(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104094296 B
(45)授权公告日 2020.08.11

(21)申请号 201280068864.6

(22)申请日 2012.11.30

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 104094296 A

(43)申请公布日 2014.10.08

(30)优先权数据
1161087 2011.12.02 FR

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2014.08.01

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2012/074161 2012.11.30

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2013/079700 FR 2013.06.06

(73)专利权人 施耐德电器工业公司
地址 法国吕埃-马迈松
专利权人 工业方法及处理研究发展协会

(72)发明人 N.梅兹 M.德鲁因厄 V.马扎里克 S.鲍克尔特

(74)专利代理机构 北京市柳沈律师事务所 11105
代理人 史新宏

(51)Int.Cl.
G06Q 10/04(2012.01)
G06Q 10/06(2012.01)

(56)对比文件
EP 2327149 A2,2011.06.01,
EP 2233538 A1,2010.09.29,
US 2010278210 A1,2010.11.04,
H.T. Ma1等.Working towards frequency regulation with wind plants: combined control approaches.《IET Renewable Power Generation》.2010,第4卷(第4期),
Xiaowei Wang等.The New Direct Current Sensor Based on Self-Balance of Magnetic Potential and Feedback Compensation.《Proceedings of the 41st International Universities Power Engineering Conference》.2007,

审查员 李邵飞

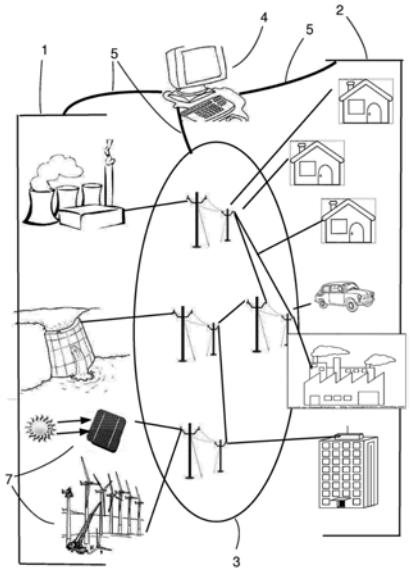
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

估计电力系统的稳定性的方法

(57)摘要

一种管理电力系统的方法,该电力系统包含发电单元(1)、耗电单元(2)、和将该发电单元(1)与该耗电单元(2)连接的配电网络(3),该方法的特征在于包含如下步骤:估计基于累积的磁能储备和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数。



CN 104094296 B

1.一种管理电力系统的方法,该电力系统包含发电单元(1)、耗电单元(2)、和将该发电单元(1)与该耗电单元(2)连接的配电网络(3),该方法的特征在于包含如下步骤:

-通过至少一个传感器和/或软件和/或硬件组件测量和/或估计电力系统的工作物理量;

-根据通过电力系统的管理单元(4)的至少一个软件和/或硬件组件考虑到电力系统的工作物理量的至少一个测量值和/或估计值实现的计算,估计基于累积的磁能储备和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数,

-通过至少一个传感器和/或软件和/或硬件组件从电力系统的功率平衡中计算电力系统的多个稳定性参数;以及

-分析两个独立瞬变区,即,功率平衡在考虑动能恒定的情况下考虑电力系统的磁能的变化的一个瞬变区、和功率平衡在考虑磁能恒定的情况下考虑电力系统的动能的变化的另一个瞬变区,

考虑电力系统的两个稳定性参数,其分别代表电力系统的磁能和动能储备完全或部分耗尽的持续时间、电力系统的整个发电网是否停止或与电力系统断开或电力系统是否正经历波动,

按如下定义电力系统的两个稳定性参数H_{cin}和H_{mag}:

$$H_{cin} = \frac{E_{cin}}{S} 和 H_{mag} = \frac{F}{S}$$

其中:

E_{cin}表示构成电力系统的各个部分的动能;

F代表构成电力系统的各个部分的磁能;以及

S表示电力系统的各个发电部分的额定视在功率,

或其特征在于按如下定义电力系统的两个稳定性参数H'_{cin}和H'_{mag}:

$$H'_{cin} = \frac{E_{cin}}{\Delta S} 和 H'_{mag} = \frac{F}{\Delta S}$$

其中

E_{cin}表示构成电力系统的各个部分的动能;

F代表构成电力系统的各个部分的磁能;以及

ΔS代表电力系统的视在功率变化量,

或其特征在于按如下定义电力系统的两个稳定性参数H''_{cin}和H''_{mag}:

$$H''_{cin} = \frac{E_{cin}}{\max(Peak - S; S)} 和 H''_{mag} = \frac{F}{\max(Peak - S; S)}$$

其中:

E_{cin}表示构成电力系统的各个部分的动能;

F代表构成电力系统的各个部分的磁能;

Peak表示网络输送的最大峰功率;以及

S是视在功率,

所述磁能和所述动能代表储存在电力系统内、向电力系统提供惯性的能量储备。

2.按照权利要求1所述的管理电力系统的方法，其特征在于包含实现根据基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数自动调节电力系统的配电网络的步骤。

3.按照权利要求1所述的管理电力系统的方法，其特征在于包含根据基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数，由电力系统的管理单元(4)的至少一个软件和/或硬件组件通过通信设备(5)发送指令自动实现所有或一些如下动作：

-降低总耗电量；

-提高总发电量；以及

-启动或停止一个或多个磁能和/或动能累积设备。

4.按照权利要求1所述的管理电力系统的方法，其特征在于电力系统的两个稳定性参数根据电力系统的发电单元的交流发电机的特征来定义，该交流发电机与电力系统连接。

5.按照权利要求1所述的管理电力系统的方法，其特征在于电力系统的功率平衡根据电力系统的热力学模拟来计算，并通过如下方程来定义：

$$P_{meca\text{-}in} = P_{meca\text{-}out} + P_{Joule} + \frac{dF}{dt} + \frac{dE_{cin}}{dt}$$

