情况下, 根据所述电网频率, 计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ;

对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理, 得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ;

输出所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ , 所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

还提供了另一种计算机存储介质, 存储有计算机程序, 所述计算机程序用于实现:

获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ ;

判断所述变流器直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内:

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下, 通过计算和限幅得到变流器的 d 轴电流参考值;

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下, 将变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为变流器的 d 轴电流参考值;

根据所述变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ , 计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ ;

对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ;

输出所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

## 附图说明

图 1 示出了根据本发明实施例的调相机控制方法的示例性流程图;

图 2 为图 1 所示方法的一种实施方式的示例性流程图;

图 3 示出了根据本发明实施例的调相机控制装置的结构示意图;

图 4 示出了根据本发明实施例的另一种调相机控制方法的示例性流程图;

图 5 为图 4 所示方法的一种实施方式的示例性流程图;

图 6 示出了根据本发明实施例的另一种调相机控制装置的结构示意图;

图 7 示出了根据本发明实施例的调相机系统的结构示意图。

## 具体实施方式

以下参考附图介绍本发明实施例的示例性实施方式，然而，本发明实施例可以用许多不同的形式来实施，并且不局限于此处描述的实施例。对于表示在附图中的示例性实施方式中的术语并不是对本发明实施例的限定。在附图中，相同的单元/元件使用相同的附图标记。

图 1 示出了根据本发明实施例的调相机控制方法的示例性流程图。

如图 1 所示，该方法包括：

步骤 S101：获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ 。

步骤 S102：对调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ 。

步骤 S103：获取电网频率并判断电网频率是否在频率死区之内，在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下，根据电网频率，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ 。

步骤 S104：对调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ 。

步骤 S105：输出调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ，调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

在本发明实施例中，步骤 S101-S102 通过对调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  限幅，可以实现对电网系统电压的调节。步骤 S103 可以通过计算电网频率  $f$  与电网频率参考值  $f_{ref}$  的差值  $\Delta f$ ，判断  $\Delta f$  是否在频率死区之内，即判断是否进入调频过程。如果在频率死区之内，即电网频率波动属正常范围，则无需进行后续的调频过程，可以结束本次控制流程，进入下一个控制流程；如果不在频率死区之内，即频率波动异常，则进行后续调频过程。其中，频率死区范围为电网频率与电网频率参考值之间的偏差范围，例如，电网频率参考值为 50.00 Hz，频率死区为  $\pm 0.05$  Hz，电网频率在 49.95-50.05 Hz 范围则在频率死区之内，否则不在。步骤 S103-S105 通过频率判断和调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  限幅可以实现对电网系统惯量和频率的调节。

上述实施例中，通过对调相机采用定无功功率和定有功功率控制，解决了调相机在电网运行特性复杂的应用场景（如新能源场站），无法同时解决短路

电流不足以及电压、惯量、频率调节的问题。本发明实施例提供的调相机控制方法，在既能实现电网系统的稳态电压调节的前提下，又能在电压突变暂态过程提供快速正确的无功响应，并且对电网系统的惯量和一次调频起到调节作用，大大提高了电网系统的稳定性。

图 2 为图 1 所示方法的一种实施方式的示例性流程图。

如图 2 所示，在一实施例中，步骤 S103，包括：

步骤 S204：获取电网第一频率  $f_1$ 。

步骤 S205：判断电网第一频率  $f_1$  是否在第一频率死区之内。

步骤 S206：如果不在第一频率死区之内，则将第一时间段延迟第一预定时间量。

步骤 S207：获取电网第二频率  $f_2$ 。

步骤 S208：判断电网第二频率  $f_2$  是否在第二频率死区之内。

步骤 S209：如果不在第二频率死区之内，则根据电网第二频率  $f_2$ ，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ 。

在本发明实施例中，步骤 S205、步骤 S208 均是对电网频率是否在频率死区之内进行判断，即判断是否进入调频过程：如果在频率死区之内，即电网频率波动属正常范围，则无需进行后续的调频过程，可以结束本次控制流程，进入下一个控制流程；如果不在频率死区之内，即频率波动异常，则进行后续调频过程。电网第一频率  $f_1$  和电网第二频率  $f_2$  为两个不同时刻的电网频率。第一频率死区和第二频率死区可以相同也可以不同。第一预定时间量可以为 0.1-10 s 范围的任意值，可选地为 0.2 s。

上述实施例中，通过在电网第一频率  $f_1$  的死区判断之后进行延时处理，可以让调相机释放自身的惯量，从而实现惯量调节。

在一实施例中，步骤 S209 中调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  可以采用如下公式 (1) 计算得到：

$$P_{ref1} = K_p(f_{ref} - f_2) \quad (1);$$

其中， $K_p$  为下垂控制系数， $f_2$  为电网第二频率， $f_{ref}$  为电网频率参考值。

在一实施例中，还包括：

步骤 S210：根据调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ，分别计算得到调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$ 。

在本发明实施例中，步骤 S210 与步骤 S209 前后顺序可以互换，也可以同时执行。

在一实施例中，调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  可以采用如下公式 (2) 计算得到：

$$P_{refmax1} = \sqrt{S_{max}^2 - Q_{ref2}^2} \quad (2);$$

其中， $S_{max}$  为调相机中变频器的最大容量限制值， $Q_{ref2}$  为调相机无功功率参考值的最终值。

调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  可以采用如下公式 (3) 计算得到：

$$P_{refmin1} = -\sqrt{S_{max}^2 - Q_{ref2}^2} \quad (3);$$

其中， $S_{max}$  为调相机中变频器的最大容量限制值， $Q_{ref2}$  为调相机无功功率参考值的最终值。

在一实施例中，步骤 S210 之后，还包括：

步骤 S211：根据调相机的转速  $\Omega$ ，对调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  分别进行调整，得到调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2}$  和调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2}$ 。

上述实施例中，通过对调相机转速的限制，可以防止调相机超速或欠速，可以实现对调相机中变流器的保护，提高系统稳定性。

在一实施例中，步骤 S211，包括：

如果  $\Omega_{min} \leq \Omega \leq \Omega_{max}$ ，则调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = P_{refmax1}$ ，调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = P_{refmin1}$ ；

如果  $\Omega > \Omega_{max}$ ，则调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = 0$ ；

如果  $\Omega < \Omega_{min}$ ，则调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = 0$ ；

其中， $\Omega_{max}$  为调相机转速的上限值， $\Omega_{min}$  为调相机转速的下限值。

在一实施例中，还包括：步骤 S212。步骤 S212 包括：

如果  $P_{refmin2} \leq P_{ref1} \leq P_{refmax2}$ ，则调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{ref1}$ ；

如果  $P_{ref1} > P_{refmax2}$ ，则调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmax2}$ ；

如果  $P_{ref1} < P_{refmin2}$ ，则调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmin2}$ 。

上述实施例中，通过对调相机有功功率的限制，可以实现对电网系统中频

率的调节,从而提高电网系统的稳定性。

在一实施例中,还包括:步骤 S203。步骤 S203 包括:

如果  $Q_{\min} \leq Q_{ref1} \leq Q_{\max}$ , 则调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{ref1}$ ;

如果  $Q_{ref1} > Q_{\max}$ , 则调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{\max}$ ;

如果  $Q_{ref1} < Q_{\min}$ , 则调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{\min}$ ;

其中,  $Q_{\max}$  为调相机无功功率参考值的上限值,  $Q_{\min}$  为调相机无功功率参考值的下限值。

上述实施例中,调相机的无功功率参考值的上限值  $Q_{\max}$  和下限值  $Q_{\min}$  与调相机中变频器的最大容量限制值  $S_{\max}$  相关,  $Q_{\max} = S_{\max}$ ,  $Q_{\min} = -S_{\max}$ 。通过对调相机无功功率的限制,可以实现对电网系统中电压的调节,从而提高电网系统的稳定性。

在一实施例中,步骤 S203 之前,还包括:

步骤 S201: 获取电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ 。

步骤 S202: 根据电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ , 计算得到调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ 。

在本发明实施例中,步骤 S201 中的电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ 、步骤 S204 中的电网第一频率  $f_1$ 、步骤 S211 中调相机的转速  $\Omega$  可以同时从当前采集阶段所采集到的电力数据中获取,步骤 S207 中的电网第二频率  $f_2$  可以从下一采集阶段所采集到的电力数据中获取。

在一实施例中,调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  采用如下公式 (4) 计算得到:

$$Q_{ref1} = \frac{KK_a(1+sT_1)(1+sT_3)}{(K_v+sT_2)(1+sT_4)(1+sT_a)} \left( V_{ref} - \frac{|V_t + I_t X_c \sin \varphi|}{1+sT_r} \right) \quad (4);$$

其中,  $K$  为串联校正环节的直流增益,  $K_a$  为放大环节增益,  $s$  为拉普拉斯算子,  $T_1$  和  $T_2$  分别为第一串联校正环节的时间常数,  $T_3$  和  $T_4$  分别为第二串联校正环节的时间常数,  $T_a$  为放大环节的时间常数,  $K_v$  为积分校正环节的选择因子,  $V_{ref}$  为电网电压参考值,  $V_t$  为电网电压,  $I_t$  为电网电流,  $X_c$  为附加补偿电抗,  $\varphi$  为附加补偿因数角,  $T_r$  为滤波环节的时间常数。

