(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 1992465 B
(45)授权公告日 2012.09.05

(21)申请号 200610064062.4
(22)申请日 2006.12.15
(30)优先权数据
11/303726 2005.12.16 US
(73)专利权人 通用电气公司
地址 美国纽约州
(72)发明人 H·维曼 L·J·加尔塞斯
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
代理人 张雪梅 魏军
(51)Int.Cl.
H02J 3/46(2006.01)
(56)对比文件
GB 871056 A,1961.06.21, 全文.
US 5083039 A,1992.01.21, 全文.
US 2005012339 A1,2005.01.20, 全文.

审查员 黄君

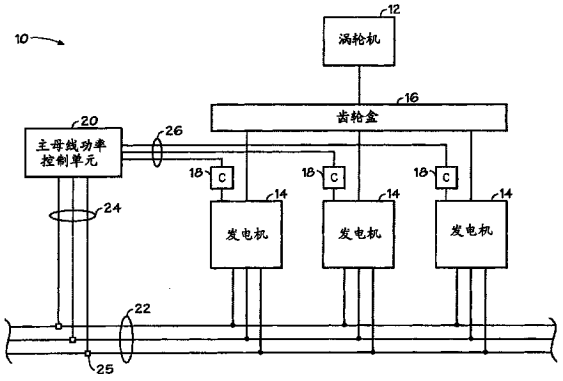
权利要求书 1 页 说明书 8 页 附图 7 页

(54)发明名称

平衡多个同步发电机的功率的方法以及同步发电系统

(57)摘要

多个同步发电机的功率平衡提供用于一同步发电系统(10)的功率平衡方法。用于平衡一同步发电机系统(10)内的功率的示例的方法包括确定由一原动机(12)驱动的同步发电机(14)的输出功率特性并比较所述特性与由多个同步发电机(14)的所述输出功率导出的一数值。所述方法还包括向所述同步发电机(14)提供一校正信号(72)以便修正由该发电机(14)所产生的输出功率。还提供一种具有由一共用的原动机(12)驱动的多个同步发电机(14)的同步发电系统(10)。



CN 1992465 B

1. 一种用于平衡一同步发电机系统 (10) 内的功率的方法，所述方法包括 ：

确定由一原动机 (12) 驱动的一第一同步发电机 (14) 的一第一输出功率特性 ；

将所述第一输出功率特性与由多个同步发电机 (14) 的输出功率导出的一数值进行比较以确定所述第一输出功率特性与所述数值的偏差，其中所述多个同步发电机 (14) 由所述原动机 (12) 驱动 ；以及

向所述第一同步发电机 (14) 提供一校正信号 (72) 以便调节其输出功率，其中所述校正信号基于所述偏差。

2. 权利要求 1 的方法，其特征在于，确定所述第一输出功率特性包括测量所述第一同步发电机 (14) 的有效输出功率。

3. 权利要求 1 的方法，其特征在于，确定所述第一输出功率特性包括测量所述第一同步发电机 (14) 的视在输出功率。

4. 权利要求 1 的方法，其特征在于，所述多个同步发电机 (14) 包括所述第一同步发电机 (14)。

5. 权利要求 1 的方法，进一步包括 ：

确定由所述原动机 (12) 驱动的所述多个同步发电机 (14) 中每一个同步发电机 (14) 的输出功率 ；

将所述多个同步发电机 (14) 中每一个同步发电机的输出功率与所述多个同步发电机 (14) 的平均输出功率进行比较，以确定各输出功率与所述平均输出功率之间的差值 ；以及

向各同步发电机 (14) 提供一校正信号 (72)，其中用于各同步发电机 (14) 的相应校正信号 (72) 取决于所述多个同步发电机 (14) 中每一个同步发电机的输出功率与所述多个同步发电机 (14) 的平均输出功率之间的相应差值。

6. 权利要求 1 的方法，其中，向所述第一同步发电机 (14) 提供所述校正信号 (72) 包括向所述第一同步发电机 (14) 的一磁场控制器 (40) 提供所述校正信号，并且在提供所述校正信号之后进行一误差补偿或积分过程。

7. 权利要求 1 的方法，其中，所述校正信号 (72) 包括一功率平衡校正分量 (68) 和一母线电压校正分量 (62)。

8. 权利要求 1 的方法，其中，所述数值是所述多个同步发电机的平均输出功率。

9. 一同步发电系统 (10) 包括 ：

一原动机 (12) ；

与所述原动机 (12) 耦合并设定成用于从其接收机械功率的一机械功率分配器 (16) ；

与所述械功率分配器 (16) 耦合的多个同步发电机 (14)，用以从其接收机械功率 ；

与所述多个同步发电机 (14) 耦合的一控制单元 (20)，所述控制单元 (20) 配置成用于将所述多个同步发电机 (14) 中每一个同步发电机的输出功率与所述多个同步发电机 (14) 的平均输出功率进行比较，并向各同步发电机 (14) 提供一调节信号 (72)，其中，相应调节信号 (72) 的提供影响各同步发电机 (14) 的输出功率与所述多个同步发电机 (14) 的平均输出功率之间的偏差的修正。

10. 权利要求 9 的系统，其中，所述控制单元 (20) 配置成用于将所述多个同步发电机 (14) 中每一个同步发电机的有效功率与所述多个同步发电机 (14) 的平均有效功率进行比较。

平衡多个同步发电机的功率的方法以及同步发电系统

技术领域

[0001] 本发明主要涉及电功率发生系统。本发明尤其涉及一种用于调节由单个的原动机驱动的多个发电机当中的每一个输出的功率的技术。

背景技术

[0002] 电功率发生系统应用于多个不同的领域，包括航空，制造以及商用能源生产，以上仅指出了一些。可以理解，这些系统通常用于将机械能转换为电功率，所述电功率可用于操作一个或多个需要上述功率的电气设备或系统。通常，这些发电系统包括一个或多个发电机，每个发电机具有一定子以及一相对所述定子旋转的转子。这样的发电系统也典型地包括用于向所述转子提供机械功率的一个或多个原动机。例如就航空领域而言，原动机通常是一飞行器的燃气轮发动机。在某些发电机当中，从所述转子内的转子的磁极处形成一磁场，所述转子和所述磁场的旋转在所述定子的绕组中感应出可用于向电气设备供给动力的交变电流。尽管许多发电机制造成在其中所述转子设定成在所述定子内旋转，本领域技术人员也可以理解，发电机也可以设定成允许所述转子绕一内定子旋转。

[0003] 就具有多个发电机的发电系统而言，其可能需要控制或平衡各发电机的电功率贡献，包括其有功部分和无功部分。通常，当设想进行这样的控制时，一发电系统将包括一为各发电机提供机械功率的单独的原动机。为各发电机提供的单独的原动机的应用容许通过调节所述原动机的输入功率以及所述发电机之间的所述交变功率的相对相角使所述功率输出可控。尽管一单独的发电机与一原动机的耦合已经足够满足某些应用，但是这种装置存在局限。例如，飞行器包括有限数量的用以驱动发电机的原动机。如果所述飞行器包括两个燃气轮发动机，仅有连接到同一格栅的两个发电机可由所述涡轮机驱动。如果需要额外的发电机，可能需要使额外的发电机与一原动机连接。然而，可以理解，多个发电机与一单个原动机的耦合将妨碍通过调节共用的原动机或所述发电机的机械连接且非可调的相角对所述发电机输出的功率进行控制。进而，进行这样无意调节的无能力性，影响了一给定的发电系统的额定功率。