其中：

-E_{cin}表示储存在电力系统的各个部分中的动能；

-$P_{meca\text{-}in}$表示通过交流发电机的涡轮机的主轴供应给系统的机械功率；

-$P_{meca\text{-}out}$表示电动机产生的机械功率；

-P_{joule}代表从电力系统中取出的热量；以及

-F代表储存在电力系统的各个部分中的磁能。

6.按照权利要求1至3的任意一项所述的管理电力系统的方法，其特征在于包含通过传感器测量电力系统的工作物理量的步骤，其中在估计基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的步骤中考虑电力系统的所测量工作物理量的至少一个测量值，以及/或者在估计基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的步骤中考虑电力系统的一个或多个分部上的磁能和/或动能储备的至少一个估计值，以便最终从中导出电力系统的总累积磁能和/或动能储备。

7.按照权利要求1至3的任意一项所述的管理电力系统的方法，其特征在于包含将基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的多个稳定性参数与阈值相比较，以便确定电力系统是否足够稳定的步骤。

8.按照权利要求7所述的管理电力系统的方法，其特征在于通过将如果在强加的最短持续时间内，其磁能和/或动能储备使其频率和/或电压，或一个或多个其它电物理量的变化最小，则电力系统是可靠的当作一种假设，在理论上计算该阈值，或其特征在于，从认为可靠的、多个稳定性参数已知的和用作参考的电力系统中凭经验确定这个阈值。

9.按照权利要求1至3的任意一项所述的管理电力系统的方法，其特征在于包含根据基于将累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的估计值，定义新电力系统的架构或修改现有电力系统。

10.按照权利要求9所述的管理电力系统的方法，其特征在于根据基于将累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的估计值，确定像基于风能和/或太阳能

那样的断续可再生发电单元(7)的最高可接受水平。

11.按照权利要求10所述的管理电力系统的方法,其特征在于包含规划电力系统的发展,以便使基于将累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数在阈值之上的步骤。

12.一种电力系统的管理单元(4),其特征在于包含实现按照权利要求1到11之一所述的管理电力系统的方法的计算机。

13.一种包含发电单元(1)、耗电单元(2)、和将该发电单元(1)与该耗电单元(2)连接的配电网络(3)的电力系统,其特征在于包含实现按照权利要求1到11之一所述的管理电力系统的方法的管理单元(4),该管理电力系统的方法包括估计基于电力系统的至少一个储能单元累积的磁能储备和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数。

14.按照权利要求13所述的电力系统,其特征在于包含将电物理量的测量值从该电力系统的传感器发送到该管理单元(4)以及将命令从该管理单元(4)发送到该电力系统的致动器的通信设备(5)。

估计电力系统的稳定性的方法

技术领域

[0001] 本发明涉及管理电力系统的方法、计算机程序以及实现这样方法的管理单元。本发明还涉及实现这样管理方法的电力系统本身。

背景技术

[0002] 电力系统包含像燃煤发电厂和天然气发电厂、核能发电厂、允许使用水力发电的水坝、像太阳能源或风能源那样的补充可再生能源那样的发电单元。这些发电单元可以聚集成同一个系统。接着，电力系统包含可以是房屋、工厂、车辆等的耗电单元。最后，电力系统包含连接发电单元和耗电单元，以便将电力输送给这些耗电单元的配电网络。

[0003] 管理电力系统的复杂性源于所述系统不断地经历发电和/或耗电的难以预测变化，然而需要无时无刻保证供需平衡—这在现有技术中未必做得到的事实。

[0004] 为了满足这种约束，在现有技术中调节配电网络的电压和频率，以便使分配的电压围绕预定设定值保持在正或负5％或10％之间，以及使频率保持在预定设定值(在欧洲，50赫兹)的正或负1％上。在实际中，将配电网络表示成其电行为通过基尔霍夫(Kirchhoff)方程模拟的一组节点和网格。另一方面，网络的频率从存在于发电单元的交流发电机之中的机电耦合中得出。由于这些交流发电机的数量很多，所以它们的每一台都受所有其它交流发电机和设定的行为影响，仿佛配电网络将它的频率强加给每台交流发电机似的，因此受网络的频率影响。这种现象常称为“同步”。

[0005] 最后，配电网络的实际管理基于测量网络中的一些点上，尤其每个发电单元上的频率、和所有或一些节点上的电压的方法，以及网络的调节试图根据对基尔霍夫方程的求解以便了解整个网络，使电压和频率的值保持在它们的设定值上。为了优化这种手段，像描述在文献EP2330525中的那种那样的解决方案提出了加速这些方程的求解的方法。

[0006] 文献EP2224570描绘了为与配电网络连接的电力储存设备提供的另一种解决方案。目前，这些手段由于发电单元的总发电量一般是高于耗电单元的总耗电量的数量而可以获得适当结果。因此，由于这种有利状况，配电网络无需特别调整或优化地仍然适用。

[0007] 如果发电单元就耗电单元的需要而言越来越不重要，则这些耗电单元的需求的突然增加或发电单元中的偶发故障的状况会导致电压下降和/或频率崩溃在整个配电网络上传播的风险。这样的状况可以导致整个或一些电力系统中的配电切断。因此，重要的是，通过处置任何偶发事件和特别不利状况，保证配电系统的稳定性，以便尽可能减少配电切断的情况。

[0008] 另一方面，目前，电力系统还在发展之中，其发电单元正在多样化、甚至更大份额地包括往往断断续续和更难以管理的可再生能源。同时，耗电单元的需要也不断增加。在这种背景下，还没有可以评估配电网络的未来架构的可靠水平以及保证其管理与现有手段相关的方法。

[0009] 总而言之，现有技术的手段无法面对最佳管理电力系统的问题。尤其，基于电力模拟—基于基尔霍夫定律的求解、试图实时确定系统的状态的计算手段碰到如下局限性：

[0010] -由于配电网络的极大量节点，这些方程求解起来很复杂；

[0011] -以光速运动、在网络上的电力系统的组件之间行进的通信数据无法快到足以作出足够快的反应来处置故障在网络上的传播同样以极高速度进行的偶发事件。为此，强制配备专用部件，以便在有故障的情况下争取时间。考虑到物理局限性，实时管理在现实中是不可能的。