图 3 示出了根据本发明实施例的调相机控制装置的结构示意图。图 3 所示的装置可对应执行图 1 所示的方法。

如图 3 所示,在本实施例中,还提供一种调相机控制装置,包括:

数据获取单元 301, 设置为获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ;

第一限幅单元 302, 设置为对调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理, 得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ;

判断单元 303, 设置为获取电网频率并判断电网频率是否在频率死区之内, 在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下, 根据电网频率, 计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ;

第二限幅单元 304, 设置为对调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理, 得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ;

输出单元 305, 设置为输出调相机到无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ , 调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

在本发明实施例中, 数据获取单元 301 和第一限幅单元 302, 设置为通过对调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  限幅, 可以实现对电网系统电压的调节。判断单元 303 可以设置为通过计算电网频率  $f$  与电网频率参考值  $f_{ref}$  的差值  $\Delta f$ , 判断  $\Delta f$  是否在频率死区之内, 即判断是否进入调频过程。如果在频率死区之内, 即电网频率波动属正常范围, 则无需进行后续的调频过程, 可以结束本次控制流程, 进入下一个控制流程; 如果不在频率死区之内, 即频率波动异常, 则进行后续调频过程。其中, 频率死区范围为电网频率与电网频率参考值之间的偏差范围, 例如, 电网频率参考值为 50.00 Hz, 频率死区为  $\pm 0.05$  Hz, 电网频率在 49.95-50.05 Hz 范围则在频率死区之内, 否则不在。判断单元 303、第二限幅单元 304 和输出单元 305, 通过频率判断和调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  限幅可以实现对电网系统惯量和频率的调节。

上述实施例中, 通过对调相机采用定无功功率和定有功功率控制, 解决了调相机在电网运行特性复杂的应用场景 (如新能源场站), 无法同时解决短路电流不足以及电压、惯量、频率调节的问题。本发明实施例提供的调相机控制方法, 在既能实现电网系统的稳态电压调节的前提下, 又能在电压突变暂态过程提供快速正确的无功响应, 并且对电网系统的惯量和一次调频起到调节作用, 大大提高了电网系统的稳定性。

在一实施例中, 判断单元 303 还设置为:

获取电网第一频率  $f_1$ ;

判断电网第一频率  $f_1$  是否在第一频率死区之内;

如果不在第一频率死区之内, 则将第一时间段延迟第一预定时间量;

获取电网第二频率  $f_2$ ;

判断电网第二频率  $f_2$  是否在第二频率死区之内;

如果不在第二频率死区之内, 则根据电网第二频率  $f_2$ , 计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ 。

在本发明实施例中, 分别对第一频率  $f_1$  和电网第二频率  $f_2$  是否在频率死区之内进行判断, 即判断是否进入调频过程: 如果在频率死区之内, 即电网频率波动属正常范围, 则无需进行后续的调频过程, 可以结束本次控制流程, 进入下一个控制流程; 如果不在频率死区之内, 即频率波动异常, 则需要进行后续调频过程。电网第一频率  $f_1$  和电网第二频率  $f_2$  为两个不同时刻的电网频率。第一频率死区和第二频率死区可以相同也可以不同。第一预定时间量可以为 0.1-10 s 范围的任意值, 可选地为 0.2 s。

上述实施例中, 通过在电网第一频率  $f_1$  的死区判断之后进行延时处理, 可以让调相机释放自身的惯量, 从而实现惯量调节。

在一实施例中, 调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  可以采用如下公式 (1) 计算得到:

$$P_{ref1} = K_p (f_{ref} - f_2) \quad (1);$$

其中,  $K_p$  为下垂控制系数,  $f_2$  为电网第二频率,  $f_{ref}$  为电网频率参考值。

在一实施例中, 判断单元 303 还设置为:

根据调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ , 分别计算得到调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$ 。

在一实施例中, 调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  可以采用如下公式 (2) 计算得到:

$$P_{refmax1} = \sqrt{S_{max}^2 - Q_{ref2}^2} \quad (2);$$

其中,  $S_{max}$  为调相机中变频器的最大容量限制值,  $Q_{ref2}$  为调相机无功功率参考值的最终值。

调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  可以采用如下公式 (3) 计算得到:

$$P_{refmin1} = -\sqrt{S_{max}^2 - Q_{ref2}^2} \quad (3);$$

其中,  $S_{max}$  为调相机中变频器的最大容量限制值,  $Q_{ref2}$  为调相机无功功率参考值的最终值。

在一实施例中，判断单元 303 还设置为：

根据调相机的转速  $\Omega$ ，对调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  分别进行调整，得到调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2}$  和调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2}$ 。

上述实施例中，通过对调相机转速的限制，可以防止调相机超速或欠速，可以实现对调相机中变流器的保护，提高系统稳定性。

在一实施例中，根据调相机的转速  $\Omega$ ，对所述调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  分别进行调整，得到调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2}$  和调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2}$ ，包括：

如果  $\Omega_{min} \leq \Omega \leq \Omega_{max}$ ，则调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = P_{refmax1}$ ，调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = P_{refmin1}$ ；

如果  $\Omega > \Omega_{max}$ ，则调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = 0$ ；

如果  $\Omega < \Omega_{min}$ ，则调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = 0$ ；

其中， $\Omega_{max}$  为调相机转速的上限值， $\Omega_{min}$  为调相机转速的下限值。

在一实施例中，对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ，包括：

如果  $P_{refmin2} \leq P_{ref1} \leq P_{refmax2}$ ，则调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{ref1}$ ；

如果  $P_{ref1} > P_{refmax2}$ ，则调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmax2}$ ；

如果  $P_{ref1} < P_{refmin2}$ ，则调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmin2}$ 。

上述实施例中，通过对调相机有功功率的限制，可以实现对电网系统中频率的调节，从而提高电网系统的稳定性。

在一实施例中，对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ，包括：

如果  $Q_{min} \leq Q_{ref1} \leq Q_{max}$ ，则调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{ref1}$ ；

如果  $Q_{ref1} > Q_{max}$ ，则调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{max}$ ；

如果  $Q_{ref1} < Q_{min}$ ，则调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{min}$ ；

其中， $Q_{max}$  为调相机无功功率参考值的上限值， $Q_{min}$  为调相机无功功率参考值的下限值。

上述实施例中，调相机的无功功率参考值的上限值  $Q_{max}$  和下限值  $Q_{min}$  与调相机中变频器的最大容量限制值  $S_{max}$  相关， $Q_{max}=S_{max}$ ， $Q_{min}=-S_{max}$ 。通过对调相机无功功率的限制，可以实现对电网系统中电压的调节，从而提高电网系统的稳定性。

在一实施例中，数据获取单元 301 还设置为：

获取电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ ；

根据电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ ，计算得到调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ 。

在本发明实施例中，电网电压  $V_t$ 、电网电流  $I_t$ 、电网第一频率  $f_1$ 、调相机的转速  $\Omega$  可以同时从当前采集阶段所采集到的电力数据中获取，电网第二频率  $f_2$  可以从下一采集阶段所采集到的电力数据中获取。

在一实施例中，调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  采用如下公式 (4) 计算得到：

$$Q_{ref1} = \frac{KK_a(1+sT_1)(1+sT_3)}{(K_v+sT_2)(1+sT_4)(1+sT_a)} \left( V_{ref} - \frac{|V_t + I_t X_c \sin \varphi|}{1+sT_r} \right) \quad (4);$$

其中， $K$  为串联校正环节的直流增益， $K_a$  为放大环节增益， $s$  为拉普拉斯算子， $T_1$  和  $T_2$  分别为第一串联校正环节的时间常数， $T_3$  和  $T_4$  分别为第二串联校正环节的时间常数， $T_a$  为放大环节的时间常数， $K_v$  为积分校正环节的选择因子， $V_{ref}$  为电网电压参考值， $V_t$  为电网电压， $I_t$  为电网电流， $X_c$  为附加补偿电抗， $\varphi$  为附加补偿因数角， $T_r$  为滤波环节的时间常数。

图 4 示出了根据本发明实施例的另一种调相机控制方法的示例性流程图。

如图 4 所示，该方法包括：

步骤 S401：获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ 。

步骤 S402：判断变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内。

步骤 S403：在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下，通过计算和限幅得到变流器的 d 轴电流参考值。

步骤 S404：在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下，将变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为变流器的 d 轴电流参考值。

步骤 S405：根据变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ ，计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ 。

步骤 S406: 对变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ 。

步骤 S407: 输出变流器的 d 轴电流参考值和变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 变流器的 d 轴电流参考值和变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

在本发明实施例中, 步骤 S402 可以通过计算变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  与变流器的直流侧电压参考值  $E_{dcref}$  的差值  $\Delta E_{dc}$ , 判断  $\Delta E_{dc}$  是否在电压死区之内, 即判断是否进行定直流电压控制。如果在电压死区之内, 即电压波动属正常范围, 则变流器的 d 轴电流参考值可以取值为变流器的 d 轴电流参考值的先前值, 即上一次控制过程所得到的变流器的 d 轴电流参考值。如果没有变流器的 d 轴电流参考值的先前值, 即首次控制过程中在电压死区之内, 则变流器的 d 轴电流参考值为零; 如果不在电压死区之内, 即电压波动异常, 则计算此时的变流器的 d 轴电流参考值, 并对 d 轴电流参考值进行限幅, 以保证电流参考值不超过变流器本身的电流限制, 实现对变流器的保护。步骤 S406 可以通过对变流器的 q 轴电流参考值限幅, 实现对电网系统电压的调节, 此外, 还可以保证电流参考值不超过变流器本身的电流限制, 实现对变流器保护。