[0004] 因而需要一种改进的功率平衡和调节技术，其独立地调节由一共用的原动机驱动的多个发电机当中的每一个所产生的输出功率，包括有功部分和无功部分。

发明内容

[0005] 以下阐明与此前所提出的发明的范围相称的某些观点。可以理解，这些观点的提出仅用于向读者提供本发明可能采用的某些形式的概述，并且这些观点不用于限定本发明的范围。事实上，本发明可能包括以下未阐明的多种观点。

[0006] 本技术的实施例主要涉及同步发电系统和方法，其用于平衡所述系统内的发电机之间的各个的功率输出，包括平衡这些输出的有用功、无用功或视在功率。此处公开的方法的某些实施例实现了多个发电机之间的功率的平衡，以及对由一单个的原动机驱动的多个发电机中的一个所产生的输出功率的独立调节。在某些实施例中，例如，如果所述发电机是

同一额定值，为了使所述多个发电机的每一个的输出功率相等，平衡可以这样实现，即由一单个的发电机所产生的输出功率极度接近所述多个发电机当中的每一个发电机的平均输出功率。然而，在其他实施例中，通过建立一第一输出功率以及建立一不同的第二输出功率实现功率平衡，所述第一输出功率来自由一原动机驱动的一个发电机，所述第二输出功率来自由同一原动机驱动的另一个发电机。

[0007] 本发明一方面涉及一种用于平衡一同步发电机系统内的功率的方法，所述方法包括：确定由一原动机驱动的一第一同步发电机的一第一输出功率特性；将所述第一输出功率特性与由多个同步发电机的输出功率导出的一数值进行比较以确定所述第一输出功率特性与所述数值的偏差，其中所述多个同步发电机由所述原动机驱动；以及向所述第一同步发电机提供一校正信号以便调节其输出功率，其中所述校正信号基于所述偏差。

[0008] 本发明另一方面涉及一种同步发电系统，该系统同步发电包括：一原动机；与所述原动机耦合并设定成用于从其接收机械功率的一机械功率分配器；与所述机械功率分配器耦合的多个同步发电机，用以从其接收机械功率；与所述多个同步发电机耦合的一控制单元，所述控制单元配置成用于将所述多个同步发电机中每一个同步发电机的输出功率与所述多个同步发电机的平均输出功率进行比较，并向各同步发电机提供一调节信号，其中，相应调节信号的提供影响各同步发电机的输出功率与所述多个同步发电机的平均输出功率之间的偏差的修正。

附图说明

[0009] 通过参考附图阅读以下的详细说明，本发明上述的以及其他的特征、观点和有益之处将更易于理解，在所有附图中，相似的符号代表相似的部件。

[0010] 图 1 所示为根据本方法的一个实施例所述的一具有多个同步发电机的示例的发电系统的框图；

[0011] 图 2 所示为根据本方法的一个实施例所述、图 1 所示的发电机以及电力系统的其他部件和组件的简图；

[0012] 图 3 所示为与图 1 和图 2 所示的控制单元相关的另外的示例部件的简图；

[0013] 图 4 所示为多个发电机当中每一个的示例的视在功率输出矢量的曲线图；

[0014] 图 5 所示为根据本方法的某些方面所述、对图 4 所示的多个发电机的有功输出功率进行平衡的曲线图；

[0015] 图 6 所示为若干个发电机的示例的交变视在功率输出矢量的曲线图；以及

[0016] 图 7 所示为根据本方法的某些方面所述、对图 6 所示的发电机的视在输出功率进行平衡的曲线图。

具体实施方式

[0017] 以下将说明本技术的一个或多个具体实施例。在该说明书中，致力于提供对这些实施例的简明的叙述，而未对实际实现方式的所有特征进行描述。可以理解，在开发任何一个此种实际实现方式的过程中，如同开发任何工程或设计项目，为了达到开发者的具体目标，诸如符合与系统相关以及与商业相关、基于不同的实现方式可能各不相同的限制，需要进行为数众多的具体实现方式的选择。进而可以理解，这样的开发工作可能复杂且耗时，但

对于那些从此处公开的内容中受益的本领域技术人员而言，进行设计、安装和制造仍然是例行程序。需要指出的是，全文中所描述的本技术的实施例指出了通用情形。

[0018] 接着参照附图，图 1 中示出了根据本技术的一个实施例所述的一示例的发电系统 10 的简图。所述系统 10 包括与一单个的、例如是涡轮机 12 的原动机连接、并由其驱动的多个同步发电机 14。特别地，涡轮机 12 通过一例如是齿轮箱 16 的机械功率分配器向发电机 14 供给机械功率。本领域技术人员可以理解，发电机 14 通过齿轮箱 16 将从涡轮机 12 接收到的机械输入功率转换为电输出功率。可以理解，在不同的实施例中，所述发电机 14 可具有等效或不同的额定功率。

[0019] 所述系统 10 也包括其中每一个均与一发电机 14 相关的磁场控制单元 18，以及与所述磁场控制单元 18 耦合的主母线功率控制单元 20。发电机 14 输出的功率输送给一输出母线 22，其可向各种其他电气设备或系统提供动力。一反馈母线 24 接收来自与所述输出母线 22 连接的传感器 25 的信号，并将这些信号发送至主母线功率控制单元 20。正如以下更详细说明的，主母线功率控制单元 20 利用该信息并借助一控制母线 26 将校正或调节信号应用于所述磁场控制单元 18，从而以独立地方式调节各发电机输出的有功（即有效）和无功功率。

[0020] 值得一提的是，本系统可得到广泛应用。例如，本系统可有益地与一飞行器电子系统相关地得以应用。然而其他实现方式也可以考虑，包括应用在石油和燃气工业，船舶发电，直接能源防卫系统以及雷达系统，以上仅指出一些。进而可以理解，尽管该示例的系统 10 包括三个具有相同额定值的同步发电机，其他的系统可能包括数目不等的发电机，例如六个，八个等。事实上，包括多个发电机的任何系统都可完全参照本技术加以应用。并且进一步，尽管本实施例包括三个向单个输出母线 22 提供输出功率的发电机，其他实施例可包括分别独立地接收来自几个子发电机组的输出功率的多个输出母线。另外，一个或多个发电机 14 可具有与输出母线 22 无关地连接于其上的负荷。在此例中，所述磁场控制单元 18 提供用于一发电机 14 的单独操作的本地控制，而所述主母线功率控制单元 20 促进所述发电机的并行操作。

