

(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
2020 年 3 月 19 日 (19.03.2020)



(10) 国际公布号
WO 2020/052685 A1

- (51) 国际专利分类号:
H02J 3/24 (2006.01) **H02J 3/18** (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2019/105937
- (22) 国际申请日: 2019 年 9 月 16 日 (16.09.2019)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201811069783.3 2018 年 9 月 13 日 (13.09.2018) CN
- (71) 申请人: 国网青海省电力公司 (STATE GRID QINGHAI ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国青海省西宁市胜利路 89 号, Qinghai 810008 (CN)。 国网青海省电力公司经济
技术研究院 (ECONOMIC TECHNOLOGY RESEARCH INSTITUTE, STATE GRID QIANGHAI

ELECTRIC POWER COMPANY) [CN/CN]; 中国青海省西宁市五四西路 80 号, Qinghai 810008 (CN)。 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)。 国家电网有限公司 (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: 马雪 (MA, Xue); 中国青海省西宁市五四西路 80 号, Qinghai 810008 (CN)。 杜宁 (DU, Ning); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing 100192 (CN)。 张祥成 (ZHANG, Xiangcheng); 中国青海省西宁市五四西路 80 号, Qinghai 810008 (CN)。 宋瑞华 (SONG, Ruihua); 中国北京市海淀区清河小营东路 15 号, Beijing

(54) Title: METHOD AND SYSTEM FOR SUPPRESSING SUBSYNCHRONOUS OSCILLATION OF THERMAL POWER UNIT

(54) 发明名称: 抑制火电机组次同步振荡的方法及系统

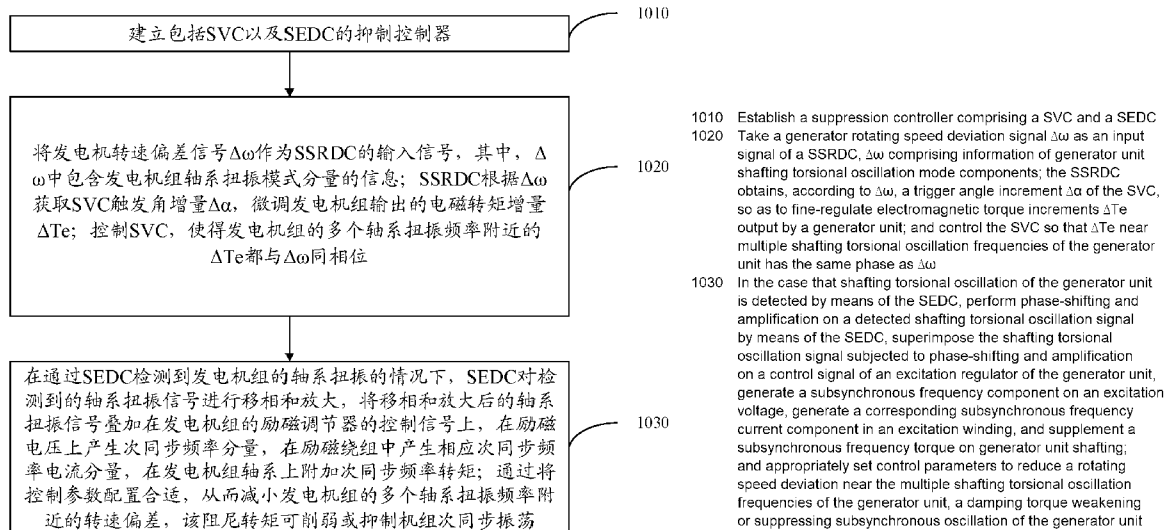


图 1

(57) Abstract: A method and system for suppressing subsynchronous oscillation of a thermal power unit. The method comprises: taking a generator rotating speed deviation signal $\Delta\omega$ as an input signal of a subsynchronous resonance damping controller (SSRDC), $\Delta\omega$ comprising information of generator unit shafting torsional oscillation mode components; controlling the SSRDC to obtain, according to $\Delta\omega$, a trigger angle increment $\Delta\alpha$ of a static var compensator (SVC), so as to regulate electromagnetic torque increments ΔT_e corresponding to multiple shafting torsional oscillation frequencies output by a generator unit; and controlling the SVC so that ΔT_e corresponding to the multiple shafting torsional oscillation frequencies has the same phase as $\Delta\omega$ (1020), thereby suppressing subsynchronous oscillation of the generator unit. In the case that shafting torsional oscillation of the generator unit is detected by means of a supplementary excitation damping controller (SEDC), performing phase-shifting and amplification on a detected shafting torsional oscillation signal by means of the SEDC, and superimposing the



100192 (CN)。田旭(TIAN, Xu); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。姜红利(JIANG, Hongli); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。李楠(LI, Nan); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。周佩朋(ZHOU, Peipeng); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。陶昕(TAO, Xin); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。杨大业(YANG, Daye); 中国北京市海淀区清河小营东路15号, Beijing 100192 (CN)。彭飞(PENG, Fei); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。刘飞(LIU, Fei); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。陈雪(CHEN, Xue); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。侯胜林(HOU, Shenglin); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。梁国勇(LIANG, Guoyong); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。车琰瑛(CHE, Yanying); 中国青海省西宁市五四西路80号, Qinghai 810008 (CN)。

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))。

(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, 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, 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, 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,

shafting torsional oscillation signal subjected to phase-shifting and amplification on a control signal of an excitation regulator of the generator unit, thereby suppressing subsynchronous oscillation of the generator unit.

(57) 摘要: 一种抑制火电机组次同步振荡的方法及系统, 所述方法包括: 将发电机转速偏差信号 $\Delta\omega$ 作为次同步振荡阻尼控制器SSRDC的输入信号, 其中, $\Delta\omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息; 控制SSRDC根据 $\Delta\omega$ 获取静止无功补偿器SVC触发角增量 $\Delta\alpha$ 以调节发电机组输出的多个轴系扭振频率对应的电磁转矩增量 ΔT_e ; 控制SVC, 使得多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与 $\Delta\omega$ 同相位(1020), 以抑制机组次同步振荡; 在通过附加励磁阻尼控制器SEDC检测到发电机组的轴系扭振的情况下, 通过SEDC对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大, 将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在发电机组的励磁调节器的控制信号上, 以抑制机组次同步振荡。

抑制火电机组次同步振荡的方法及系统

本申请要求在2018年09月13日提交中国专利局、申请号为201811069783.3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