上述实施例中, 通过对调相机采用定直流电压控制和定无功功率控制, 解决了调相机在电网运行特性复杂的应用场景 (如新能源场站), 无法同时解决短路电流不足以及电压调节的问题。本发明实施例提供的调相机控制方法, 在既能实现电网系统的稳态电压调节的前提下, 又能在电压突变暂态过程提供快速正确的无功响应, 大大提高了电网系统的稳定性。

在一实施例中, 步骤 S406, 包括:

如果  $I_{gqmin} \leq I_{gqref1} \leq I_{gqmax}$ , 则变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqref1}$ ;

如果  $I_{gqref1} > I_{gqmax}$ , 则变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmax}$ ;

如果  $I_{gqref1} < I_{gqmin}$ , 则变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmin}$ ;

其中,  $I_{gqmax}$  为变流器的 q 轴电流参考值的上限值,  $I_{gqmin}$  为变流器的 q 轴电流参考值的下限值。

图 5 为图 4 所示方法的一种实施方式的示例性流程图。

如图 5 所示, 在一实施例中, 在步骤 S508 之前, 还包括:

步骤 S506: 根据变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ , 计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ 。

步骤 S507: 根据变流器的 d 轴电流参考值, 分别计算得到变流器的 q 轴电

流参考值的上限值  $I_{gqmax}$  和下限值  $I_{gqmin}$ 。

在本发明实施例中，步骤 S506、步骤 S507 可以互换前后顺序，也可以同时执行。

在一实施例中，步骤 S403，包括：

步骤 S503：根据变流器的直流侧电压  $E_{dc}$ ，通过计算得到变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$ 。

步骤 S504：对变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  进行限幅处理，得到变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2}$ 。

在一实施例中，步骤 S504，包括：

如果  $I_{gdmin} \leq I_{gdref1} \leq I_{gdmax}$ ，则变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdref1}$ ；

如果  $I_{gdref1} > I_{gdmax}$ ，则变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdmax}$ ；

如果  $I_{gdref1} < I_{gdmin}$ ，则变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdmin}$ ；

其中， $I_{gdmax}$  为变流器的 d 轴电流参考值的上限值， $I_{gdmin}$  为变流器的 d 轴电流参考值的下限值。

在本发明实施例中，变流器的 d 轴电流参考值的上限值  $I_{gdmax}$  和下限值  $I_{gdmin}$  与调相机中变频器本身的最大电流和最小电流限制有关， $I_{gdmax} = I_{gmax}$ ， $I_{gdmin} = -I_{gmax}$ ， $I_{gmax}$  为调相机中变频器的最大电流限制值。

在一实施例中，变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  采用如下公式 (5) 计算得到：

$$I_{gdref1} = \frac{K_{id} + sK_{pd}}{s} (E_{dcref} - E_{dc}) \quad (5);$$

其中， $E_{dcref}$  为网侧变流器的直流侧电压参考值， $E_{dc}$  为网侧变流器的直流侧电压， $K_{pd}$  为网侧变流器的直流电压控制比例环节常数， $K_{id}$  为网侧变流器的直流电压控制积分环节常数， $s$  为拉普拉斯算子。

在一实施例中，变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  采用如下公式 (6) 计算得到：

$$I_{gqref1} = \frac{K_{gd} + sK_{ig}}{s} (Q_{gref} - Q_g) \quad (6);$$

其中， $Q_{gref}$  为网侧变流器的交流侧无功功率参考值， $Q_g$  为网侧变流器的交流侧无功功率， $K_{gd}$  为网侧变流器的交流侧无功功率控制比例环节常数， $K_{ig}$  为网侧变流器的交流侧无功功率控制积分环节常数， $s$  为拉普拉斯算子。

在一实施例中，变流器的 q 轴电流参考值的上限值  $I_{gq\max}$  采用如下公式 (7) 计算得到：

$$I_{gq\max} = \sqrt{I_{g\max}^2 - I_{gdref2}^2} \quad (7) ;$$

其中， $I_{g\max}$  为调相机中变频器的最大电流限制值， $I_{gdref2}$  为网侧变流器的 d 轴电流参考值的最终值。

变流器的 q 轴电流参考值的下限值  $I_{gq\min}$  采用如下公式 (8) 计算得到：

$$I_{gq\min} = -\sqrt{I_{g\max}^2 - I_{gdref2}^2} \quad (8) ;$$

其中， $I_{g\max}$  为调相机中变频器的最大电流限制值， $I_{gdref2}$  为网侧变流器的 d 轴电流参考值的最终值。

图 6 示出了根据本发明实施例的调相机控制装置的结构示意图。图 6 所示的装置可对应执行图 4 所示的方法。

如图 6 所示，在本实施例中，还提供一种调相机控制装置，包括：

数据获取单元 601，设置为获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ 。

判断单元 602，设置为判断变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内：如果不在，则通过计算和限幅得到变流器的 d 轴电流参考值；如果在，则将变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为变流器的 d 轴电流参考值。

计算单元 603，设置为根据变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ ，计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ 。

限幅单元 604，设置为对变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅，得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ 。

输出单元 605，设置为输出变流器的 d 轴电流参考值和变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ，变流器的 d 轴电流参考值和变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

在本发明实施例中，判断单元 602 可以设置为通过计算变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  与变流器的直流侧电压参考值  $E_{dc\text{ref}}$  的差值  $\Delta E_{dc}$ ，判断  $\Delta E_{dc}$  是否在电压死区之内，即判断是否进行定直流电压控制。如果在电压死区之内，即电压波动属正常范围，则变流器的 d 轴电流参考值可以取值为变流器的 d 轴电流参考值的先前值，即上一次控制过程所得到的变流器的 d 轴电流参考值。如果没有变流器的 d 轴电流参考值的先前值，即首次控制过程中在电压死区之内，则变流器的 d 轴电流参考值为零；如果不在电压死区之内，即电压波动异常，则计算

此时的变流器的 d 轴电流参考值，并对 d 轴电流参考值进行限幅，以保证电流参考值不超过变流器本身的电流限制，实现对变流器的保护。限幅单元 604 可以设置为通过对变流器的 q 轴电流参考值限幅，实现对电网系统电压的调节，此外，还可以保证电流参考值不超过变流器本身的电流限制，实现对变流器保护。

上述实施例中，通过对调相机采用定直流电压控制和定无功功率控制，解决了调相机在电网运行特性复杂的应用场景（如新能源场站），无法同时解决短路电流不足以及电压调节的问题。本发明实施例提供的调相机控制方法，在既能实现电网系统的稳态电压调节的前提下，又能在电压突变暂态过程提供快速正确的无功响应，大大提高了电网系统的稳定性。

在一实施例中，对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅，得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ，包括：

如果  $I_{gqmin} \leq I_{gqref1} \leq I_{gqmax}$ ，则变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqref1}$ ；

如果  $I_{gqref1} > I_{gqmax}$ ，则变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmax}$ ；

如果  $I_{gqref1} < I_{gqmin}$ ，则变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmin}$ ；

其中， $I_{gqmax}$  为变流器的 q 轴电流参考值的上限值， $I_{gqmin}$  为变流器的 q 轴电流参考值的下限值。

在一实施例中，计算单元 603 还设置为：

根据变流器的 d 轴电流参考值，分别计算得到变流器的 q 轴电流参考值的上限值  $I_{gqmax}$  和下限值  $I_{gqmin}$ 。

在一实施例中，判断单元 602 还设置为：

根据变流器的直流侧电压  $E_{dc}$ ，通过计算得到变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$ ；

对变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  进行限幅处理，得到变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2}$ 。

在一实施例中，对所述变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  进行限幅处理，得到变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2}$ ，包括：

如果  $I_{gdmin} \leq I_{gdref1} \leq I_{gdmax}$ ，则变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdref1}$ ；

如果  $I_{gdref1} > I_{gdmax}$ ，则变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdmax}$ ；

如果  $I_{gdref1} < I_{gdmin}$ ，则变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdmin}$ ；

其中， $I_{gdmax}$  为变流器的 d 轴电流参考值的上限值， $I_{gdmin}$  为变流器的 d 轴电

流参考值的下限值。

在本发明实施例中，变流器的 d 轴电流参考值的上限值  $I_{gdmax}$  和下限值  $I_{gdmin}$  与调相机中变频器本身的最大电流和最小电流限制有关， $I_{gdmax} = I_{gmax}$ ， $I_{gdmin} = -I_{gmax}$ ， $I_{gmax}$  为调相机中变频器的最大电流限制值。

在一实施例中，变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  采用如下公式 (5) 计算得到：

$$I_{gdref1} = \frac{K_{id} + sK_{pd}}{s} (E_{dcref} - E_{dc}) \quad (5);$$

其中， $E_{dcref}$  为网侧变流器的直流侧电压参考值， $E_{dc}$  为网侧变流器的直流侧电压， $K_{pd}$  为网侧变流器的直流电压控制比例环节常数， $K_{id}$  为网侧变流器的直流电压控制积分环节常数， $s$  为拉普拉斯算子。