[0021] 参照附图 2 可以更清楚地说明和理解所述示例的系统 10 的其他部件。特别地，系统 10 包括多个发电机组 28，各发电机组包括一发电机系统 14 和一磁场控制单元 18。所述发电机组 28 产生可用于操作众多的例如是负载 30 的设备或系统的电功率。在所示实施例中，发电机系统 14 包括一发电机 32，一旋转整流器 34 以及一励磁机 36。所述发电机组 28 可以是多种发电机类型的其中一种，所述类型包括无刷励磁同步发电机，绕线式磁场同步发电机，具有一励磁电路的同步发电机，单极同步发电机，以上仅指出了其中一些。

[0022] 进而，各磁场控制单元 18 包括一逆变器 38 以及一磁场控制器 40。各磁场控制器 40 设定成用于接收各种输入信号并产生一控制一无刷励磁机 36 的输出信号。可以理解，所述控制单元 18 可增大或减小所述励磁线圈上的反电动势 (back EFM) 以控制内磁场强度及发电机 32 所产生的输出功率。由发电机 32 产生的输出功率的特性借助电压传感器 Va、Vb 和 Vc 以及电流传感器 Ia、Ib、Ic 和 In 加以感测。这些测得的特性可随后输入磁场控制器 40。所述磁场控制器 40 也设定成用于接收一来自主母线功率控制单元 20 的控制信号，以及一来自一传感器 42 的并联电压 Vsh，如同以下更为详细地描述的，所述控制信号可包括一状态信号以及一校正信号。传感器 42 测量由发电机组 28 产生的交流 (AC) 电流并检测这

些发电机组之间的电流不平衡。该信息可被输入给所述主母线功率控制单元 20 和所述磁场控制器 40 二者之一或全部，以便促进一用以减小上述不平衡的校正或指令信号的应用。所述磁场控制器 40 处理这些信号以产生一用以调节发电机 32 的功率输出的指令信号。

[0023] 如以上所述，各发电机组 28 输出的功率被提供给所述输出母线 22。在所述母线上输送的总功率的特性，包括 I_R，I_S，I_T，V_R，V_S 和 V_T，被感测并输入到主母线功率控制单元 20。如以下所述，所述功率控制单元 20 产生一应用于各磁场控制器 40 的状态或控制信号。进而，所述功率控制单元 20 也可向一个或多个诸如开关 44 和 46 的保护电路输出一控制信号。

[0024] 根据本技术的一个实施例所述的主母线功率控制单元 20 以及磁场控制器 40 的更详细的说明在图 3 中示出。以上所描述的各种信号在主母线功率控制单元 20 和磁场控制器 40 之间借助一通信链路 52 加以传递。来自输出母线 22 的电压输入给主母线功率控制单元 20 并加以变换，如方块 54 中所示。所述转换过的电压与一参考电压 56 以及一参考电压校正系数 58 组合，其被输入至一积分器电路 60。在一个实施例中，参考电压 56 是 115Vrms，然而根据本方法也可以使用其他电压。积分器 60 输出一母线电压校正系数 62，如以下所述，该母线电压校正系数 62 与一功率平衡校正系数 68 组合。

[0025] 一系统配置模块 64 可容纳或包含与所述发电机以及所述母线相关的配置数据。例如，所述系统配置模块 64 可包括各发电机的状态，例如哪些发电机是活动的或不活动的，以及例如哪些是并行的或独立运行的。如以下所讨论的，由于负荷问题或操作错误，或由于其他原因，可将一发电机从并行操作移除，以便独立于其他发电机地进行操作。一目标值控制模块 66 接收来自所述系统配置模块 64 的数据，以及来自各发电机 32 的视在功率，并为各发电机提供一功率平衡校正系数 68。系统配置模块 64 也可向可包括开关 44 和 46 的各种保护电路 74 输出一信号，以起动或停止所述发电系统 10 或单个发电机组 28 或所述系统。

[0026] 在某些实施例中，可能需要使各发电机 32 产生的功率相等。在这样的实施例中，基于各发电机 32 的实际输出功率与该发电机的期望输出功率的差值或偏差，为各发电机 32 提供一功率平衡校正系数 68，以减小或增大该发电机的功率输出，从而使其更接近地与并行操作的所有发电机 32 的平均功率输出相一致。可以理解，各功率平衡校正系数 68 取决于该发电机的特定的输出特性。一输出功率大于一组发电机的平均功率的发电机 32 可导致一使该特定发电机的输出功率减小的功率平衡校正系数 68 的应用。同样地，一产生小于所述发电机组的平均功率的功率的发电机 32 可接收一导致该发电机的功率输出增大的功率平衡校正系数 68。在其他实施例中，可能需要操作一个发电机 32 使其产生高于或低于其他发电机 32 所产生的输出功率的输出功率。在这些实施例中，一功率平衡校正系数 68 被应用于各发电机 32 以减小各发电机 32 的输出功率与该发电机的期望输出功率水平的偏差。

[0027] 如求和方块 70 中所示，各功率平衡校正系数 68 和所述母线电压校正系数 62 组合，以便为相应的发电机 32 产生一校正命令信号或系数 72。所述校正或调节信号 72 从所述主母线控制单元 20 输入至一磁场控制器 40，并与一如方块 76 中所示的转换过的输出电压，以及一本地参考电压 78 组合。所述组合的信号可随后馈给一电压调节器 80。

[0028] 另外，一特定发电机 32 的输出电流被输入至其相应的磁场控制器 40 并如方块 82

中所示地进行转换。一处理方块 84 接收所述转换过的电压以及转换过的电流以计算所述发电机 32 的所述视在功率 86，如上所述，该视在功率 86 被输入给目标值控制模块 66。各发电机 32 的更新过的视在功率向目标值控制模块 66 的输入使得能够比较各发电机 32 的所述输出功率与期望水平，例如是一平均水平。进而，容许通过一校正或调节信号 72 对各个单独的输出功率进行同时或接近同时的校正或调节。

[0029] 所述转换过的电流也可用于提供一负荷前馈信号 88，所述负荷前馈信号 88 与一来自电压调节器 80 的输出信号在求和方块 90 中组合，以改善其动态性能。所述组合后的信号可从方块 90 输出至一磁场调节器 92。可以理解，电压调节器 80 和磁场调节器 92 也可包括对一给定应用而言所需的各种误差补偿或积分技术。应该注意的是，在某些实施例中，磁场控制器 40 也可包括保护和接地故障中断模块 94，以控制所述系统 10 的各种保护电路 96。

[0030] 一来自各磁场调节器 92 的信号从磁场控制器 40 传送至一与相应发电机 32 相关联的逆变器 38。可以理解，逆变器 38 的输出将影响励磁线圈 36 上的反电动势 (back EMF)，进而影响发电机 32 的输出功率。如此以来，从磁场控制器 40 输出给所述逆变器 38 的信号直接影响各发电机 32 的输出功率。进而，来自励磁机 36 的反馈被提供给逆变器 38 以进行所述磁场的闭环控制。