本申请涉及发电机组次同步振荡抑制技术领域，例如，涉及一种抑制火电机组次同步振荡的方法及系统。

背景技术

电力系统中应用串联补偿技术、高压直流输电（High-Voltage Direct Current, HVDC）技术以及大规模新能源接入都可能引起次同步振荡问题。次同步振荡是电气系统与汽轮发电机组转子机械系统之间的一种次同步频率机电耦合振荡现象，会引起发电机组转子轴系持续甚至是增幅的扭转振荡，产生轴系疲劳损耗，严重情况下导致机组轴系损坏事故。次同步振荡问题若无法得到妥善解决，一方面会对发电机组设备构成威胁，直接影响到电力系统及设备的安全稳定运行；另一方面，由于次同步振荡导致串补或高压直流输电系统无法完全投运，会大大制约线路的输送能力，造成严重的经济损失。

常见的次同步振荡措施可分为主动抑制措施和被动抑制措施；而对于主动抑制措施，根据抑制设备安装位置，又可分为两类。比较常见的抑制措施包括附加励磁阻尼控制器（Supplementary Excitation Damping Controller, SEDC）、静止无功补偿器（Static Var Compensator, SVC）等。

SEDC是在发电机组的励磁控制器上加装的阻尼控制器。该控制器在检测到发电机组轴系扭振时，按照一定的控制策略对发电机的励磁系统进行调节，以降低系统的次同步振荡。但由于SEDC装于发电机励磁系统，受到励磁系统容量限制，抑制效果有限。

SVC是一种成熟的柔性交流输电系统（Flexible Alternating Current Transmission Systems, FACTS）装置，可装设于电厂高压汇集母线处。由于FACTS装置具有灵活快速的调节能力，当检测到系统发生次同步振荡时，通过一定的控制策略，快速改变其本身的等效阻抗，以增加对次同步振荡的阻尼。然而FACTS装置作为一次设备，价格较贵。

发明内容

本申请技术方案提供一种抑制火电机组次同步振荡的方法及系统，以解决如何抑制火电机组次同步振荡的问题。

本申请提供了一种抑制火电机组次同步振荡的方法，所述方法包括：

将发电机转速偏差信号 $\Delta \omega$ 作为次同步振荡阻尼控制器（Subsynchronous Resonance Damping Controller, SSRDC）的输入信号，其中， $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息；控制所述 SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 来获取 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$ 以调节发电机组输出的多个轴系扭振频率对应的电磁转矩增量 ΔT_e ；控制 SVC，使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位，以抑制机组次同步振荡；

在通过 SEDC 检测到发电机组的轴系扭振的情况下，通过所述 SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大，将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在所述发电机组的励磁调节器的控制信号上，以抑制机组次同步振荡。

一实施例中，通过所述 SSRDC 求得所述 $\Delta \alpha$ 到所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性；通过所述 SSRDC 的阻尼控制器 $C(s)$ 补偿 $G(s)$ 的相位滞后，使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位。

一实施例中，在所述 SEDC 的输入信号为所述 $\Delta \omega$ 的情况下，利用测试信号法获取所述发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的相位关系；通过调整所述 SEDC 的超前滞后环节的参数使得所述 $\Delta \omega$ 和所述 ΔU_{SEDC} 之间的相位相同或者相位差小于或等于 90 度。

一实施例中，将所述 SSRDC 扩展成多通道阻尼控制器（Multichannel Subsynchronous Resonance Damping Controller, MSSRDC），所述 MSSRDC 采用多个模态控制通道，所述多个模态控制通道相互独立；控制所述多个模态控制通道中的多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行滤波处理，并分别进行放大和相位补偿；将所述多个通道触发的角信号增量相加后发送到所述 SVC 的触发单元完成触发，通过所述 SVC 的触发单元获取所述 $\Delta \alpha$ 。

一实施例中，在所述 SVC 需要检修的情况下，利用所述 SEDC 抑制次同步振荡。

一实施例中，所述 SVC 作为主抑制措施，所述 SEDC 作为辅助抑制措施。

本申请还提供了一种抑制火电机组次同步振荡的系统，所述系统包括：

第一抑制单元，设置为将发电机转速偏差信号 $\Delta \omega$ 作为所述 SSRDC 的输入信号，其中， $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息；控制所述 SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取所述 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$ 以调节发电机组输出的多个轴系扭振频

率对应的 ΔT_e ；控制 SVC，使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位，以抑制机组次同步振荡；

第二抑制单元，设置为在通过所述 SEDC 在检测到发电机组的轴系扭振的情况下，通过所述 SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大，将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在所述发电机组的励磁调节器的控制信号上，以抑制机组次同步振荡。

一实施例中，所述第一抑制单元设置为通过所述 SSRDC 求得所述 $\Delta \alpha$ 到所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性；通过所述 SSRDC 的阻尼控制器 $C(s)$ 补偿 $G(s)$ 的相位滞后，使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位。

一实施例中，所述第二抑制单元还设置为在 SEDC 的输入信号为所述 $\Delta \omega$ 的情况下，利用测试信号法获取发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的相位关系；通过调整所述 SEDC 的超前滞后环节的参数使得 $\Delta \omega$ 和 ΔU_{SEDC} 之间的相位相同或者相位差小于或等于 90 度。

一实施例中，所述第一抑制单元是设置为通过如下方式控制所述 SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取所述 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$ ：将所述 SSRDC 扩展成 MSSRDC，所述 MSSRDC 采用多个模态控制通道，所述多个模态控制通道相互独立；控制所述多个模态控制通道中的多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行滤波处理，并分别进行放大和相位补偿；将所述多个通道的触发角信号增量相加后发送到所述 SVC 的触发单元，通过所述 SVC 的触发单元获取所述 $\Delta \alpha$ 。

一实施例中，所述系统还包括第三抑制单元，所述第三抑制单元设置为在所述 SVC 需要检修的情况下，利用所述 SEDC 抑制次同步振荡。

一实施例中，所述 SVC 作为主抑制措施，所述 SEDC 作为辅助抑制措施。

附图说明

图 1 为本申请一实施例提供的一种抑制火电机组次同步振荡的方法的流程图；

图 2 为本申请一实施例提供的一种 SVC+SEDC 的次同步振荡抑制方法的接线示意图；

图 3 为本申请一实施例提供的一种 SVC 抑制次同步振荡的原理示意图；

图 4 为本申请一实施例提供的一种 MSSRDC 控制器示意图；

图 5 为本申请一实施例提供的一种 SEDC 的基本结构示意图；

图 6 为本申请一实施例提供的一种抑制火电机组次同步振荡的系统结构图；

图 7 为本申请一实施例提供的一种单独采用 SEDC、单独采用 SVC 及采用 SVC 和 SEDC 时发电机组的电气阻尼示意图；

图 8 为本申请一实施例提供的另一种抑制火电机组次同步振荡的系统结构图。

具体实施方式

参考附图介绍本申请的示例性实施方式，本申请可以用许多不同的形式来实施，并且不局限于本文描述的实施例，提供这些实施例是为了公开本申请，并且向所属技术领域的技术人员传达本申请的范围。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申请的限定。在附图中，相同的单元/元件使用相同的附图标记。