在一实施例中，变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  采用如下公式 (6) 计算得到：

$$I_{gqref1} = \frac{K_{gd} + sK_{ig}}{s} (Q_{gref} - Q_g) \quad (6);$$

其中， $Q_{gref}$  为网侧变流器的交流侧无功功率参考值， $Q_g$  为网侧变流器的交流侧无功功率， $K_{gd}$  为网侧变流器的交流侧无功功率控制比例环节常数， $K_{ig}$  为网侧变流器的交流侧无功功率控制积分环节常数， $s$  为拉普拉斯算子。

在一实施例中，变流器的 q 轴电流参考值的上限值  $I_{gqmax}$  采用如下公式 (7) 计算得到：

$$I_{gqmax} = \sqrt{I_{gmax}^2 - I_{gdref2}^2} \quad (7);$$

其中， $I_{gmax}$  为调相机中变频器的最大电流限制值， $I_{gdref2}$  为网侧变流器 d 轴电流参考值的最终值。

变流器的 q 轴电流参考值的下限值  $I_{gqmin}$  采用如下公式 (8) 计算得到：

$$I_{gqmin} = -\sqrt{I_{gmax}^2 - I_{gdref2}^2} \quad (8);$$

其中， $I_{gmax}$  为调相机中变频器的最大电流限制值， $I_{gdref2}$  为网侧变流器 d 轴电流参考值的最终值。

本发明实施例提供的调相机控制方法、装置、调相机系统及存储介质，通过对调相机采用定有功功率和定无功功率控制方式，和/或定直流电压控制和定无功功率控制方式，解决了调相机在电网运行特性复杂的应用场景（如新能源

场站)，无法同时解决短路电流不足以及电压、惯量、频率调节的问题。本发明实施例提供的调相机控制方法、装置及调相机，在既能实现电网系统的稳态电压调节的前提下，又能在电压突变暂态过程提供快速正确的无功响应，并且对电网系统的惯量和一次调频起到调节作用，大大提高了电网系统的稳定性。

另一方面，本发明实施例还提供了一种调相机系统。

图 7 示出了根据本发明实施例的调相机系统的结构示意图。如图 7 所示，该调相机系统，包括：

采集装置 701，设置为采集电力数据，并将电力数据发送给控制装置 702，电力数据包括以下至少一项：电网频率、电网电压、调相机的转速、调相机系统中变流器的直流侧电压、调相机系统中变流器的交流侧无功功率；

控制装置 702，设置为获取电力数据，并根据如上述实施例的方法输出控制信号，控制信号包括以下至少一项：调相机无功功率参考值的最终值、调相机有功功率参考值的最终值、变流器的 d 轴电流参考值、变流器的 q 轴电流参考值的最终值；

变频器 703，设置为接收控制信号，并根据控制信号来控制异步电机 704 运转；

异步电机 704，设置为在变频器 703 的控制下实现对电网异常的调节；

其中，采集装置 701 分别与电网、异步电机 704 以及控制装置 702 相连，控制装置 702 与变频器 703 相连，变频器 703 与异步电机 704 相连。

本实施例中，采集装置 701 可以为一个采集装置，设置为采集所有的电力数据，也可以为两个或多个采集装置，分别采集不同装置的电力数据。变频器 703 可以为任意合适的变频器。控制装置 702 可以为处理器或者其他具有数据处理能力的装置；可以单独执行上述实施例所述的方法来控制变频器 703 运行，也可以同时执行两种或多种上述实施例所述的方法来控制变频器 703 运行。异步电机 704 可以为任意合适的异步电机，可选地为双馈异步电机。

上述实施例中，通过采用异步电机取代相关技术中的同步电机，提供了一种全新的调相机系统。在一实施例中，控制装置根据如上述实施例所述的方法来控制变频器运行，解决了调相机在电网运行特性复杂的应用场景（如新能源场站），无法同时解决短路电流不足以及电压、惯量、频率调节的问题。本发明实施例提供的调相机系统，在既能实现电网系统的稳态电压调节的前提下，又能在电压突变暂态过程提供快速正确的无功响应，并且对电网系统的惯量和一次调频起到调节作用，大大提高了电网系统的稳定性。

在一可选实施例中，变频器包括：机侧变流器和网侧变流器；机侧变流器与异步电机、网侧变流器相连，网侧变流器与电网相连。

本发明实施例中，控制装置可以根据如图 1 所示的方法来控制变频器中的机侧变流器运行，根据如图 4 所示的方法来控制变频器中的网侧变流器运行。

在一实施例中，机侧变流器和网侧变流器均为全控型变流器。

上述实施例中，通过采用全控型变流器，可以实现对有功功率和无功功率分别进行控制，使得调相机控制过程更加方便有效。

另一方面，本发明实施例还提供了一种计算机存储介质，存储有计算机程序，该计算机程序用于实现：

获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ；

对调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ；

获取电网频率并判断电网频率是否在频率死区之内，在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下，根据电网频率，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ；

对调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ；

输出调相机到无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ，调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

本发明实施例提供的一种计算机程序存储介质相关部分的说明请参见上述实施例提供的一种调相机控制方法中对应部分的说明，在此不再赘述。

另一方面，本发明实施例还提供了另一种计算机存储介质，存储有计算机程序，该计算机程序用于实现：

获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ ；

判断变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内；

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下，通过计算和限幅得到变流器 d 轴电流参考值；

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下，将变流器 d 轴电流参考值的先前值作为变流器 d 轴电流参考值；

根据变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ ，计算得到变流器的 q 轴电流参考值的初

步值  $I_{gqref1}$ ;

对变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ;

输出变流器的 d 轴电流参考值和变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 变流器的 d 轴电流参考值和变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

本发明实施例提供的另一种计算机存储介质相关部分的说明请参见上述实施例提供的一种调相机控制方法中对应部分的说明, 在此不再赘述。

## 权利要求书

### 1、一种调相机控制方法，包括：

获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ；

对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ；

获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内，在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下，根据所述电网频率，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ；

对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ；

输出所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

2、根据权利要求1所述的方法，其中，所述获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内，在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下，根据所述电网频率，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ，包括：

获取电网第一频率  $f_1$ ；

判断所述电网第一频率  $f_1$  是否在第一频率死区之内；

在所述电网第一频率  $f_1$  不在所述第一频率死区之内的情况下，将第一时间段延迟第一预定时间量；

获取电网第二频率  $f_2$ ；

判断所述电网第二频率  $f_2$  是否在第二频率死区之内；

在所述电网第二频率  $f_2$  不在所述第二频率死区之内的情况下，根据所述电网第二频率  $f_2$ ，计算得到所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ 。

3、根据权利要求2所述的方法，在所述对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理之前，还包括：

根据所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ，分别计算得到所述调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$ 。

4、根据权利要求3所述的方法，其中，在所述分别计算得到所述调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  之后，还包括：

根据调相机的转速  $\Omega$ ，对所述调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  分别进行调整，得到所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2}$ 。

5、根据权利要求 4 所述的方法，其中，所述根据调相机的转速  $\Omega$ ，对所述调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  分别进行调整，得到所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2}$ ，包括：

在  $\Omega_{min} \leq \Omega \leq \Omega_{max}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = P_{refmax1}$ ，所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = P_{refmin1}$ ；

在  $\Omega > \Omega_{max}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = 0$ ；

在  $\Omega < \Omega_{min}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = 0$ ；

其中， $\Omega_{max}$  为调相机转速的上限值， $\Omega_{min}$  为调相机转速的下限值。

6、根据权利要求 5 所述的方法，其中，所述对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ，包括：

在  $P_{refmin2} \leq P_{ref1} \leq P_{refmax2}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{ref1}$ ；

在  $P_{ref1} > P_{refmax2}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmax2}$ ；

在  $P_{ref1} < P_{refmin2}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmin2}$ 。

7、根据权利要求 1-6 中任一项所述的方法，其中，所述对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ，包括：

在  $Q_{min} \leq Q_{ref1} \leq Q_{max}$  的情况下，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{ref1}$ ；

在  $Q_{ref1} > Q_{max}$  的情况下，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{max}$ ；

在  $Q_{ref1} < Q_{min}$  的情况下，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{min}$ ；

其中,  $Q_{max}$  为所述调相机无功功率参考值的上限值,  $Q_{min}$  为所述调相机无功功率参考值的下限值。

8、根据权利要求 7 所述的方法, 其中, 在所述获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  之前, 还包括:

获取电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ ;

根据所述电网电压  $V_t$  和所述电网电流  $I_t$ , 计算得到所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ 。

9、一种调相机控制装置, 包括:

数据获取单元, 设置为获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ;

第一限幅单元, 设置为对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理, 得到所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ;

判断单元, 设置为获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内, 在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下, 根据所述电网频率, 计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ;

第二限幅单元, 设置为对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理, 得到所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ;

输出单元, 设置为输出所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ , 所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

10、根据权利要求 9 所述的装置, 其中, 所述判断单元是设置为:

获取电网第一频率  $f_1$ ;

判断所述电网第一频率  $f_1$  是否在第一频率死区之内;

在所述电网第一频率  $f_1$  不在所述第一频率死区之内的情况下, 将第一时间段延迟第一预定时间量;