[0031] 本技术允许用于平衡包括有效功率、无功功率以及视在功率在内的各种功率特性。参照附图 4-7，对由几个发电机中的每一个输出的功率进行的平衡将更加清楚。特别地，这些图中示出了描述几个示例的发电机的输出功率的曲线图。可以理解，一发电机的所述视在功率是有功或有功功率部分和一无功功率部分的矢量和。在图 4-7 的曲线图中，由所述示例的发电机所产生的所述有效功率沿水平轴加以量度，而所述无功功率沿纵轴加以量度。得到的视在功率由图 4 中的矢量 108，110 以及 112 的长度表示。

[0032] 如图 4 中具有轴 104 和 106 的曲线图 102 所示，三个示例的发电机可产生相等的单独的视在输出功率 108、110 以及 112。值得一提的是，所述视在输出功率 108、110 以及 112 是基于一 0.95 的负荷滞后功率因数得出的。本领域技术人员可以理解，保持所述视在功率恒定，减小所述功率因数将增大所产生功率的所述无功功率部分并减小其有效功率部分。在本例中，具有一个相当高的 0.95 的功率因数，可能需要平衡所述发电机输出的功率的有效功率部分，例如通过在由线 114 所示的水平上，使输出功率 108、110 以及 112 的有效功率部分相等。上述平衡可通过以上所公开的技术获得。特别地，一调节信号，例如通过一磁场控制器 40，可应用于发电机 1，以增大由该发电机产生的视在功率 108。类似地，一调节信号可应用于发电机 3，以减小由该发电机产生的视在功率 112。如图 5 所示，通过使用这样的校正信号，可对输出功率 108、110、112 的有效功率部分进行平衡。

[0033] 特别地，在其他实施例中，功率平衡可包括操作一个或多个在一个功率输出水平的发电机，操作一个或多个在第二输出水平的发电机，或者操作在不同输出水平的各发电机。进而，在这些或其他的实施例中，所述发电机中的一个或多个可与所述系统断开并独立于所述并行发电机地进行操作，或者停止，并且校正信号可应用于其余的并行发电机，以补偿所述断开的发电机不再产生的功率。可以理解，这将允许一个或多个所述发电机为一独立的负荷提供动力或服务而不致从整体上影响所述系统，以及当一发电机出现意外故障时提供冗余。

[0034] 如果所述功率因数减小到低于某一阈值，例如 0.80 或 0.85，可能需要平衡几个发电机的视在输出功率而不是平衡所述有效功率部分。例如，图 6 示出了由几个发电机以 0.7 的功率因数产生的视在功率。在曲线图 118 中，所述有效功率沿横轴 120 加以量度，以及所述无功功率沿纵轴 122 加以量度。发电机 1、2 和 3 分别产生视在输出功率 124、126 和 128。在某些应用中，如以上提到的，可能需要对输出功率 124、126 和 128 的幅值进行平衡，例如在由曲线 130 所表示的水平。各个校正信号可应用于各发电机 1、2 和 3，以便根据需要增大或减小由这些发电机产生的视在输出功率，从而如图 7 的曲线图 132 所示，沿所述曲线 130 对这些输出功率的幅值进行平衡。

[0035] 在进一步的应用中，可能需要平衡由多个发电机产生的输出功率的无功功率部分而不是平衡所述视在功率或所述有效功率部分。这样的无功功率平衡在一些情况下可具有特别的应用，其中所述功率因数下降至低于某一阈值，例如 0.25 或 0.50，所述无功功率部分大于具有更高功率因数的实施例中的值。在上述例子中，各个控制信号可应用于多个发电机的每一个，以便调节由所述发电机产生的输出功率并平衡其无功功率部分。

[0036] 虽然在此已结合附图中的例子对具体实施例进行了说明和详细描述，但是本技术容许各种更改和可供选择的形式。然而可以理解，本发明并非限于所公开的特定形式。相反地，本发明囊括了落入由所附权利要求所限定的本发明的精神和范围内的所有更改、等价物和可供选择的方案。

[0037] 部件列表

[0038] 10 系统（发电）

[0039] 12 涡轮机

[0040] 14 发电机

[0041] 16 齿轮箱

[0042] 18 发电机控制单元

[0043] 20 主母线功率控制单元

[0044] 22 输出母线

[0045] 24 反馈母线

[0046] 25 传感器

[0047] 26 控制母线

[0048] 28 发电机组

[0049] 30 负荷

[0050] 32 发电机

[0051] 34（旋转）整流器

[0052] 36 励磁机

[0053] 38PWM（脉冲宽度调制）逆变器

[0054] 40 磁场控制器 (BPCU)

[0055] 42 传感器

[0056] 44（保护电路）开关

[0057] 46 开关

[0058] 48

[0059] 50

[0060] 52 通信链路

[0061] 54 电压转换（母线）

[0062] 56 参考电压 (Vref)

[0063] 58 参考电压校正信号

[0064] 60 积分器

[0065] 62Vbus 校正信号 / 系数

[0066] 64 系统配置

[0067] 66 目标值控制

[0068] 68 功率平衡校正信号 / 系数

[0069] 70 求和

[0070] 72 校正命令（信号,系数等）

[0071] 74 保护电路

[0072] 76 电压转换（发电机）

[0073] 78 本地参考电压

[0074] 80 电压调节器

[0075] 82 电流转换（发电机）

[0076] 84 处理块

[0077] 86 视在功率

[0078] 88 负荷前馈信号视在功率

[0079] 90 求和

[0080] 92 磁场调节器

[0081] 94 保护和接地故障中断器

[0082] 96 保护电路

[0083] 98

[0084] 100

[0085] 102 曲线图

[0086] 104 水平轴（有效功率 -P)

[0087] 106 纵轴（无功功率 -Q)

[0088] 108 发电机 1 的视在功率 (S) 矢量

[0089] 110 发电机 2 的视在功率 (S) 矢量

[0090] 112 发电机 3 的视在功率 (S) 矢量

[0091] 114 线（有效功率平衡）

[0092] 116 曲线图

[0093] 118 曲线图

[0094] 120 水平轴（有效功率 -P)

[0095] 122 纵轴（无功功率 -Q)