[0012] 最后，需要的是可以最佳地管理电力系统的配电的解决方案。

[0013] 更精确地说，目的是定义可以提高电力系统的管理，尤其它的稳定性的解决方案。

发明内容

[0014] 为此，本发明基于一种管理电力系统的方法，该电力系统包含发电单元、耗电单元、和将该发电单元与该耗电单元连接的配电网络，该方法的特征在于包含如下步骤：根据通过电力系统的管理单元的至少一个软件和/或硬件组件实现的计算，估计基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数。

[0015] 该管理电力系统的方法可以考虑电力系统的两个稳定性参数，其分别代表电力系统的磁能和动能储备完全或部分耗尽的持续时间、电力系统的整个发电网是否停止或与电力系统断开或电力系统是否正经历波动。

[0016] 可以按如下定义电力系统的两个稳定性参数H_{cin}和H_{mag}：

[0017] $$H_{cin} = \frac{E_{cin}}{S} \text{ 和 } H_{mag} = \frac{F}{S}$$

[0018] 其中：

[0019] E_{cin}表示构成电力系统的各个部分的动能；

[0020] F表示构成电力系统的各个部分的磁能；以及

[0021] S表示电力系统的各个发电部分的额定视在功率，

[0022] 或可以按如下定义电力系统的两个稳定性参数H'_{cin}和H'_{mag}：

[0023] $$H'_{cin} = \frac{E_{cin}}{\Delta S} \text{ 和 } H'_{mag} = \frac{F}{\Delta S}$$

[0024] 其中ΔS代表电力系统的视在功率变化量。

[0025] 电力系统的两个稳定性参数可以根据电力系统的发电单元的交流发电机的特征来定义，该交流发电机与电力系统连接。

[0026] 该管理电力系统的方法可以包含从电力系统的功率平衡或预算中计算电力系统的稳定性参数的步骤，然后包含如下步骤：分析两个独立瞬变区，即，功率平衡或预算在考虑动能恒定的情况下考虑电力系统的磁能的变化的一个瞬变区、和功率平衡或预算在考虑磁能恒定的情况下考虑电力系统的动能的变化的另一个瞬变区。

[0027] 电力系统的功率平衡或预算可以根据电力系统的热力学模拟来计算，并通过如下方程来定义：

[0028] $$P_{meca\text{-}in} = P_{meca\text{-}out} + P_{Joule} + \frac{dF}{dt} + \frac{dE_{cin}}{dt}$$

[0029] 其中：

[0030] -E_{cin}表示储存在电力系统的各个部分中的动能；

[0031] -$P_{meca-in}$表示通过交流发电机的涡轮机的主轴供应给系统的机械功率；

[0032] -$P_{meca-out}$表示电动机产生的机械功率；

[0033] -P_{joule}代表从电力系统中取出的热量；以及

[0034] -F代表储存在电力系统的各个部分中的磁能。

[0035] 该管理电力系统的方法可以包含通过传感器测量电力系统的工作物理量，譬如像频率和电压那样的电力系统的电物理量的步骤，以及估计基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的步骤可以考虑电力系统的所测量工作物理量的至少一个测量值。

[0036] 估计基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的步骤可以考虑电力系统的一个或多个分部上的磁能和/或动能储备，以便最终从中导出电力系统的总累积磁能和/或动能储备。

[0037] 该管理电力系统的方法可以包含将基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的稳定性参数与阈值相比较，以便确定电力系统是否足够稳定的步骤。

[0038] 通过将如果在强加的最短持续时间内，其磁能和/或动能储备使其频率和/或电压，或一个或多个其它电物理量的变化最小，则电力系统是可靠的当作一种假设，可以在理论上计算该阈值，或可以从认为可靠的、稳定性参数已知的和用作参考的电力系统中凭经验确定这个阈值。

[0039] 该管理电力系统的方法可以包含根据基于累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数实现所有或一些如下动作：

[0040] -降低总耗电量；

[0041] -提高总发电量；以及

[0042] -启动或停止一个或多个磁能和/或动能累积设备。

[0043] 该管理电力系统的方法可以包含根据基于将累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的估计值定义新电力系统的架构或修改现有电力系统。

[0044] 该管理电力系统的方法可以根据基于将累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数的估计值确定像基于风能和/或太阳能那样的断续可再生发电单元的最高可接受水平。

[0045] 该管理电力系统的方法可以包含规划电力系统的发展，以便使基于将累积的磁能和/或动能储备的电力系统的至少一个稳定性参数在阈值之上的步骤。

[0046] 本发明还涉及包含代码部件的计算机程序，该代码部件适用于当在计算机上执行该计算机程序时，实现如前所述的管理电力系统的方法的步骤。

[0047] 本发明还涉及电力系统的管理单元，其特征在于包含实现如前所述的管理电力系统的方法的计算机。

[0048] 包含发电单元、耗电单元、和将该发电单元与该耗电单元连接的配电网络的电力系统可以包含实现如前所述的管理电力系统的方法的管理单元。

[0049] 该电力系统可以包含将电物理量的测量值从该电力系统的传感器发送到该管理单元以及将命令从该管理单元发送到该电力系统的致动器的通信设备。

附图说明

[0050] 在下面参考附图以非限制方式提供的具体实现的描述中将详细展示本发明的这些目的、特征和优点，在附图中：

[0051] 图1示意性地示出了按照本发明的一个实施例的电力系统；

[0052] 图2示出了利用热力学手段的按照本发明的一个实施例的电力系统；

[0053] 图3示意性地示出了按照本发明的实施例在偶发情形下电力系统的物理量随时间的演变；以及

[0054] 图4示出了在按照本发明的一个实施例的电力系统内频率和电压的变化量基于稳定性准则的演变。

具体实施方式

[0055] 图1示意性地示出了按照本发明的一种实现的电力系统。这种电力系统包含能够在配电网络3上吸收或供应电力以便向多个耗电单元2供电的发电单元1。发电单元1和耗电单元2包含分别产生和消耗电能的致动器。一些发电单元的致动器更具体地说是交流发电机，而耗电单元的那些致动器是，例如，电动机。电力系统此外可以包含，例如，基于转动惯量和/或电感的未示出储能单元。