获取电网第二频率  $f_2$ ;

判断所述电网第二频率  $f_2$  是否在第二频率死区之内;

在所述电网第二频率  $f_2$  不在所述第二频率死区之内的情况下, 根据所述电网第二频率  $f_2$ , 计算得到所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ 。

11、根据权利要求 10 所述的装置, 其中, 所述判断单元还设置为:

根据所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ , 分别计算得到所述调相机

有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$ 。

12、根据权利要求 11 所述的装置，其中，所述判断单元还设置为：

根据调相机的转速  $\Omega$ ，对所述调相机有功功率参考值的上限值的初步值  $P_{refmax1}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的初步值  $P_{refmin1}$  分别进行调整，得到所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2}$  和所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2}$ 。

13、根据权利要求 12 所述的装置，其中，所述判断单元还设置为：

在  $\Omega_{min} \leq \Omega \leq \Omega_{max}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = P_{refmax1}$ ，所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = P_{refmin1}$ ；

在  $\Omega > \Omega_{max}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的上限值的最终值  $P_{refmax2} = 0$ ；

在  $\Omega < \Omega_{min}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的下限值的最终值  $P_{refmin2} = 0$ ；

其中， $\Omega_{max}$  为调相机转速的上限值， $\Omega_{min}$  为调相机转速的下限值。

14、根据权利要求 13 所述的装置，其中，所述第二限幅单元是设置为：

在  $P_{refmin2} \leq P_{ref1} \leq P_{refmax2}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{ref1}$ ；

在  $P_{ref1} > P_{refmax2}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmax2}$ ；

在  $P_{ref1} < P_{refmin2}$  的情况下，所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2} = P_{refmin2}$ 。

15、根据权利要求 9-14 中任一项所述的装置，其中，所述第一限幅单元是设置为：

在  $Q_{min} \leq Q_{ref1} \leq Q_{max}$  的情况下，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{ref1}$ ；

在  $Q_{ref1} > Q_{max}$  的情况下，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{max}$ ；

在  $Q_{ref1} < Q_{min}$  的情况下，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2} = Q_{min}$ ；

其中， $Q_{max}$  为所述调相机无功功率参考值的上限值， $Q_{min}$  为所述调相机无功功率参考值的下限值。

16、根据权利要求 15 所述的装置，其中，所述数据获取单元还设置为：

获取电网电压  $V_t$  和电网电流  $I_t$ ;

根据所述电网电压  $V_t$  和所述电网电流  $I_t$ , 计算得到所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ 。

17、一种调相机控制方法, 包括:

获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ ;

判断所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内;

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下, 通过计算和限幅得到所述变流器的 d 轴电流参考值;

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下, 将所述变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为所述变流器的 d 轴电流参考值;

根据所述变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ , 计算得到所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ ;

对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ;

输出所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

18、根据权利要求 17 所述的方法, 其中, 所述对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅, 得到所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 包括:

在  $I_{gqmin} \leq I_{gqref1} \leq I_{gqmax}$  的情况下, 所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqref1}$ ;

在  $I_{gqref1} > I_{gqmax}$  的情况下, 所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmax}$ ;

在  $I_{gqref1} < I_{gqmin}$  的情况下, 所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmin}$ ;

其中,  $I_{gqmax}$  为所述变流器的 q 轴电流参考值的上限值,  $I_{gqmin}$  为所述变流器的 q 轴电流参考值的下限值。

19、根据权利要求 18 所述的方法, 其中, 在所述对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅之前, 还包括:

根据所述变流器的 d 轴电流参考值, 分别计算得到所述变流器的 q 轴电流

参考值的上限值  $I_{gqmax}$  和下限值  $I_{gqmin}$ 。

20、根据权利要求 17-19 中任一项所述的方法，其中，所述通过计算和限幅得到所述变流器的 d 轴电流参考值，包括：

根据所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$ ，通过计算得到所述变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$ ；

对所述变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  进行限幅处理，得到所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2}$ 。

21、根据权利要求 20 所述的方法，其中，所述对所述变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  进行限幅处理，得到所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2}$ ，包括：

在  $I_{gmin} \leq I_{gdref1} \leq I_{gmax}$  的情况下，所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdref1}$ ；

在  $I_{gdref1} > I_{gmax}$  的情况下，所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gmax}$ ；

在  $I_{gdref1} < I_{gmin}$  的情况下，所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gmin}$ ；

其中， $I_{gmax}$  为所述变流器的 d 轴电流参考值的上限值， $I_{gmin}$  为所述变流器的 d 轴电流参考值的下限值。

22、一种调相机控制装置，包括：

数据获取单元，设置为获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ ；

判断单元，设置为判断所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内；在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下，通过计算和限幅得到所述变流器的 d 轴电流参考值；在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下，将所述变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为所述变流器的 d 轴电流参考值；

计算单元，设置为根据所述变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ ，计算得到所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ ；

限幅单元，设置为对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅，得到所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ；

输出单元，设置为输出所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ，所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴

电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

23、根据权利要求 22 所述的装置，其中，所述限幅单元是设置为：

在  $I_{gqmin} \leq I_{gqref1} \leq I_{gqmax}$  的情况下，所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqref1}$ ；

在  $I_{gqref1} > I_{gqmax}$  的情况下，所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmax}$ ；

在  $I_{gqref1} < I_{gqmin}$  的情况下，所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2} = I_{gqmin}$ ；

其中， $I_{gqmax}$  为所述变流器的 q 轴电流参考值的上限值， $I_{gqmin}$  为所述变流器的 q 轴电流参考值的下限值。

24、根据权利要求 23 所述的装置，其中，所述计算单元还设置为：

根据所述变流器的 d 轴电流参考值，分别计算得到所述变流器的 q 轴电流参考值的上限值  $I_{gqmax}$  和下限值  $I_{gqmin}$ 。

25、根据权利要求 22-24 中任一项所述的装置，其中，所述判断单元还设置为：

根据所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$ ，通过计算得到所述变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$ ；

对所述变流器的 d 轴电流参考值的初步值  $I_{gdref1}$  进行限幅处理，得到所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2}$ 。

26、根据权利要求 25 所述的装置，其中，所述限幅单元是设置为：

在  $I_{gdmin} \leq I_{gdref1} \leq I_{gdmax}$  的情况下，所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdref1}$ ；

在  $I_{gdref1} > I_{gdmax}$  的情况下，所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdmax}$ ；

在  $I_{gdref1} < I_{gdmin}$  的情况下，所述变流器的 d 轴电流参考值的最终值  $I_{gdref2} = I_{gdmin}$ ；

其中， $I_{gdmax}$  为所述变流器的 d 轴电流参考值的上限值， $I_{gdmin}$  为所述变流器的 d 轴电流参考值的下限值。

27、一种调相机系统，包括：

采集装置，设置为采集电力数据，并将所述电力数据发送给控制装置，所述电力数据包括以下至少一项：电网频率、电网电压、调相机的转速、调相机

系统中变流器的直流侧电压、调相机系统中变流器的交流侧无功功率；

所述控制装置，设置为获取所述电力数据，并根据如权利要求 1-8、17-21 中任一项所述的方法输出控制信号，所述控制信号包括以下至少一项：调相机无功功率参考值的最终值、调相机有功功率参考值的最终值、变流器的 d 轴电流参考值、变流器的 q 轴电流参考值的最终值；

变频器，设置为接收所述控制信号，并根据所述控制信号来控制异步电机运转；

所述异步电机，设置为在所述变频器的控制下实现对电网异常的调节；

其中，所述采集装置分别与电网、所述异步电机以及所述控制装置相连，所述控制装置与所述变频器相连，所述变频器与所述异步电机相连。

28、根据权利要求 27 所述的系统，其中，所述变频器包括：机侧变流器和网侧变流器；

所述机侧变流器与所述异步电机和所述网侧变流器相连，所述网侧变流器与所述电网相连。

29、根据权利要求 28 所述的系统，其中，所述机侧变流器和所述网侧变流器均为全控型变流器。

30、一种计算机存储介质，存储有计算机程序，所述计算机程序用于实现：  
获取调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$ ；

对所述调相机无功功率参考值的初步值  $Q_{ref1}$  进行限幅处理，得到所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$ ；

获取电网频率并判断所述电网频率是否在频率死区之内，在所述电网频率不在所述频率死区之内的情况下，根据所述电网频率，计算得到调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$ ；

对所述调相机有功功率参考值的初步值  $P_{ref1}$  进行限幅处理，得到所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ；

输出所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$ ，所述调相机无功功率参考值的最终值  $Q_{ref2}$  和所述调相机有功功率参考值的最终值  $P_{ref2}$  用于实现对调相机的控制。

31、一种计算机存储介质，存储有计算机程序，所述计算机程序用于实现：  
获取调相机系统中的变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  和交流侧无功功率  $Q_g$ ；

判断所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  是否在电压死区之内；

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  不在所述电压死区之内的情况下,通过计算和限幅得到所述变流器的 d 轴电流参考值;

在所述变流器的直流侧电压  $E_{dc}$  在所述电压死区之内的情况下,将所述变流器的 d 轴电流参考值的先前值作为所述变流器的 d 轴电流参考值;

根据所述变流器的交流侧无功功率  $Q_g$ , 计算得到所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$ ;