[0096] 124 发电机 1 的视在功率 (S) 矢量

[0097] 126 发电机 2 的视在功率 (S) 矢量

[0098] 128 发电机 3 的视在功率 (S) 矢量

[0099] 130 曲线（视在功率平衡）

[0100] 132 曲线图

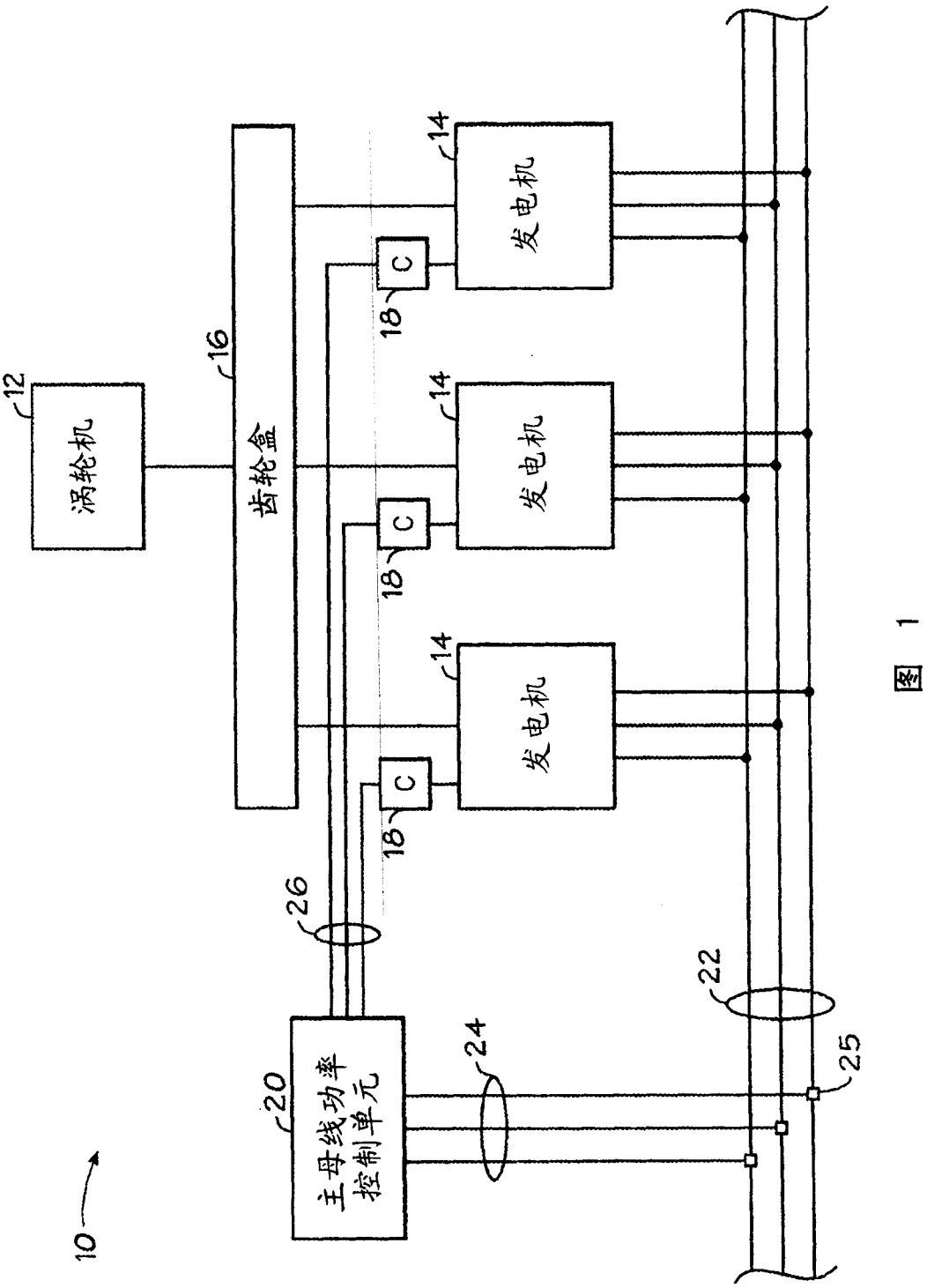

10
12
涡轮机
16
齿轮盒
14
发电机
14
发电机
14
发电机
18
C
18
C
18
C
20
主母线功率控制单元
22
24
25
26

图 1

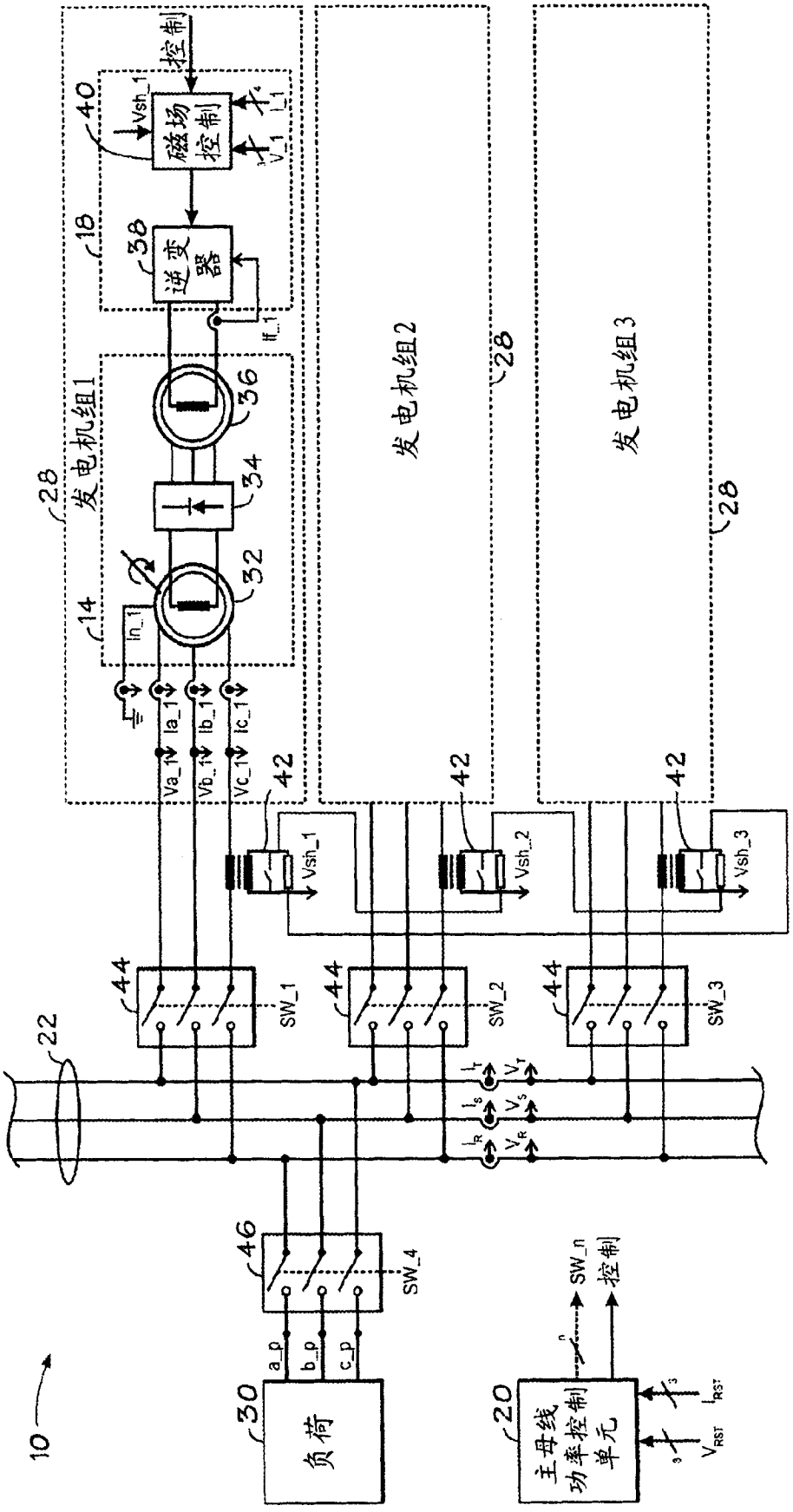

控制
磁场控制
逆变器
发电机组1
发电机组2
发电机组3
负荷
主母线功率控制单元
SW_1
SW_2
SW_3
SW_4
SW_n
Vsh_1
Vsh_2
Vsh_3
Va_1
Vb_1
Vc_1
Ia_1
Ib_1
Ic_1
In_1
If_1
a_p
b_p
c_p
10
12
14
18
20
22
28
30
32
34
36
38
40
42
44
46