[0056] 这种电力系统包含大量交流发电机，使得电力系统交换的总功率相对于每台交流发电机的功率是高的。耗电单元的功率需求的提高使所有或一些交流发电机的内角增大，以便根据这些交流发电机的机械惯性达到新稳定工作点。这些交流发电机优选的是同步交流发电机。

[0057] 此外，电力系统包含允许在发电单元、耗电单元和配电网络上测量代表电力系统的状态的物理量的未示出传感器、和在这些传感器与至少一个管理单元4之间通信的通信设备5。这个管理单元4因此接收传感器测量的数据，以及将命令发送给电力系统的致动器。按照该实施例，后者因此能够与在现有技术中称为“智能电网”的智能电网架构的组件合并。管理单元包含至少一台计算机和实现现在将详细说明的管理电力系统的方法的步骤的硬件和软件元件。通信设备5因此使管理单元4可以自动将指令发送给发电和/或耗电单元，以便，例如，修改电力系统的工作条件和实现其调节。

[0058] 当电力系统集中，也就是说，包含与调节中心相联系的少量大型发电单元，并且同步，也就是说，工作在未经历、或经历少数趋向于波动的事件的单个频率上时，管理电力系统的现有技术手段是可接受的。此外，这些传统现有技术系统的能量储备组件主要内置在交流发电机中，并且被安排成与能量生成部分接近。但是，一旦上述的电力系统的所有或一些特征不再属实，管理电力系统的这些现有技术手段就不再是可接受的。

[0059] 举例来说，如果电力系统呈现所有或一些如下显著特点，则这些传统手段不再适用：

[0060] -来自可再生能源的大量能量产生单元的显著特点是它们存在大幅度波动以及不与储存或能量储备元件相联系。因此，可以在这样的系统上配备地理上遥远的和具有不同性质的单独能量储备组件；以及

[0061] -电流信号是否均匀的，例如，由于像存在与风电场相联系的直流电线那样存在不同性质的部分。

[0062] 为了处置这样的电力系统，本发明的实施例基于从下面所述、和呈现如下技术效果的新手段出发控制电力系统的稳定性：

[0063] -独立于电力系统的发电和耗电组件和配电网络的性质；以及

[0064] -有利于实时处理。

[0065] 这个实施例因此可以为任何电力系统实现有效自动管理，处置偶发事件和波动源，尤其防止电力系统的“一片漆黑”。因此，这是在当然高度依赖于它们的电力系统的现代社会里达到基本技术结果的技术效果的发明。

[0066] 管理电力系统的方法基于首先将描述的电力系统的具体物理模拟。

[0067] 首先，我们考虑发电单元的交流发电机，它是在电力系统的整体行为中起特殊作用的旋转机器，因为它的动能达到很高数值。交流发电机的力学平衡可以写成如下：

[0068] $$P_{meca\text{-}ext} - P_{meca\text{-}int} = \frac{dE_{cin}}{dt}$$

[0069] 其中：

[0070] -E_{cin}表示由于其旋转速度而存在于交流发电机内的动能；

[0071] -$P_{meca\text{-}ext}$表示供应给交流发电机的机械功率，即，它的驱动功率；以及

[0072] -$P_{meca\text{-}in}$表示交流发电机有效产生进入电力系统中的机械功率，它是交流发电机的抗力矩的功率的反值。

[0073] 可以将这个动能写成如下：

[0074] $$E_{cin} = \frac{1}{2} J\Omega^2$$

[0075] 其中J表示交流发电机的转动惯量，以及Ω表示它的机械旋转的速度。

[0076] 用电学量表示，也可以将它写成如下：

[0077] $$E_{cin} = \frac{1}{2} (J/p^2)\, \omega^2$$

[0078] 其中ω代表电学角频率，以及p是交流发电机的极对的数量。

[0079] 在这个阶段引入惯性常数H也是有用的，它是度量交流发电机的动能与其额定视在功率S_n的比值的变量：

[0080] $$H = \frac{1}{2} J\, \Omega^2 / S_n$$

[0081] 这也可以写成$H = E_{cin}/S_n$。

[0082] H越大，储存在交流发电机中的动能就起大。这个惯性常数H因此代表交流发电机对付波动的健壮性，因为动能的库存越大，就越能够对付波动。下面将更详细地说明这种现象。

[0083] 类似地，交流发电机累积磁能，该磁能代表也使其可以在其工作条件下对付波动、加入上述动能的库存中的的能量的补充库存。

[0084] 整个电力系统以通过称为自由焓的状态函数G表示的单热机的形式，根据图2所示的热力学手段来模拟，该单热机的状态变量主要是：

[0085] -恒温源(最常见的是大气)的温度T；

[0086] -与系统连接的致动器的位置，该致动器直接与按照如下方程支配电力系统的机

械功率平衡相联系：$P_{meca-ext}-P_{meca-int}=dEcin/dt$：

[0087] 其中Ecin表示包含在整个系统中的动能，$P_{meca-ext}=\Sigma Fi.Vi$是供应给系统的机械功率，即，它的驱动功率，以及$P_{meca-int}$是有效产生进入电力系统中的机械功率，它是系统抵抗其驱动的功率的反值；以及

[0088] -优选的是通过电流I_k和磁通量Φ_k，或其它等效方法(永磁体)获得的机器的励磁。

[0089] 有关电力系统的所有宏观和行为信息都包含在状态函数G及其导数中。尤其，考虑自由能F是有利的：

[0090] $F=G+\Sigma_k\Phi_kI_k$，其中$\Phi_k=-\partial G/\partial I_k$，在电力系统的情况下它与磁能一致。

[0091] 因此，电力系统的演变遵循通过下式表征的可逆趋势：

[0092] $\min(P_{meca-int}-dG/dt)=\min(P_{joule}+d/dt(\Sigma_k\Phi_kI_k))$

[0093] 这种关系表明耦合磁能($\Sigma_k\Phi_kI_k$)与电的生成和传输是同质的。在称为线性区的优选模式中，如下关系成立：$\Sigma_k(\Phi_kI_k)=2F=-2G$。