除非另有说明，本文使用的术语（包括科技术语）对所属技术领域的技术人员具有通常的理解含义。另外，以通常使用的词典限定的术语，应当被理解为与其相关领域的语境具有一致的含义，而不应该被理解为理想化的或过于正式的意义。

图 1 为本申请一实施例提供的一种抑制火电机组次同步振荡的方法流程图。该方法利用相关技术中的 SVC 和发电机励磁系统的控制装置，通过在该控制装置的控制器中增加阻尼控制模块，实现次同步振荡阻尼控制。本实施例中，SVC 与发电机组连接，SVC 中设置有 SSRDC，SEDC 位于发电机组内部。

本申请提出同时采用两种抑制装置——SVC 以及 SEDC 进行发电机组的次同步振荡抑制，在经济性和可控性上预计有更好的效果。两种控制器在次同步振荡抑制方面为和的关系。SVC 抑制能力强，SEDC 投资小。两者联合抑制发电机组的次同步振荡，一方面可以降低 SVC 的容量，降低投资；另一方面，在 SVC 检修时可采用 SEDC 进行备用，在发生次同步振荡时可以减缓振荡幅度，延迟切机保护动作时间，从而给运行人员更多时间采取调整系统运行方式的手段消除机组次同步振荡。

如图 1 所示，图 1 为本申请一实施例提供的一种抑制火电机组次同步振荡的方法的流程图，该方法包括：

步骤 1010：建立包括 SVC 以及 SEDC 的抑制控制器。本申请提出的抑制方法包括，在发电机励磁系统中增加附加阻尼控制环节，在发电厂高压母线侧装设 SVC 并设置相应的附加阻尼控制环节。一实施例中，SVC 在用作次同步振荡

抑制时可称作 SSRDC。接线图如图 2 所示。

步骤 1020: 将发电机转速偏差信号 $\Delta \omega$ 作为 SSRDC 的输入信号, 其中, $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息; SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$, 微调发电机组输出的电磁转矩增量 ΔT_e ; 控制 SVC, 使得发电机组的多个轴系扭振频率附近的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位; 在发电机组的多个轴系扭振频率附近的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位的情况下, 在每个轴系扭振频率 $\pm$ 预设频率的范围内, SVC 对发电机组轴系提供正的电气阻尼, 实现抑制次同步振荡。一实施例中, 预设频率为 1Hz~2Hz 内的频率。

一实施例中, SSRDC 首先求得 $\Delta \alpha$ 到发电机组的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性; 然后设计合理的阻尼控制器 $C(s)$ 来补偿 $G(s)$ 的相位滞后, 使得 SVC 在发电机组的轴系扭振频率处能够提供电气阻尼。

一实施例中, 在 SEDC 选取 $\Delta \omega$ 作为 SEDC 的输入信号的情况下, 首先利用测试信号法获取发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和相应的 ΔT_e 之间的相位关系; 再通过调整 SEDC 的超前滞后环节的参数来改变 $\Delta \omega$ 和 ΔU_{SEDC} 之间的相位关系, 达到理想的 ΔT_e 和 $\Delta \omega$ 的相位特性, 即产生的附加转矩 ΔT_e 能够减小发电机组的多个扭振频率附近的转速偏差。

一实施例中, 将 SSRDC 扩展成 MSSRDC, MSSRDC 采用多个模态控制通道, 并且多个模态控制通道相互独立; 多个模态控制通道中的多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行处理, 并分别进行放大和相位补偿, 最后将多个通道触发的角信号增量相加后发送到 SVC 的触发单元, 完成触发。

本申请中, SVC 抑制次同步振荡的基本原理可以通过图 3 简要说明。 $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息, 常作为 SSRDC 的输入信号。SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 来控制 $\Delta \alpha$, 进而微调发电机组输出的 ΔT_e 。若能恰当控制 SVC, 进而使得发电机组的每个轴系扭振频率附近的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位, 则在每个轴系扭振频率附近, SVC 就能对发电机组轴系提供正的电气阻尼, 实现抑制次同步振荡的目的。

SSRDC 控制器设计的关键是: 首先求得 $\Delta \alpha$ 到发电机组的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性; 然后设计合理的阻尼控制器 $C(s)$ 来补偿 $G(s)$ 的相位滞后, 使得 SVC 在发电机组的轴系扭振频率处能够提供合适大小的电气阻尼。 $G(s)$ 可以通过测试信号法计算获得。

由于发电机组轴系通常包含多个扭振模式, 图 3 所示的单通道控制器在对一个扭振模式提供正阻尼的同时, 却可能对另外一个扭振模式提供负的阻尼。为了防止这种情况发生, 可以将 SSRDC 扩展成如图 4 所示的 MSSRDC。MSSRDC

采用多个模态控制通道，并且相互独立。多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行处理，并分别进行放大和相位补偿。最后将多个通道触发的角信号增量相加后发送到 SVC 的触发单元，完成触发。

步骤 1030：在通过 SEDC 检测到发电机组的轴系扭振的情况下，SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大，将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在发电机组的励磁调节器的控制信号上，在励磁电压上产生次同步频率分量，在励磁绕组中产生相应次同步频率电流分量，在发电机组轴系上附加次同步频率转矩；通过将控制参数配置合适，从而减小发电机组的多个轴系扭振频率附近的转速偏差，该阻尼转矩可削弱或抑制机组次同步振荡。

本申请用于抑制系统次同步振荡的 SEDC 的设计，本申请的主要思想类似于电力系统静态稳定器（Power System Stabilizer, PSS）抑制系统低频振荡。在检测到发电机组的轴系扭振的情况下，SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行适当的移相和放大，将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在发电机组的励磁调节器的控制信号上，在励磁电压上产生次同步频率分量，因此可在励磁绕组中产生相应次同步频率电流分量，在发电机组轴系上附加次同步频率转矩，若控制参数配置合适，该阻尼转矩可削弱或抑制机组次同步振荡。