图 2

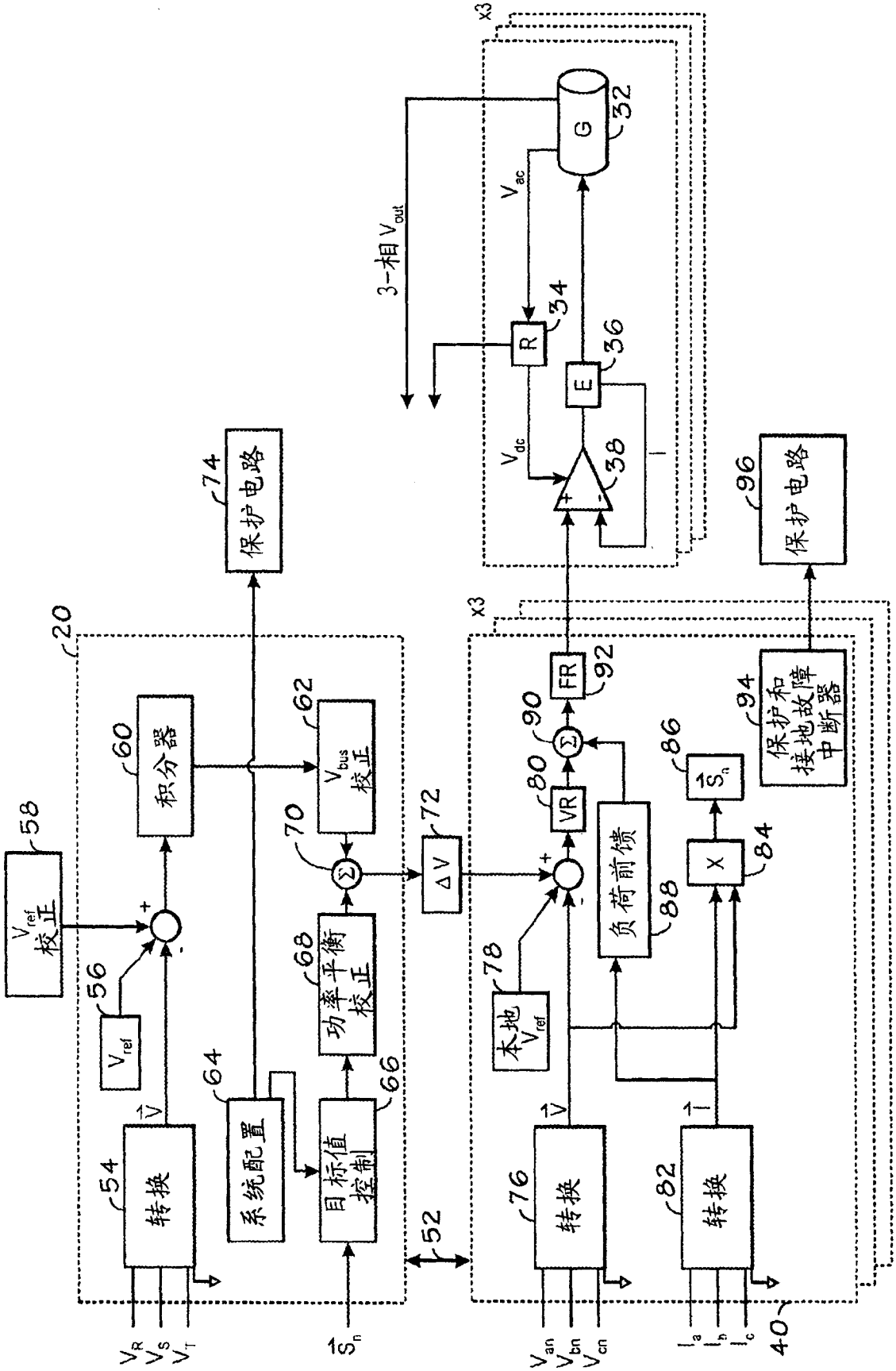

x3
3-相 V_{out}
V_{ac}
G
32
R
34
E
36
V_{dc}
38
20
74
保护电路
58
V_{ref} 校正
60
积分器
62
V_{bus} 校正
70
72
ΔV
56
V_{ref}
64
系统配置
68
功率平衡校正
66
目标值控制
54
转换
52
V_R V_S V_T
S_n
x3
90
FR
92
80
VR
86
$\vec{S}_n$
94
保护和接地故障中断器
78
本地 V_{ref}
负荷前馈
88
X
84
76
转换
82
转换
V_{an} V_{bn} V_{cn}
I_a I_b I_c
40
96
保护电路