对所述变流器的 q 轴电流参考值的初步值  $I_{gqref1}$  进行限幅,得到所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ ;

输出所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$ , 所述变流器的 d 轴电流参考值和所述变流器的 q 轴电流参考值的最终值  $I_{gqref2}$  用于实现对调相机的控制。

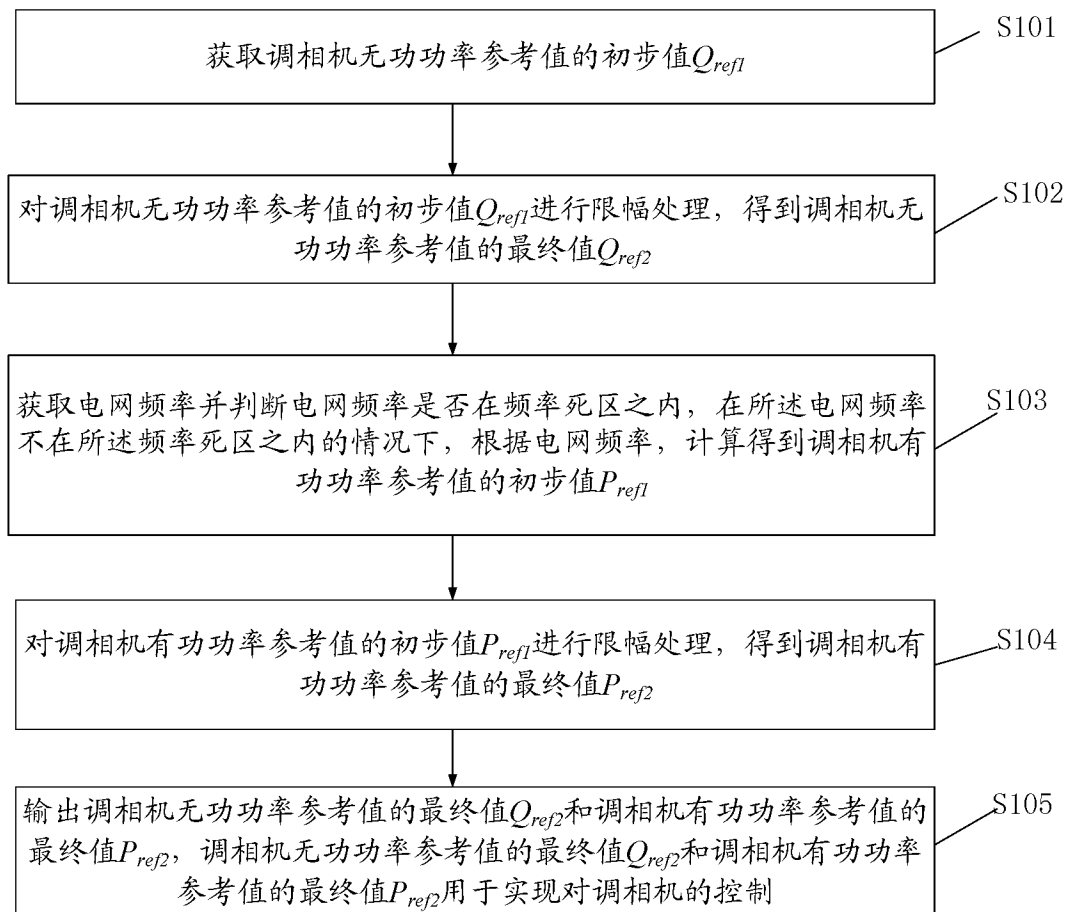


图 1

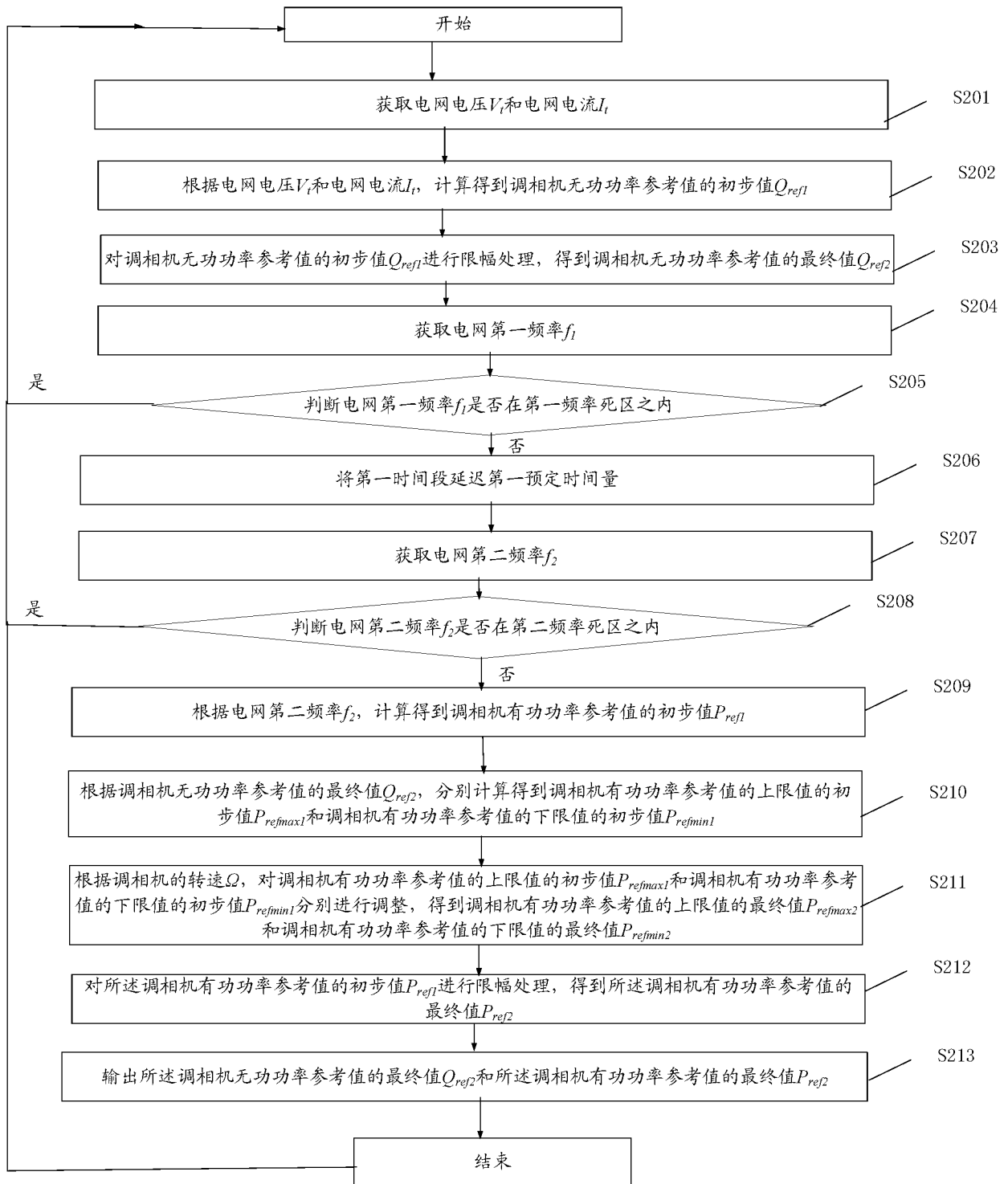


图 2

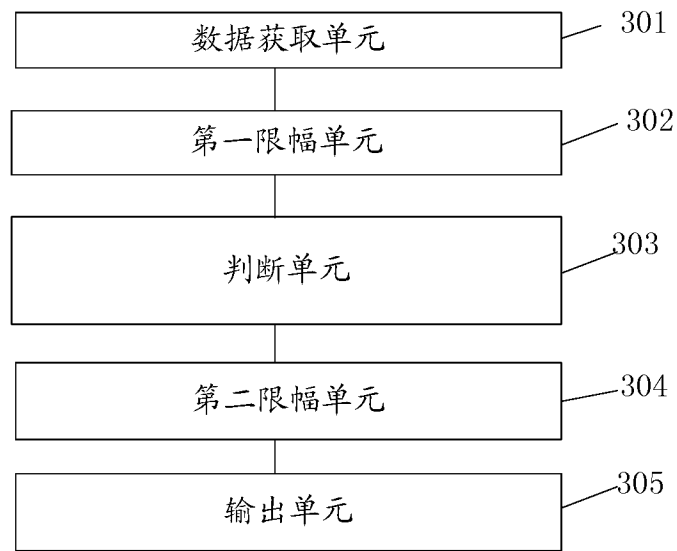


图 3

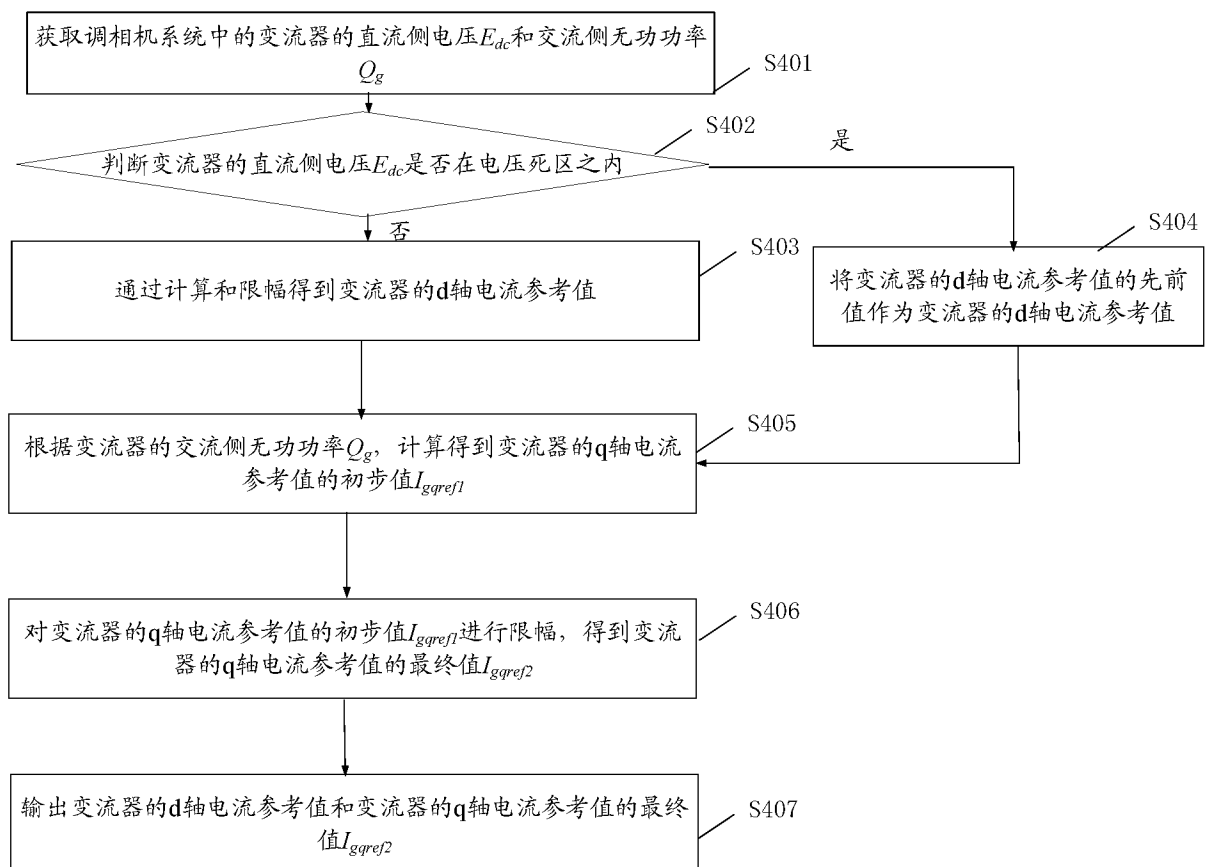


图 4

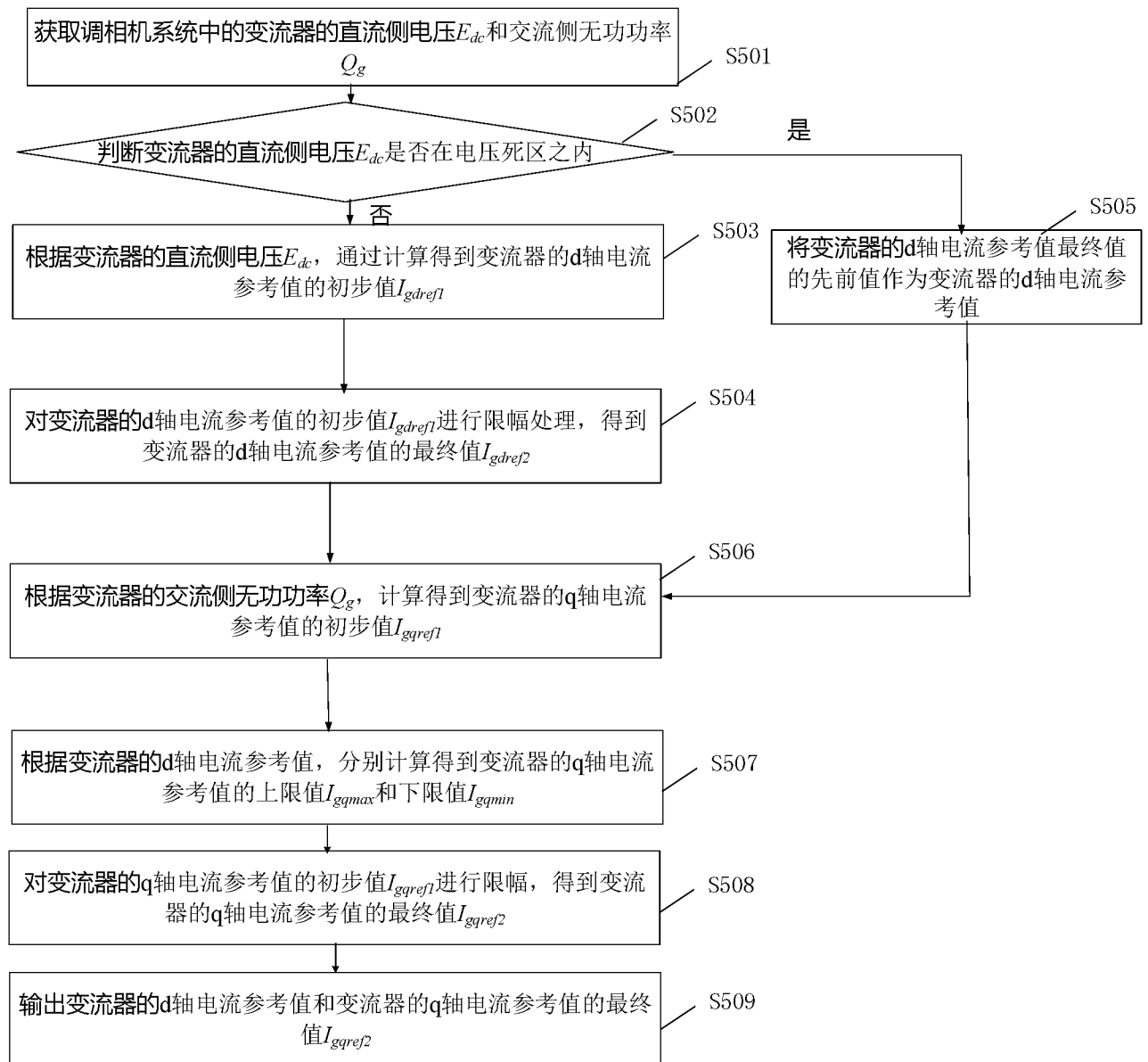


图 5

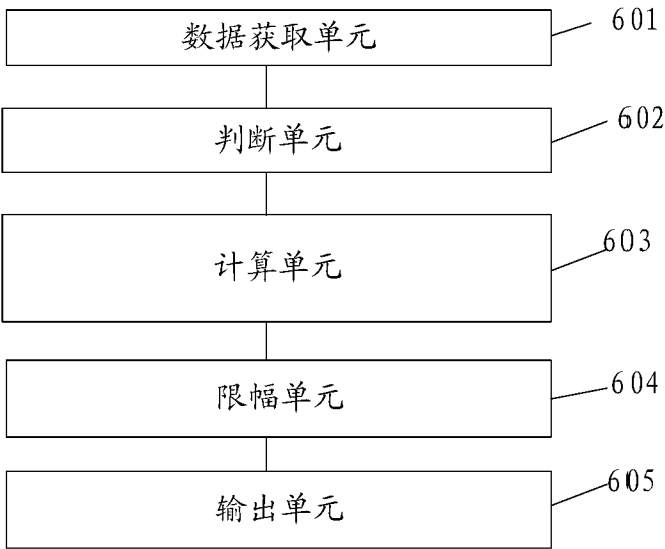


图 6

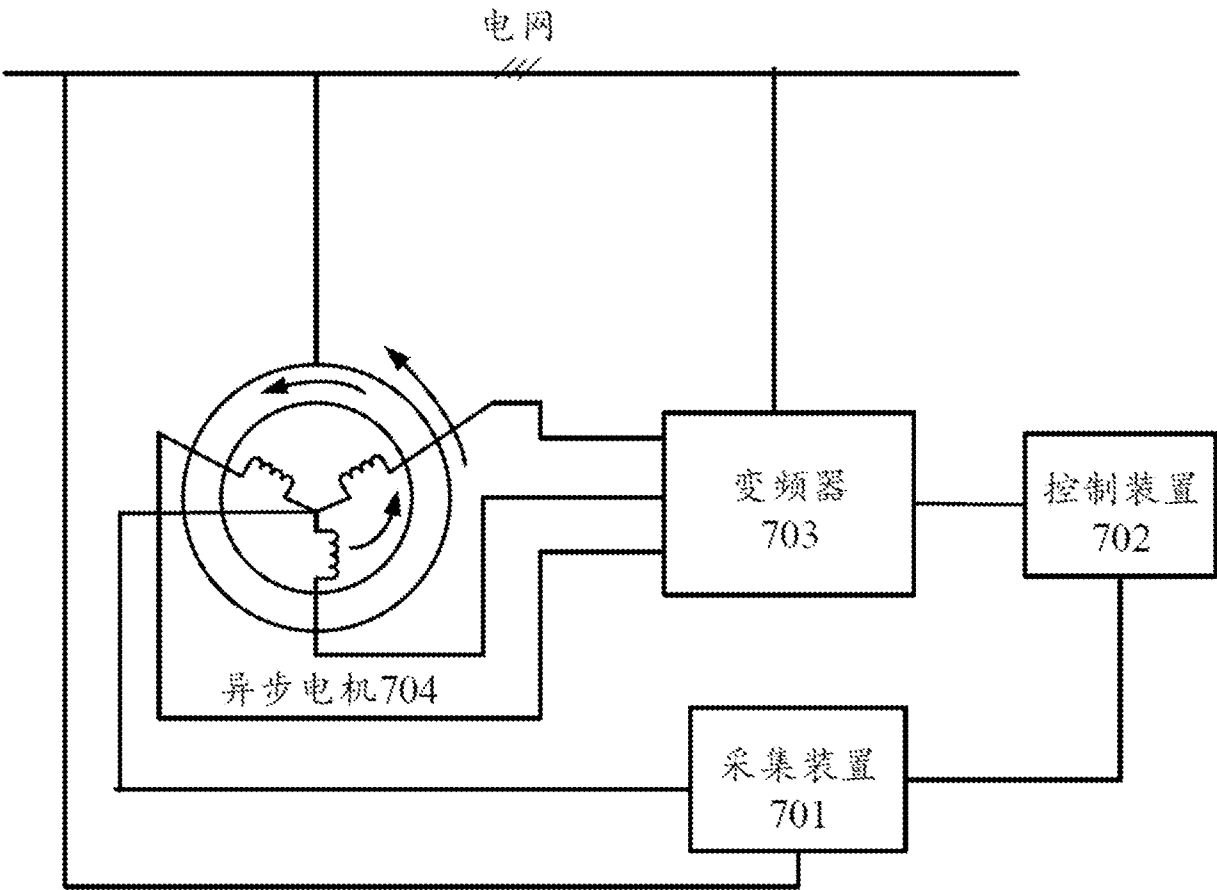


图 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2020/105681

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

H02J 3/18(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)

H02J3/-

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)

CNABS; CNTXT; CNKI; VEN; IEEE; USTXT; EPTXT; WOTXT: 调相机, 无功功率, 有功功率, 频率, 直流, 电压, 参考值, 转速, 上限, 下限, condenser, reactive power, active power, frequency, dc, directive current, voltage, reference, rotor speed, upper limit, lower limit

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| PX        | CN 111193273 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) 22 May 2020 (2020-05-22)<br>description, paragraphs 35-117, figures 1-7                  | 1-31                  |
| PX        | CN 111262254 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE) 09 June 2020 (2020-06-09)<br>description, paragraphs 35-117, figures 1-7                 | 1-31                  |
| A         | CN 108281970 A (HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY) 13 July 2018 (2018-07-13)<br>description, paragraphs 62-131, figures 1-3           | 1-31                  |
| A         | CN 110061475 A (CHINA ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE CO., LTD. et al.) 26 July 2019 (2019-07-26)<br>description, paragraphs 26-61, figures 1-2 | 1-31                  |
| A         | CN 110661269 A (RESEARCH INSTITUTE OF STATE GRID HUBEI ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 07 January 2020 (2020-01-07)<br>entire document             | 1-31                  |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

“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

“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)

“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

“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

“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

“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

“&amp;” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

28 December 2020

Date of mailing of the international search report

15 January 2021

Name and mailing address of the ISA/CN

**China National Intellectual Property Administration (ISA/CN)**  
**No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088**  
**China**

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.