SEDC 设计基本思路是，在选取 $\Delta\omega$ 作为 SEDC 的输入信号的情况下，首先利用测试信号法获取发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和相应的 ΔT_e 之间的相位关系。之后通过调整 SEDC 的超前滞后环节的参数来改变 $\Delta\omega$ 和 ΔU_{SEDC} 之间的相位关系，从而最终达到理想的 ΔT_e 和 $\Delta\omega$ 的相位特性。相应的 SEDC 基本结构如图 5 所示。

一实施例中，在 SVC 需要检修的情况下，利用 SEDC 抑制次同步振荡。

一实施例中，SVC 作为主抑制措施，SEDC 作为辅助抑制措施。

本申请单独采用两种抑制措施都可有效提高机组的次同步电气阻尼。当同时采用两种抑制措施时，机组阻尼体现为两种单独措施的叠加，这表明，SEDC 和 SVC 两种抑制措施之间没有产生相互不利的影响，因此，采用两种措施联合抑制次同步振荡可以起到更好的效果。本申请实施方式与仅采用 SVC 进行抑制相比，在采用 SEDC 之后，SVC 的容量可适当降低，从而在经济性上具有更好的效果。此外，在次同步振荡相对较弱的系统中，若 SVC 需要检修时，可仅采用 SEDC 进行抑制，当发电机组因为系统扰动产生次同步振荡时，SEDC 可以起到一定的抑制效果，减缓振荡幅度，延迟切机保护动作时间，从而给运行人员更多时间采取调整系统运行方式的手段消除机组次同步振荡。

图 6 为本申请一实施例提供的一种抑制火电机组次同步振荡的系统结构图。

如图 6 所示,以电气和电子工程师协会(Institute of Electrical and Electronics Engineers)IEEE 次同步振荡第一标准系统为基础,同时采用 SEDC 和 SVC。SVC 安装于发电机出口,容量为发电机的 10%。外送线路串联补偿度为 50%。

图 7 为本申请一实施例提供的一种单独采用 SEDC、单独采用 SVC 及采用 SVC 和 SEDC 时发电机组的电气阻尼示意图。由图 7 可见,单独采用两种抑制措施都可有效提高机组的次同步电气阻尼。当同时采用两种抑制措施时,机组阻尼体现为两种单独措施的叠加,这表明,SEDC 和 SVC 两种抑制措施之间没有产生相互不利的影响,因此,采用两种措施联合抑制次同步振荡可以起到更好的效果。

图 8 为根据本申请一实施例提供的另一种抑制火电机组次同步振荡的系统结构图。如图 8 所示,一种抑制火电机组次同步振荡的系统 800,包括:

建立单元 801,设置为建立包括 SVC 以及 SEDC 的抑制控制器。

第一抑制单元 802,设置为将 $\Delta \omega$ 作为 SSRDC 的输入信号,其中, $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息; SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取 SVC 触发 $\Delta \alpha$,微调发电机组输出的 ΔT_e ; 控制 SVC,使得发电机组的多个轴系扭振频率附近的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位;在发电机组的多个轴系扭振频率附近的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位的情况下,在每个轴系扭振频率 $\pm$ 预设频率的范围内, SVC 对发电机组轴系提供正的电气阻尼,实现抑制次同步振荡。一实施例中,预设频域为 1Hz~2Hz。

第二抑制单元 803,设置为在通过 SEDC 检测到发电机组的轴系扭振的情况下, SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大,将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在发电机组的励磁调节器的控制信号上,在励磁电压上产生次同步频率分量,在励磁绕组中产生相应次同步频率电流分量,在发电机组轴系上附加次同步频率转矩;通过将控制参数配置合适,从而减小发电机组的多个轴系扭振频率附近的转速偏差,该阻尼转矩可削弱或抑制机组次同步振荡。

一实施例中,第一抑制单元 802 还设置为 SSRDC 首先求得 $\Delta \alpha$ 到发电机组的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性;然后设计合理的阻尼控制器 $C(s)$ 来补偿 $G(s)$ 的相位滞后,使得 SVC 在发电机组的轴系扭振频率处能够提供电气阻尼。

一实施例中,第二抑制单元 803 还设置为在 SEDC 选取 $\Delta \omega$ 作为 SEDC 的输入信号的情况下,首先利用测试信号法获取发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和相应的 ΔT_e 之间的相位关系;再通过调整 SEDC 的超前滞后环节的参数来改变 $\Delta \omega$ 和 ΔU_{SEDC} 之间的相位关系,达到理想的 ΔT_e 和 $\Delta \omega$ 的相

位特性，即产生的附加转矩 ΔT_e 能够减小发电机组的多个轴系扭振频率附近的转速偏差。

一实施例中，第一抑制单元 802 是设置为通过如下方式控制所述 SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取 $\Delta \alpha$ ：将 SSRDC 扩展成 MSSRDC，MSSRDC 采用多个模态控制通道，并且多个模态控制通道相互独立；多个模态控制通道中的多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行处理，并分别进行放大和相位补偿，最后将多个通道触发的角信号增量相加后发送到 SVC 的触发单元，完成触发。

一实施例中，在系统中同时配置 SVC 及 SEDC 的情况下，与仅配置 SVC 相比，达到同样的抑制效果时，采用 SVC 和 SEDC 方法所需的 SVC 容量相对更小，投资降低。

一实施例中，抑制火电机组次同步振荡的系统中在 SVC 需要检修的情况下，利用 SEDC 抑制次同步振荡。

一实施例中，抑制火电机组次同步振荡的系统中 SVC 作为主抑制措施，SEDC 作为辅助抑制措施。

本申请实施方式中的抑制火电机组次同步振荡的系统 800 与本申请实施方式中的抑制火电机组次同步振荡的方法相对应，本文不再进行赘述。

本文使用的所有术语都根据它们和技术领域的通常含义被解释，除非在本文中被另外明确地定义。所有的参考“一个/所述/该[装置、组件等]”都被解释为所述装置、组件等中的至少一个实例，除非另外明确地说明。本文公开的任何方法的步骤都没必要以公开的准确的顺序运行，除非明确地说明。

权利要求书

1.一种抑制火电机组次同步振荡的方法，包括：

将发电机转速偏差信号 $\Delta \omega$ 作为次同步振荡阻尼控制器 SSRDC 的输入信号，其中，所述 $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息；控制所述 SSRDC 根据所述 $\Delta \omega$ 获取静止无功补偿器 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$ 以调节发电机组输出的多个轴系扭振频率对应的电磁转矩增量 ΔT_e ；控制所述 SVC，使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与所述 $\Delta \omega$ 同相位，以抑制机组次同步振荡；

在通过附加励磁阻尼控制器 SEDC 检测到所述发电机组的轴系扭振的情况下，通过所述 SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大，将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在所述发电机组的励磁调节器的控制信号上，以抑制机组次同步振荡。