[0094] 最后，一般考虑电力系统的热现象、电磁功率和机械功率的电力系统的这种热力学手段可以得出在电力系统的所有致动器之间，在瞬变区中使电力系统的功率守恒的如下方程：

[0095] $$P_{meca-in}=P_{meca-out}+P_{Joule}+\frac{dF}{dt}+\frac{dE_{cin}}{dt} \qquad (1)$$

[0096] 其中：

[0097] -E_{cin}表示构成电力系统的各个部分的动能；

[0098] -$P_{meca-in}$表示通过交流发电机的涡轮机的主轴供应给系统的机械功率；

[0099] -$P_{meca-out}$表示电动机，也就是说，耗电单元上消耗电力的所有元件产生的机械功率；

[0100] -P_{joule}代表从电力系统中取出的热量；以及

[0101] -F代表在电力系统的情况下是磁能、如热力学所定义的自由能。

[0102] 前功率平衡使人们可以在像供应的机械功率$P_{meca-ext}$突然改变那样的骤然变化的情况下，例如，像在电力系统的负载骤然波动的情况下那样可以了解电力系统的运行。在这样的情况下，电力系统首先依靠允许迅速调整电力系统中的功率的交换的磁能F和动能E_{cin}的变化。这两种磁能和动能代表储存(包含)在电力系统内、向电力系统提供惯性的能量储备。

[0103] 对电力系统的瞬变区的研究表明，可以划分成分别与其弛豫时间常数相差几个数量级的磁能和动能储备的变化的周期有关的两个独立时段。作为数量级的一个例子，磁能的变化的持续时间持续几毫秒，而动能的变化的持续时间持续几秒。这些持续时间代表正好出现在负载波动之后的现象，以及向电力系统提供管理单元4弄清和控制电力系统的致动器上的反应，以便使其可以再次使功率交换达到稳定的可能反应时间。然后，当恢复到电力系统的额定稳态区时，重建它的磁能和动能储备，以便能够处置随后偶发事件。

[0104] 因此，在电力系统的运行骤然波动之后，首先，功率平衡允许只考虑磁能储备的变化，然后，其次只考虑动能储备的变化。

[0105] 因此，首先，功率平衡(1)变成：

[0106] $$P_{meca\text{-}in} = P_{meca\text{-}out} + P_{Joule} + \frac{dF}{dt} \quad (2)$$

[0107] 接着，其次，将这个功率平衡(1)写成如下：

[0108] $$P_{meca\text{-}in} = P_{meca\text{-}out} + P_{Joule} + \frac{dE_{cin}}{dt} \quad (3)$$

[0109] 对这两个独立瞬变区的研究使人们可以确定磁能然后动能储备在它们耗尽之前的持续时间。这两个持续时间是管理电力系统的关键，因为它们使电力系统在其工作条件被修改的情况下有时间作出调整，以便恢复到新稳定稳态区。这两个持续时间因此代表电力系统的两条稳定性准则。

[0110] 图3示意性地例示了电力系统的行为。这种电力系统包含发电单元的第一致动器，其曲线11代表供应给电力系统的机械功率随时间的演变。曲线12代表电力系统的耗电单元消耗的功率随时间的演变。曲线13代表热量的损失(P_{joule})作为时间的函数的演变。曲线14和15分别代表能量储备中的磁能F和动能E_{cin}的演变。在第一时刻t1，本来不变的曲线12骤然倾斜地变化，这对应于负载波动，即，电力系统的耗电单元对电力的需要增加。电力系统在时刻t3，通过增加其发电量自我调整，以便在时刻t4达到新稳态平衡。在时刻t1和t3之间，首先消耗磁能储备，直到时刻t2，然后从时刻t2开始消耗动能储备。这种能量储备的消耗向电力系统提供了足以对波动作出自我调整的惯性。

[0111] 图3的右边部分例示了如果在时刻t5，在网络中出现电阻性负载型的波动—牵涉到使发电管理无法自我调整地耗尽所有动能和磁能储备—的特殊故障，则会发生什么情况。能量储备在配电网络上简单地通过焦耳效应耗散掉，整个电力系统将到达常称为“一片漆黑”的故障状况。

[0112] 为了顾及上面的说明，按照本发明的实现的管理电力系统的方法定义分别基于与上面说明的磁能和动能储备相联系的持续时间的两个动态稳定性参数。这些稳定性参数代表电力系统在所希望极限内维持发电和输电，然后配电网络的电压和频率的变化的能力。

[0113] 为了做到这一点，将上面的方程用于研究电力系统在负载波动选成的瞬变区期间的动态行为。

[0114] 让我们回忆一下，在时刻t1和t2之间的电瞬变时段期间，下面的方程(2)成立：

[0115] $$\frac{dF(t)}{dt} = P_{meca-in} - P_{meca-out} - P_{joule}$$

[0116] 根据这个方程，我们引入参数H_{mag}，它是用秒表达的时间，它度量如果电力系统的整个发电网停止或与系统断开，则磁能的库存完全耗尽的持续时间。

[0117] $$H_{mag} = \frac{F}{S}$$

[0118] 其中S代表在整个电力系统的所有发电单元上累积的额定视在功率。

[0119] 在时刻t2和t3之间，方程(3)成立。

[0120] 电力系统的频率ω按照如下方程演变：

[0121] $$\frac{dE_{cin}(t)}{dt} = J\omega(t)\frac{d\omega(t)}{dt} = P_{meca\text{-}ext} - P_{meca\text{-}int}$$

[0122] 其中P_{meca_ext}和P_{meca_int}分别代表电力系统的外部和内部功率。

[0123] 根据这个方程，引入前面针对交流发电机更详细说明的参数H_{cin}，它是用秒表达的时间，它度量如果电力系统的整个发电网停止或与系统断开，则动能的库存完全耗尽的持续时间。