图 3

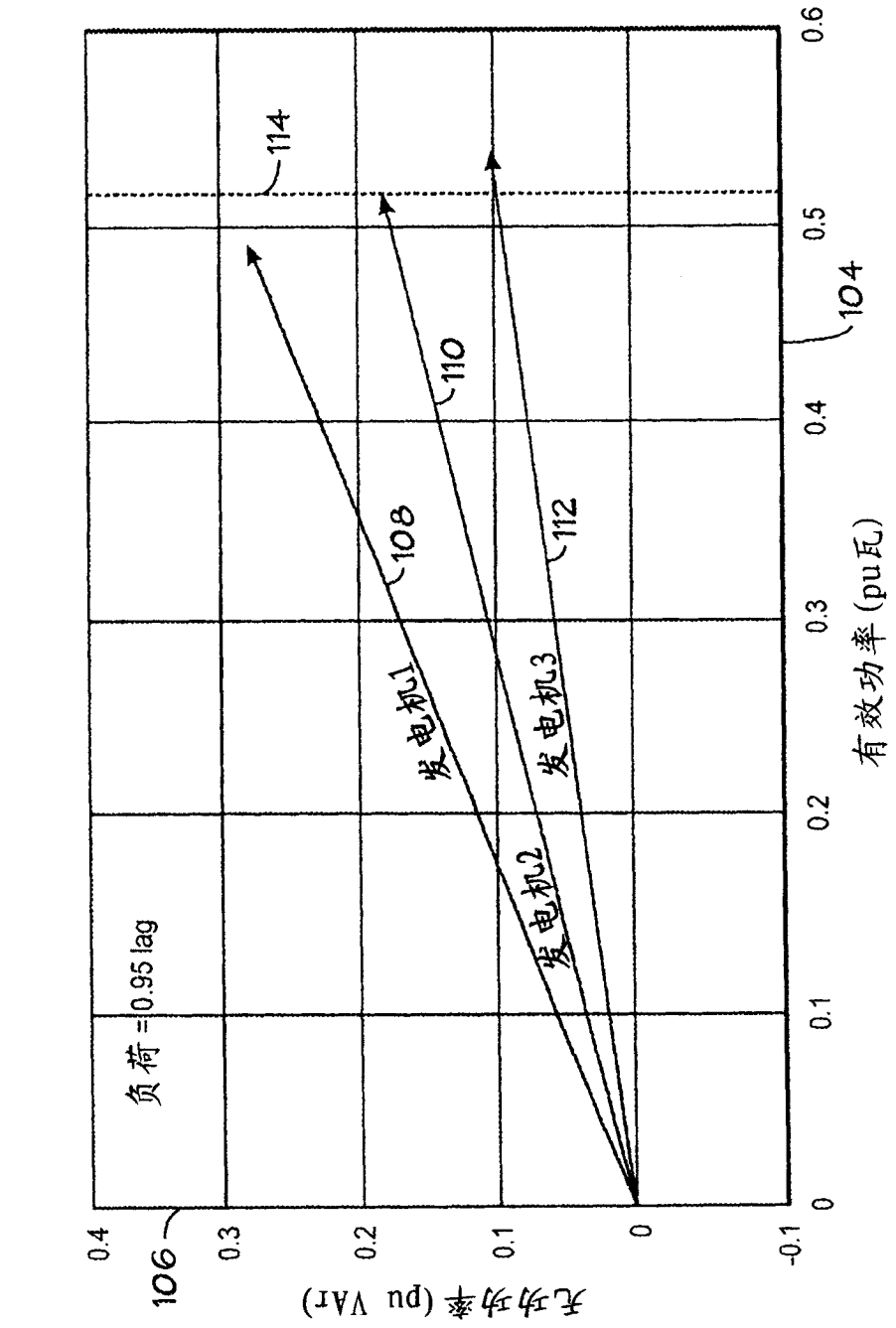

102
106
104
114
108
110
112
发电机1
发电机2
发电机3
负荷 =0.95 lag
无功功率 (pu VAr)
有效功率 (pu瓦)
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6

图 4

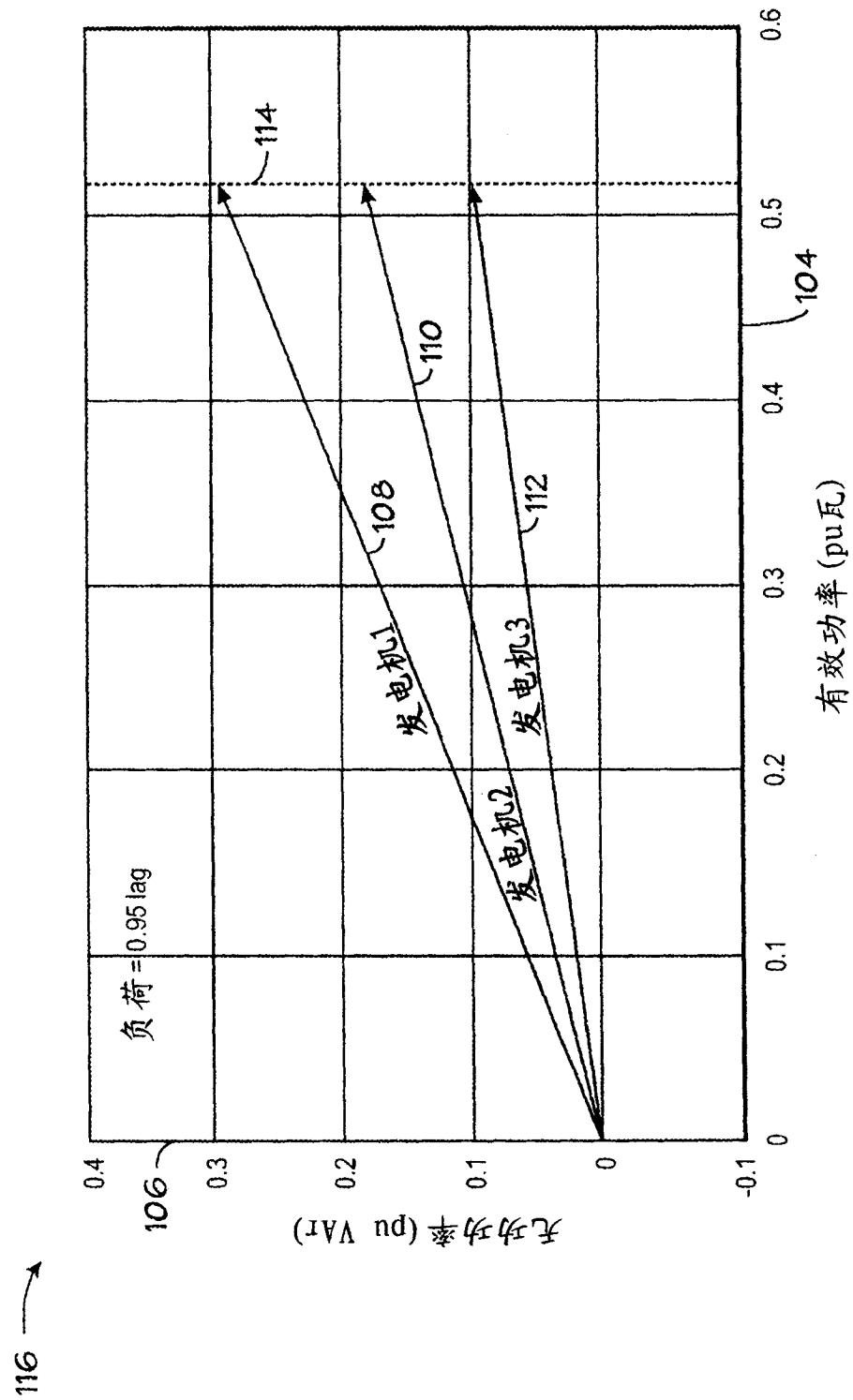

114
110
108
112
发电机1
发电机2
发电机3
负荷=0.95 lag
106
116
无功功率 (pu VAr)
有效功率 (pu瓦)
104
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6