2.根据权利要求 1 所述的方法，还包括：

通过所述 SSRDC 求得所述 $\Delta \alpha$ 到所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性；通过所述 SSRDC 的阻尼控制器 $C(s)$ 补偿所述 $G(s)$ 的相位滞后，使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与所述 $\Delta \omega$ 同相位。

3.根据权利要求 1 的方法，还包括：

在所述 SEDC 的输入信号为所述 $\Delta \omega$ 的情况下，利用测试信号法获取所述发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的相位关系；通过调整所述 SEDC 的超前滞后环节的参数使得所述 $\Delta \omega$ 和所述 ΔU_{SEDC} 之间的相位相同或者相位差小于或等于 90 度。

4.根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述控制所述 SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取所述 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$ ，包括：

将所述 SSRDC 扩展成多通道阻尼控制器 MSSRDC，所述 MSSRDC 采用多个模态控制通道，所述多个模态控制通道相互独立；控制所述多个模态控制通道中的多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行滤波处理，并分别进行放大和相位补偿；将所述多个通道的触发角信号增量相加后发送到所述 SVC 的触发单元，通过所述 SVC 的触发单元获取所述 $\Delta \alpha$ 。

5.根据权利要求 1 所述的方法，还包括：在所述 SVC 需要检修的情况下，利用所述 SEDC 抑制次同步振荡。

6.根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述 SVC 作为主抑制措施，所述 SEDC 作为辅助抑制措施。

7.一种抑制火电机组次同步振荡的系统，包括：

第一抑制单元, 设置为将发电机转速偏差信号 $\Delta \omega$ 作为次同步振荡阻尼控制器 SSRDC 的输入信号, 其中, 所述 $\Delta \omega$ 中包含发电机组轴系扭振模式分量的信息; 控制所述 SSRDC 根据所述 $\Delta \omega$ 获取静止无功补偿器 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$ 以调节发电机组输出的多个轴系扭振频率对应的电磁转矩增量 ΔT_e ; 控制所述 SVC, 使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与所述 $\Delta \omega$ 同相位, 以抑制机组次同步振荡;

第二抑制单元, 设置为在通过附加励磁阻尼控制器 SEDC 检测到所述发电机组的轴系扭振的情况下, 通过所述 SEDC 对检测到的轴系扭振信号进行移相和放大, 将移相和放大后的轴系扭振信号叠加在所述发电机组的励磁调节器的控制信号上, 以抑制机组次同步振荡。

8. 根据权利要求 7 所述的系统, 所述第一抑制单元还设置为通过所述 SSRDC 求得所述 $\Delta \alpha$ 到所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的传递函数 $G(s)$ 的相位特性; 通过所述 SSRDC 的阻尼控制器 $C(s)$ 补偿所述 $G(s)$ 的相位滞后, 使得所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 都与 $\Delta \omega$ 同相位。

9. 根据权利要求 7 的系统, 所述第二抑制单元还设置为在所述 SEDC 的输入信号为所述 $\Delta \omega$ 的情况下, 利用测试信号法获取所述发电机组的励磁系统的附加电压参考信号 ΔU_{SEDC} 和所述多个轴系扭振频率对应的 ΔT_e 之间的相位关系; 通过调整所述 SEDC 的超前滞后环节的参数使得所述 $\Delta \omega$ 和所述 ΔU_{SEDC} 之间的相位相同或者相位差小于或等于 90 度。

10. 根据权利要求 7 所述的系统, 所述第一抑制单元是设置为通过如下方式控制所述 SSRDC 根据 $\Delta \omega$ 获取所述 SVC 触发角增量 $\Delta \alpha$: 将所述 SSRDC 扩展成多通道阻尼控制器 MSSRDC, 所述 MSSRDC 采用多个模态控制通道, 所述多个模态控制通道相互独立; 控制所述多个模态控制通道中的多个通道分别利用带通滤波器对多个模态分量进行滤波处理, 并分别进行放大和相位补偿; 将所述多个通道的触发角信号增量相加后发送到所述 SVC 的触发单元, 通过所述 SVC 的触发单元获取所述 $\Delta \alpha$ 。