**PCT/CN2020/105681****C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages                                                                      | Relevant to claim No. |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| A         | CN 110661274 A (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE OF STATE GRID SHANDONG ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 07 January 2020 (2020-01-07)<br>entire document | 1-31                  |
| A         | US 2016087475 A1 (LSIS CO., LTD.) 24 March 2016 (2016-03-24)<br>entire document                                                                         | 1-31                  |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
**Information on patent family members**

International application No.

**PCT/CN2020/105681**

| Patent document<br>cited in search report |            |    | Publication date<br>(day/month/year) | Patent family member(s) |             |    | Publication date<br>(day/month/year) |
|-------------------------------------------|------------|----|--------------------------------------|-------------------------|-------------|----|--------------------------------------|
| CN                                        | 111193273  | A  | 22 May 2020                          | CN                      | 111193273   | B  | 17 July 2020                         |
| CN                                        | 111262254  | A  | 09 June 2020                         | CN                      | 111262254   | B  | 11 August 2020                       |
| CN                                        | 108281970  | A  | 13 July 2018                         | US                      | 10411627    | B2 | 10 September 2019                    |
|                                           |            |    |                                      | CN                      | 108281970   | B  | 25 October 2019                      |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 2019199255  | A1 | 27 June 2019                         |
| CN                                        | 110061475  | A  | 26 July 2019                         | None                    |             |    |                                      |
| CN                                        | 110661269  | A  | 07 January 2020                      | None                    |             |    |                                      |
| CN                                        | 110661274  | A  | 07 January 2020                      | None                    |             |    |                                      |
| US                                        | 2016087475 | A1 | 24 March 2016                        | JP                      | 6139614     | B2 | 31 May 2017                          |
|                                           |            |    |                                      | US                      | 9837822     | B2 | 05 December 2017                     |
|                                           |            |    |                                      | KR                      | 20160035509 | A  | 31 March 2016                        |
|                                           |            |    |                                      | KR                      | 101677802   | B1 | 29 November 2016                     |
|                                           |            |    |                                      | JP                      | 2016073193  | A  | 09 May 2016                          |