[0124] $$H_{cin} = \frac{E_{cin}}{S} = \frac{J\omega_o^2}{S}$$

[0125] 通过将这个参数引入上面的方程中，获得如下方程：

[0126] $$\frac{d\omega(t)}{dt} = \frac{\omega_o^2}{\omega(t)H_{cin}S}(P_{meca-ext} - P_{meca-int})$$

[0127] 这个新公式支配给定波动之后电力系统的频率变化：如果$P_{meca-ext}$、S_n、ω_0、和$P_{meca-int}$固定，则频率变化取决于参数H_{cin}。这是因为始终是参数H_{cin}越大波动之后的频率变化就越小。因此，就频率变化而言，这个参数的确代表系统的稳定性。

[0128] 在上面的说明之后，按照一个实施例的管理电力系统的方法包含通过计算每一个代表电力系统的动能和磁能储备的两个稳定性参数估计电力系统的稳定性的步骤。作为一种变体，考虑这些储备像磁能储备那样的单种可以是分析电力系统的既简单也有用的手段。

[0129] 可以作为时间的函数、按照一天的时间段、按照季节估计两个稳定性参数。

[0130] 按照这个实施例，这两个稳定性参数是如前所定义的两个持续时间H_{cin}和H_{mag}。作为一种变体，可以使用这里针对这两种储备表示的任何其它值。按照第一变体，可以考虑下面两个持续时间：

[0131] $$H'_{cin} = \frac{E_{cin}}{\Delta S} \text{ 和 } H'_{mag} = \frac{F}{\Delta S}$$

[0132] 其中ΔS代表电力系统的视在功率的变化量。这种手段具有能够与更常见情形相对应的更真实优点。然后，如此定义的持续时间是在动能和磁能储备的作用下网络在这样的功率变化之后基本上保持稳定的持续时间。

[0133] 按照第二变体，修改稳定性参数，以便顾及在耗电单元的电力需求很高的状况下电网必定脆弱的事实。为此，可以考虑如下修改参数：

[0134] $$H''_{cin} = \frac{E_{cin}}{\max(Peak - S; S)} \text{ 和 } H''_{mag} = \frac{F}{\max(Peak - S; S)}$$

[0135] 其中：

[0136] -Peak表示网络输送的最大峰功率；以及

[0137] -S是视在功率。

[0138] 以与初始形式中相同的方式，可以考虑这些物理量的小部分。这种手段最佳地综合了发电的损失和负载的增加。

[0139] 按照第三变体，可以考虑像，例如，它的自由焓G或耦合能那样，电力系统中的其它能量。

[0140] 按照另外的其它变体，可以考虑除了持续时间之外的与这些能量储备相联系的其它尺度。

[0141] 此外，可以按照如下不同手段计算两个稳定性参数：

[0142] -基于像上面的方程所说明的那种那样的电力系统的物理模型的理论计算的实现;

[0143] -这些参数在电力系统或具有类似架构的电力系统的真正运行期间的测量;为此,该方法包含在任何时刻测量电力系统的工作特征,以及将所述特征传送给管理单元;以及

[0144] -将上面两种手段组合在一起的手段的实现。

[0145] 举例来说,上面的手段用于支持未来电力系统的架构的定义,以及修改现有电力系统。这使得可以规划电力系统的发展。这是因为,这使得可以确定设想的选择是否可以达到令人满意的稳定性。尤其,这使得可以确定由于它们未累积磁能和动能,所以事实上不能超过极限百分比的电力系统的断续可再生能源7的最大百分比,以及/或者这使得可以确定集成像飞轮、电池、电容器、超导线圈、另外同步机器等那样的组件的需要。

[0146] 管理电力系统的方法考虑认为电力系统的H_{cin}和/或H_{mag}的值是低的阈值。这个阈值可以通过将如果在强加的最短持续时间,例如,十秒内,其动能和/或磁能储备使其频率、或一个或多个其它电物理量的变化最小,则电力系统是可靠的当作一种假设,在理论上定义。在这个阈值之上,配电网络的电压和频率变化保持在所希望极限之内,认为电力系统是稳定的。按照另一种手段,从认为可靠的、稳定性参数已凭经验计算或确定的和用作参考的电力系统中凭经验确定这个阈值。

[0147] 图4示出了对于600MW的外部供应功率基于两个稳定性参数H_{cin}和H_{mag}的电力系统的频率和电压变化的敏感性的例子。曲线21和22示出了对于稳定性参数H_{mag}的两个不同值作为稳定性参数H_{cin}的函数的频率变化。曲线23和24示出了对于稳定性参数H_{cin}的两个不同值作为稳定性参数H_{mag}的函数的电压变化。这两条曲线23和24是一致的。

[0148] 上面展示的稳定性手段也用于管理现有电力系统。这使得可以将每一个代表电力系统的动能和磁通储备的参数与预定阈值相比较,如果这些参数低于这些阈值,则管理方法包含所有或一些如下动作的实现:

[0149] -降低总耗电量;

[0150] -提高总发电量;以及

[0151] -启动可以是某些发电单元或专门相关设备的动能和/或磁能累积设备。其理由是能量储备可以由属于电力系统的发电单元的组件和/或由电力系统的专门独立储存单元累积,包含储存动能的大转动惯量,例如,包含飞轮,和/或包含储存磁能的特定电感。

[0152] 管理电力系统的方法的所有这些步骤和动作由电力系统的管理单元承担,尤其在其计算机的控制下,并且通过发送给电力系统的一个或多个实体,即,发电单元和/或耗电单元的至少一条命令来实现。这些步骤自动执行,上述命令作用在允许修改发电单元的发电、耗电单元的耗电和/或相关储能单元的储存的致动器上。