11. 根据权利要求 7 所述的系统, 还包括第三抑制单元, 所述第三抑制单元设置为在所述 SVC 需要检修的情况下, 利用所述 SEDC 抑制次同步振荡。

12. 根据权利要求 7 所述的系统, 其中, 所述 SVC 作为主抑制措施, 所述 SEDC 作为辅助抑制措施。

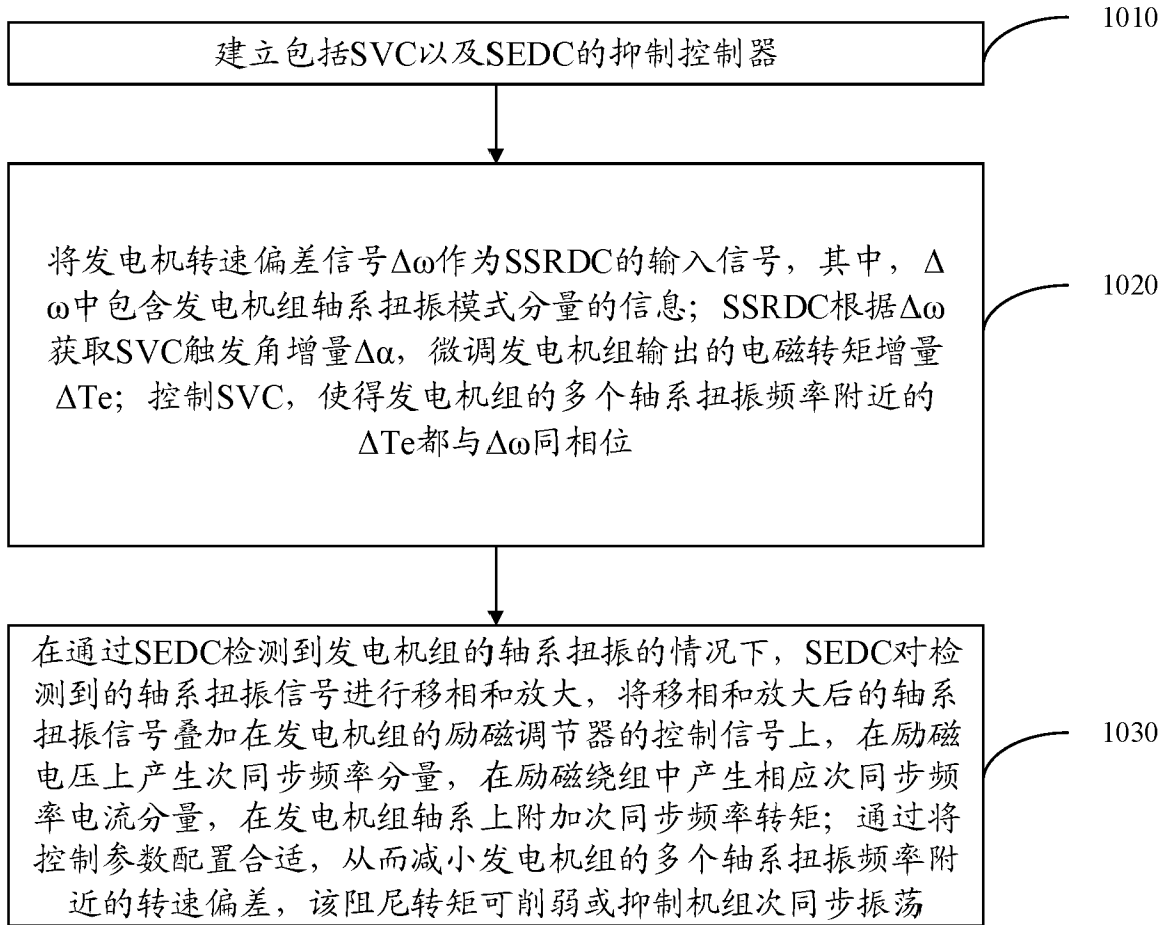


图 1

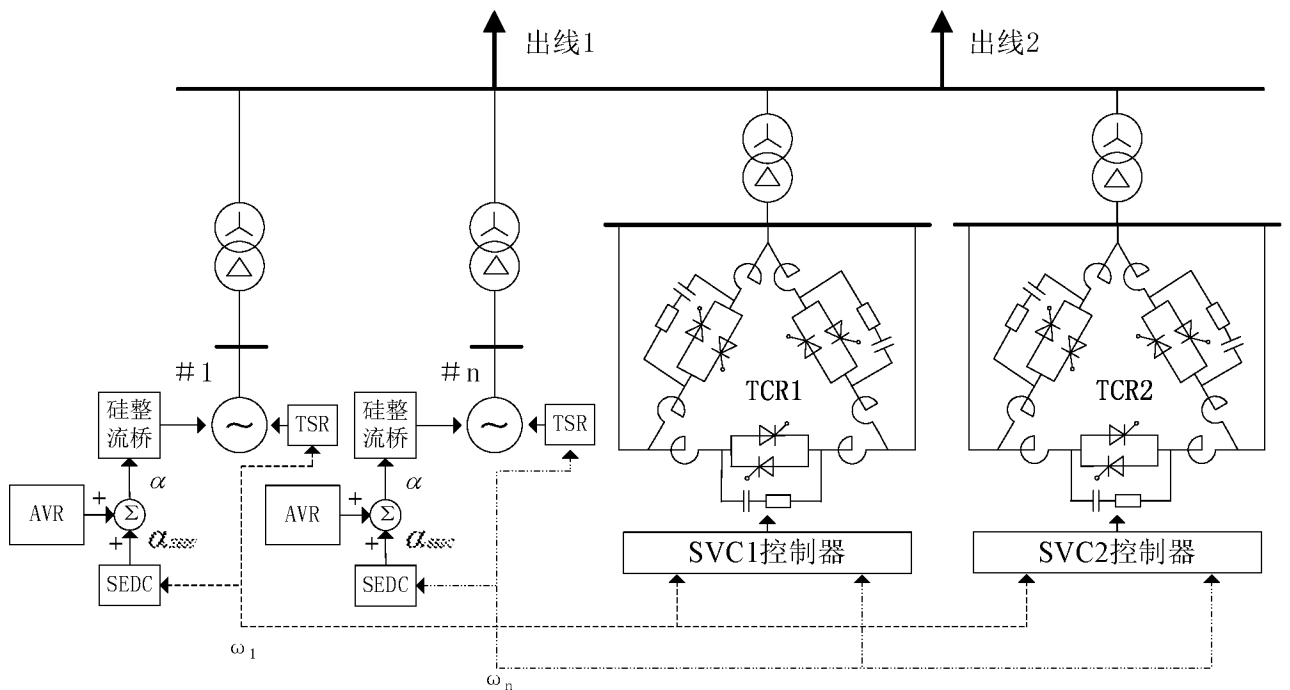


图 2

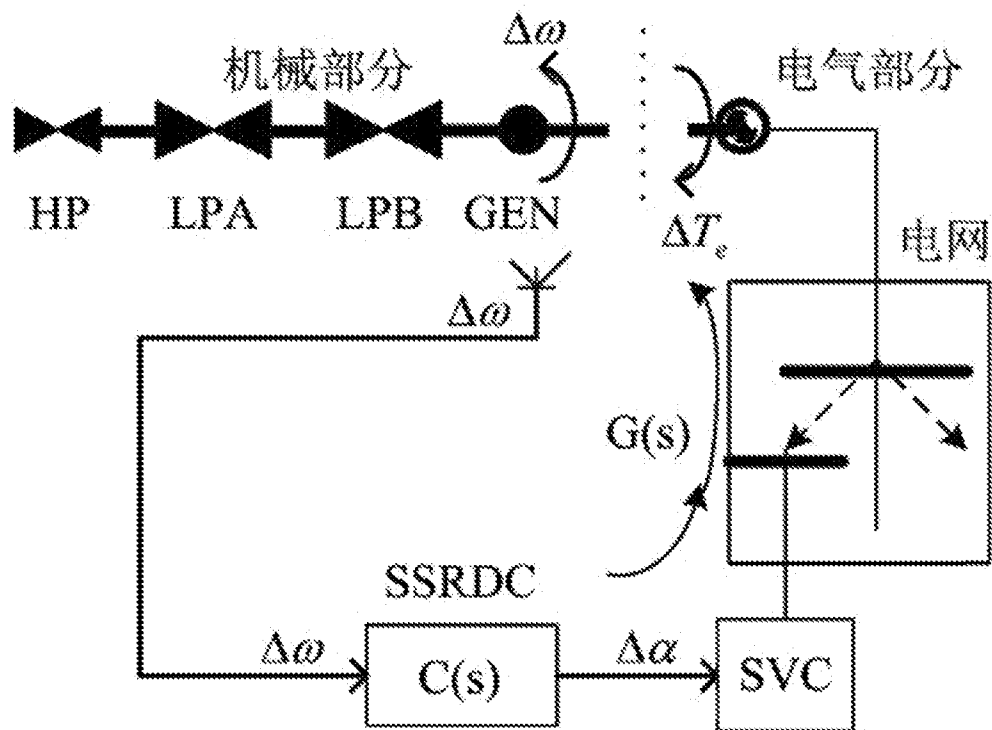


图 3

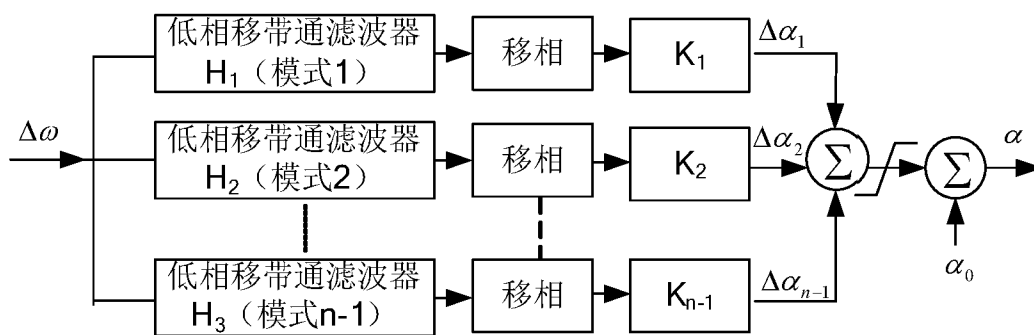


图 4

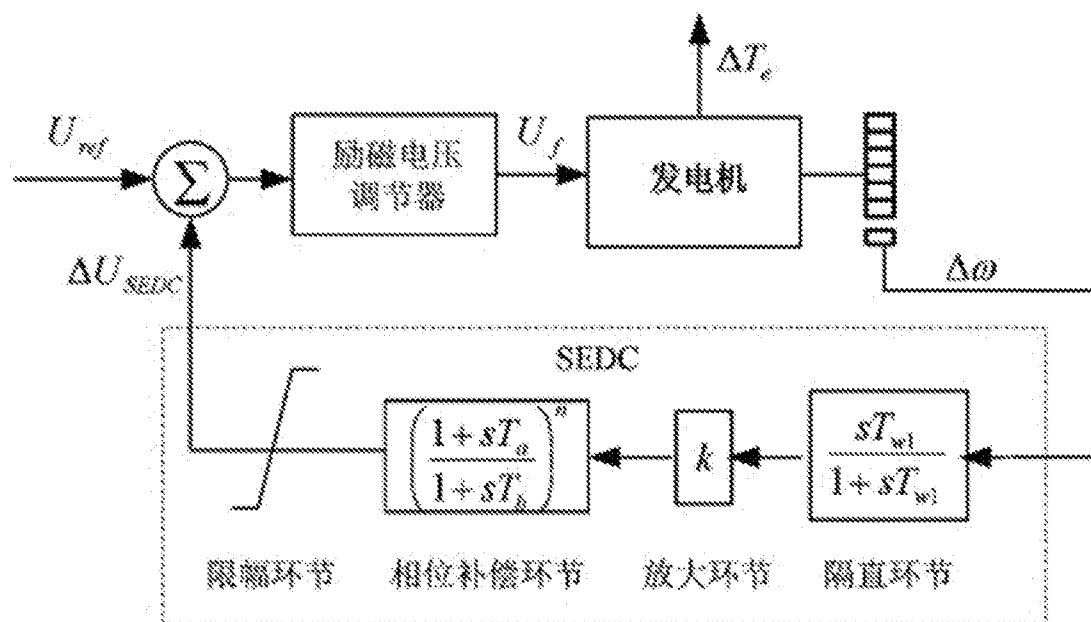


图 5

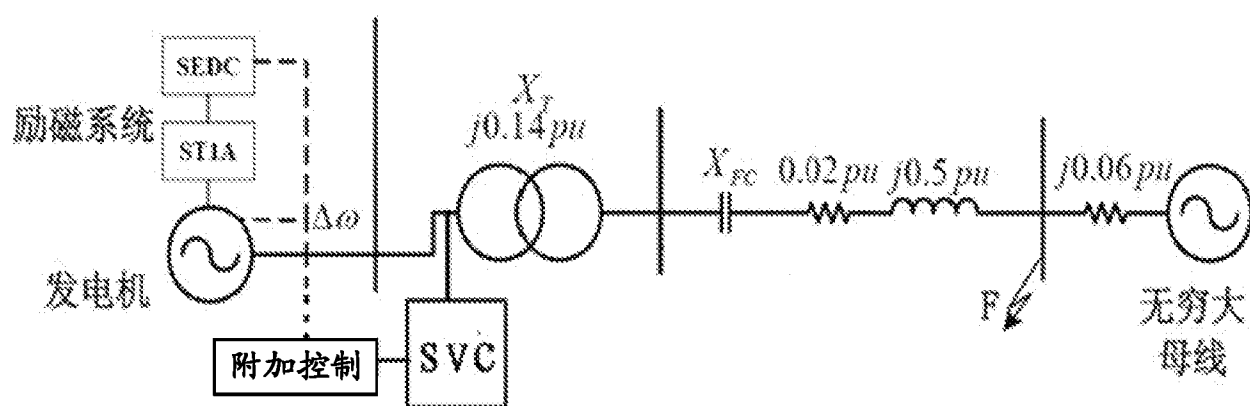


图 6

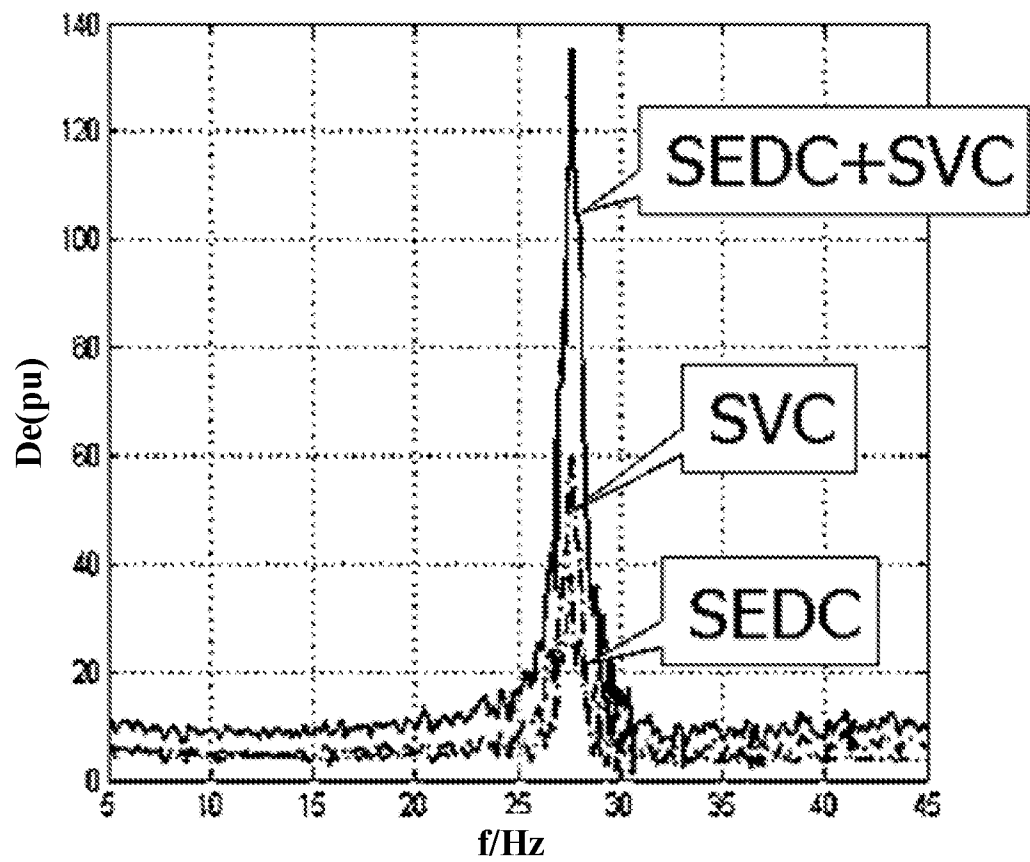


图 7

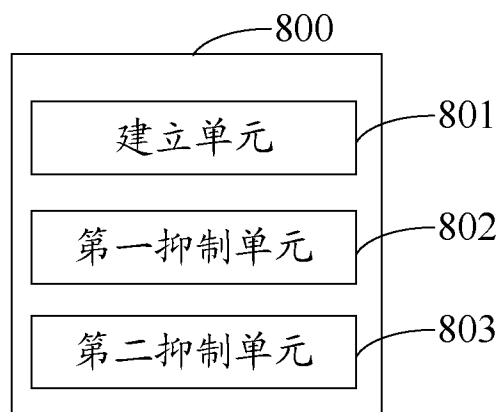


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2019/105937

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H02J 3/24(2006.01)i; H02J 3/18(2006.01)n

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)

H02J

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)

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: 次同步振荡, 转速偏差, 励磁, 静止无功, 电磁转矩, 轴系, 抑制, SSO, low, frequency, oscillation, speed, SEDC, SVC, excitation, static, torque, shafting, restrain

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 109830969 A (STATE GRID QINGHAI ELECTRIC POWER COMPANY et al.) 31 May 2019 (2019-05-31) claims 1-12	1-12
Y	CN 101834447 A (ZHEJIANG UNIVERSITY) 15 September 2010 (2010-09-15) description, paragraphs [0005]-[0061], and figures 1-5	1-12
Y	蒋平等 (JIANG, Ping et al.). "PSS和SVC联合抑制次同步振荡 (Restraint of Subsynchronous Oscillation with PSS and SVC)" 电力自动化设备 (Electric Power Automation Equipment), Vol. 30, No. 7, 31 July 2010 (2010-07-31), text, pp. 40 and 42-44, and figures 7 and 8	1-12