## 国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2020/105681

## A. 主题的分类

H02J 3/18(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)

H02J3/-

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))

CNABS;CNTXT;CNKI;VEN;IEEE;USTXT;EPTXT;WOTXT:调相机, 无功功率, 有功功率, 频率, 直流, 电压, 参考值, 转速, 上限, 下限, condenser, reactive power, active power, frequency, dc, directive current, voltage, reference, rotor speed, upper limit, lower limit

## 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 |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| PX   | CN 111193273 A (中国电力科学研究院有限公司) 2020年 5月 22日 (2020 - 05 - 22)<br>说明书第35-117段, 附图1-7  | 1-31    |
| PX   | CN 111262254 A (中国电力科学研究院有限公司) 2020年 6月 9日 (2020 - 06 - 09)<br>说明书第35-117段, 附图1-7   | 1-31    |
| A    | CN 108281970 A (华中科技大学) 2018年 7月 13日 (2018 - 07 - 13)<br>说明书第62-131段, 附图1-3         | 1-31    |
| A    | CN 110061475 A (中国电力科学研究院有限公司 等) 2019年 7月 26日 (2019 - 07 - 26)<br>说明书第26-61段, 附图1-2 | 1-31    |
| A    | CN 110661269 A (国网湖北省电力有限公司电力科学研究院 等) 2020年 1月 7日<br>(2020 - 01 - 07)<br>全文         | 1-31    |
| A    | CN 110661274 A (国网山东省电力公司电力科学研究院 等) 2020年 1月 7日 (2020 - 01 - 07)<br>全文              | 1-31    |

☒ 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

“&amp;” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期

2020年 12月 28日

国际检索报告邮寄日期

2021年 1月 15日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中国国家知识产权局(ISA/CN)

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

姜婷婷

电话号码 86-(20)-28958038

## 国际检索报告

|       |  |
|-------|--|
| 国际申请号 |  |
|-------|--|

PCT/CN2020/105681

### 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 |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|---------|
| A     | US 2016087475 A1 (LSIS CO., LTD.) 2016年 3月 24日 (2016 - 03 - 24)<br>全文 | 1-31    |
| <hr/> |                                                                       |         |

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2020/105681

| 检索报告引用的专利文件 |            |    | 公布日<br>(年/月/日) | 同族专利             | 公布日<br>(年/月/日) |
|-------------|------------|----|----------------|------------------|----------------|
| CN          | 111193273  | A  | 2020年 5月 22日   | CN 111193273 B   | 2020年 7月 17日   |
| CN          | 111262254  | A  | 2020年 6月 9日    | CN 111262254 B   | 2020年 8月 11日   |
| CN          | 108281970  | A  | 2018年 7月 13日   | US 10411627 B2   | 2019年 9月 10日   |
|             |            |    |                | CN 108281970 B   | 2019年 10月 25日  |
|             |            |    |                | US 2019199255 A1 | 2019年 6月 27日   |
| CN          | 110061475  | A  | 2019年 7月 26日   | 无                |                |
| CN          | 110661269  | A  | 2020年 1月 7日    | 无                |                |
| CN          | 110661274  | A  | 2020年 1月 7日    | 无                |                |
| US          | 2016087475 | A1 | 2016年 3月 24日   | JP 6139614 B2    | 2017年 5月 31日   |
|             |            |    |                | US 9837822 B2    | 2017年 12月 5日   |
|             |            |    |                | KR 20160035509 A | 2016年 3月 31日   |
|             |            |    |                | KR 101677802 B1  | 2016年 11月 29日  |
|             |            |    |                | JP 2016073193 A  | 2016年 5月 9日    |