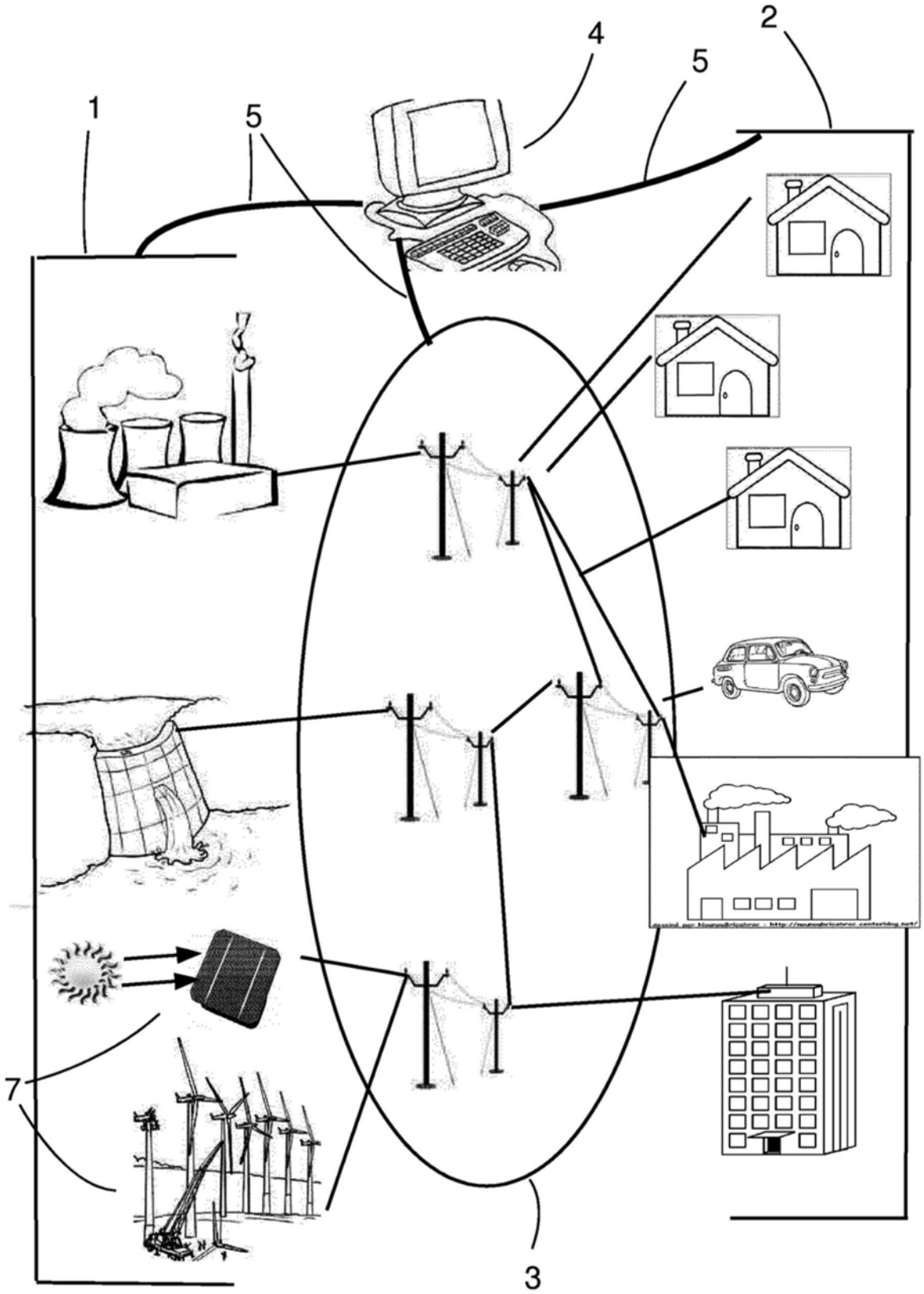


图1

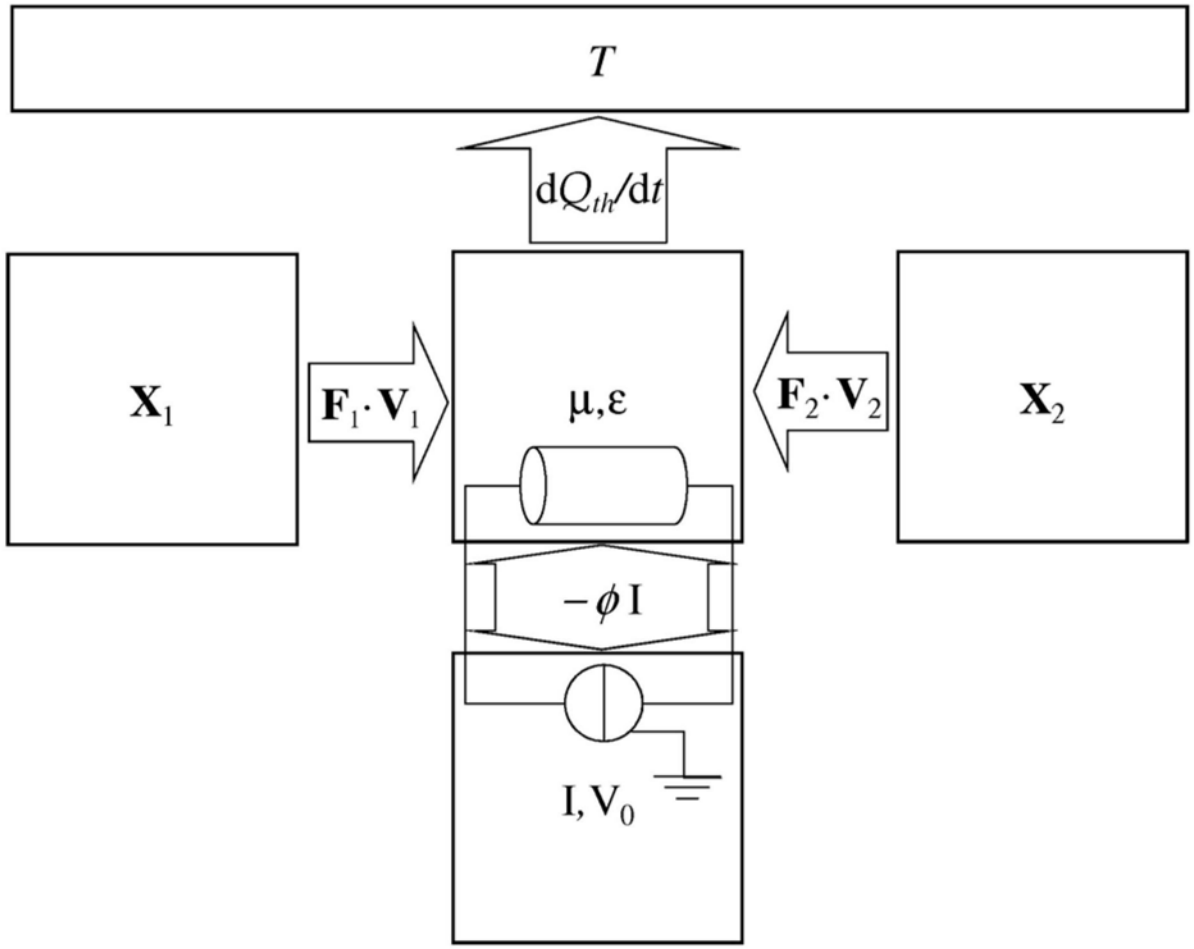


图2

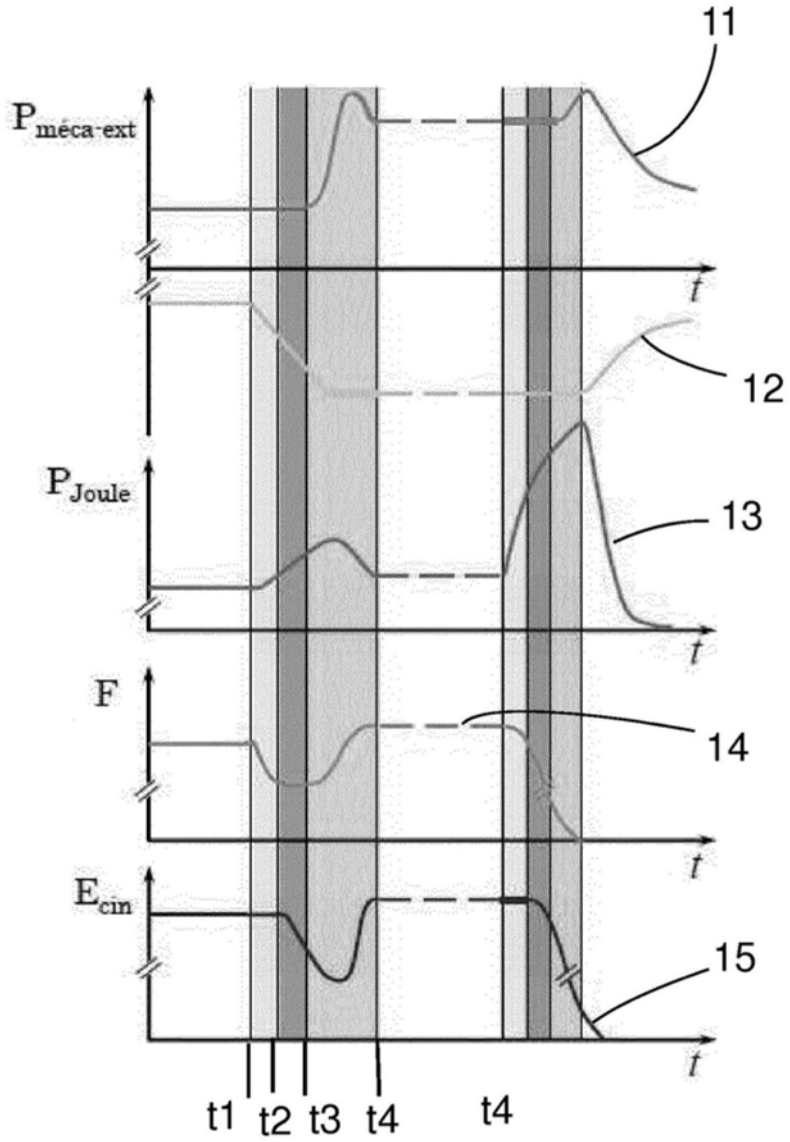


图3