A	CN 101692579 A (RONGXIN POWER ELECTRONIC CO., LTD.) 07 April 2010 (2010-04-07) entire document	1-12
A	CN 104269868 A (NORTH CHINA ELECTRIC POWER UNIVERSITY) 07 January 2015 (2015-01-07) entire document	1-12



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

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

04 December 2019

Date of mailing of the international search report

13 December 2019

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/CN2019/105937

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2013257166 A1 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) 03 October 2013 (2013-10-03) entire document	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2019/105937

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	109830969	A	31 May 2019	None			
CN	101834447	A	15 September 2010	CN	101834447	B	27 June 2012
CN	101692579	A	07 April 2010	CN	101692579	B	20 July 2011
CN	104269868	A	07 January 2015	CN	104269868	B	18 May 2016
US	2013257166	A1	03 October 2013	CN	102035211	A	27 April 2011
				WO	2012055322	A1	03 May 2012
				CN	102035211	B	04 July 2012
				US	9450411	B2	20 September 2016

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2019/105937

A. 主题的分类

H02J 3/24(2006.01)i; H02J 3/18(2006.01)n

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)

H02J

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))

CNPAT, CNKI, EPODOC, WPI: 次同步振荡, 转速偏差, 励磁, 静止无功, 电磁转矩, 轴系, 抑制, SS0, low, frequency, oscillation, speed, SEDC, SVC, excitation, static, torque, shafting, restrain

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 109830969 A (国网青海省电力公司 等) 2019年 5月 31日 (2019 - 05 - 31) 权利要求1-12	1-12
Y	CN 101834447 A (浙江大学) 2010年 9月 15日 (2010 - 09 - 15) 说明书第[0005]-[0061]段、图1-5	1-12
Y	蒋平 等. “PSS和SVC联合抑制次同步振荡” 电力自动化设备, 第30卷, 第7期, 2010年 7月 31日 (2010 - 07 - 31), 正文第40, 42-44页、图7-8	1-12
A	CN 101692579 A (荣信电力电子股份有限公司) 2010年 4月 7日 (2010 - 04 - 07) 全文	1-12
A	CN 104269868 A (华北电力大学) 2015年 1月 7日 (2015 - 01 - 07) 全文	1-12
A	US 2013257166 A1 (STATE GRID CORPORATION OF CHINA) 2013年 10月 3日 (2013 - 10 - 03) 全文	1-12

☐ 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

“D” 申请人在国际申请中引证的文件

“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

2019年 12月 4日

国际检索报告邮寄日期

2019年 12月 13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

授权官员

葛加伍

传真号 (86-10)62019451

电话号码 86-(10)-53961485

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2019/105937

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	109830969	A	2019年 5月 31日	无			
CN	101834447	A	2010年 9月 15日	CN	101834447	B	2012年 6月 27日
CN	101692579	A	2010年 4月 7日	CN	101692579	B	2011年 7月 20日
CN	104269868	A	2015年 1月 7日	CN	104269868	B	2016年 5月 18日
US	2013257166	A1	2013年 10月 3日	CN	102035211	A	2011年 4月 27日
				WO	2012055322	A1	2012年 5月 3日
				CN	102035211	B	2012年 7月 4日
				US	9450411	B2	2016年 9月 20日