图 5

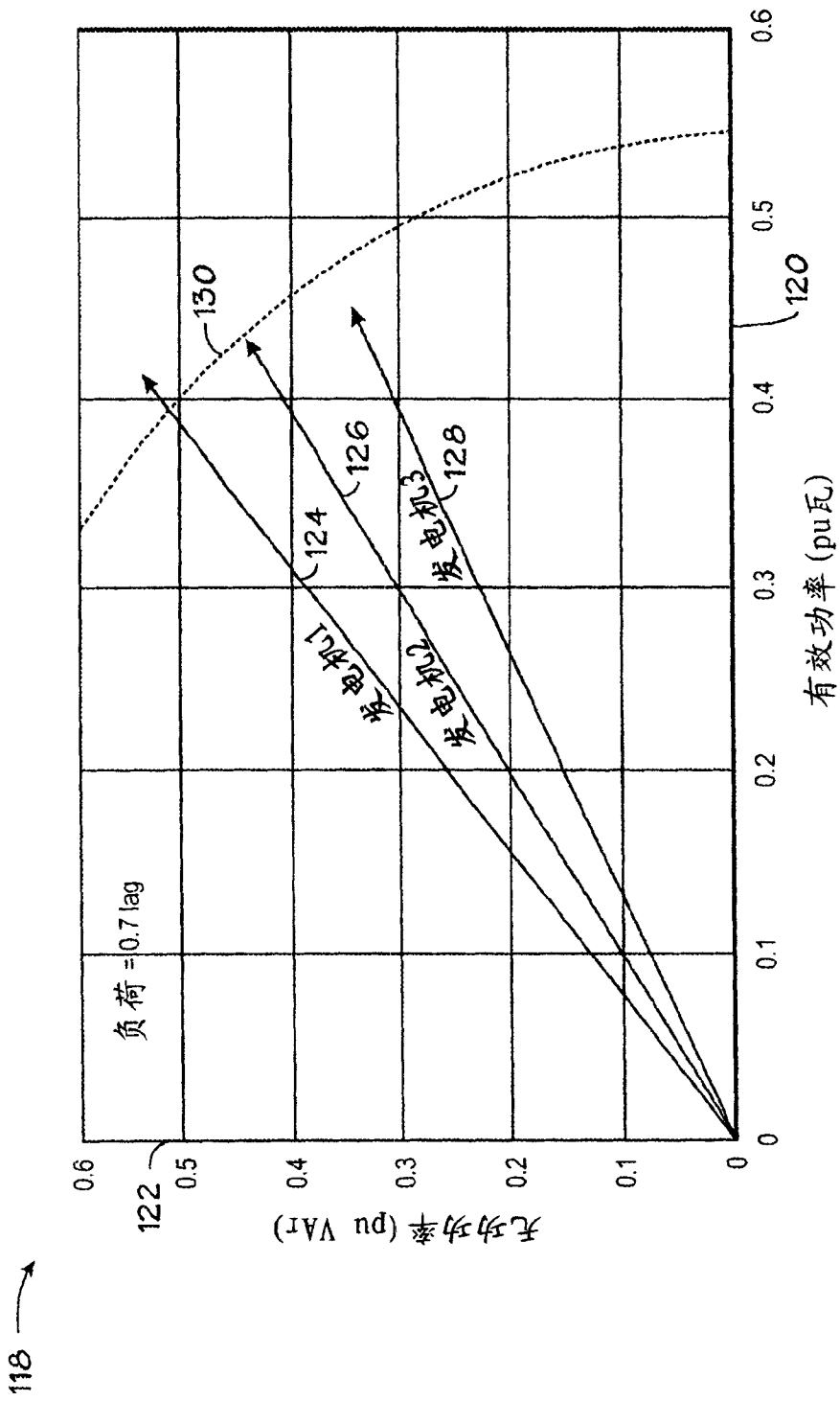

118
122
无功功率 (pu VAr)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
负荷 =0.7 lag
130
124
126
128
发电机1
发电机2
发电机3
120
有效功率 (pu瓦)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0

图 6

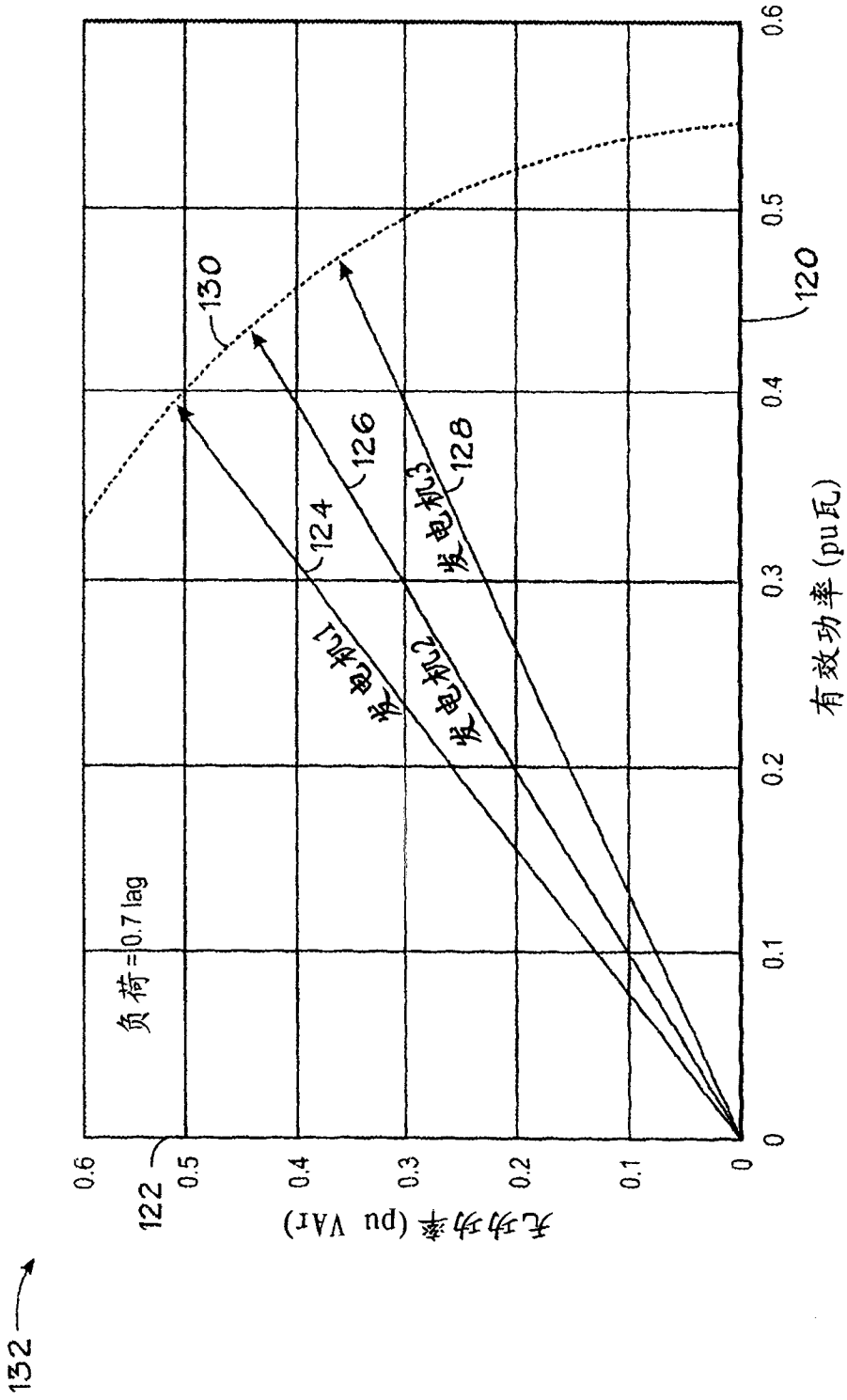

132
122
130
120
124
126
128
发电机1
发电机2
发电机3
负荷=0.7 lag
无功功率 (pu VAr)
有效功率 (pu瓦)
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6

图 7