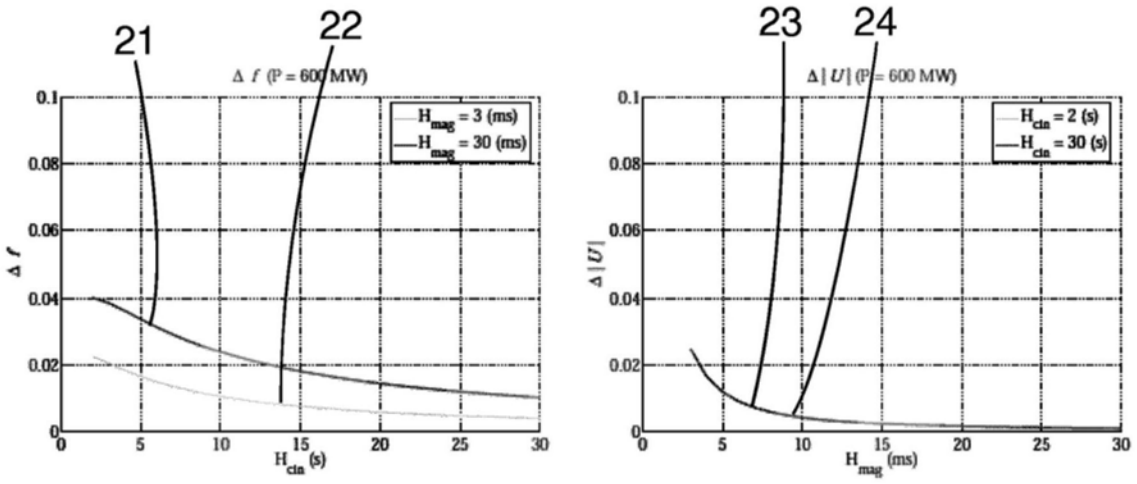

21
22
Δ f (P = 600 MW)
H_mag = 3 (ms)
H_mag = 30 (ms)
Δ f
H_cln (s)
23
24
Δ|U| (P = 600 MW)
H_cln = 2 (s)
H_cln = 30 (s)
Δ|U|
H_mag (ms)

图4