



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101166010 B

(45) 授权公告日 2013. 09. 25

(21) 申请号 200710181618. 2

US 2005/0012339 A1, 2005. 01. 20, 全文.

(22) 申请日 2007. 10. 19

审查员 陈新红

(30) 优先权数据

11/551430 2006. 10. 20 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 S·A·巴克 A·克洛多夫斯基

J·达特尔 E·拉森

G·德罗布恩亚克

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 原绍辉 黄力行

(51) Int. Cl.

H02P 9/00(2006. 01)

H02J 3/38(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 1754042 A, 2006. 03. 29, 全文.

CN 1784823 A, 2006. 06. 07, 全文.

US 5804949 A, 1998. 09. 08, 全文.

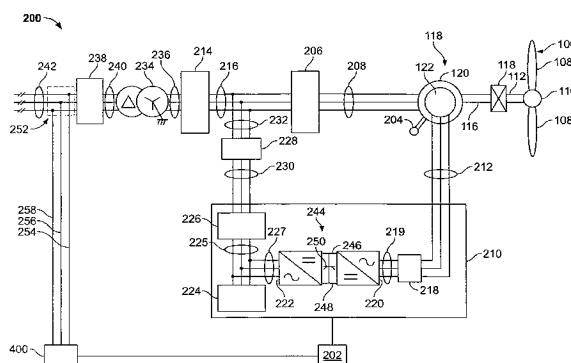
权利要求书4页 说明书11页 附图5页

(54) 发明名称

用于操作电机的方法和设备

(57) 摘要

用于操作电机的方法和设备,其提供用于电机的控制系统(200)。电机构造为电联接到电力系统,其中电力系统构造为输送至少一相电力到电机和从电机输送至少一相电力,控制系统在电力的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段的期间和随后,利于电机保持电连接到电力系统。



1. 一种用于操作电机的方法,所述方法包括:
将电机联接到电力系统,使得电力系统构造为输送至少一相电力到电机;和
构造控制系统,使得在以下各项中的至少一项的期间和随后,所述控制系统利于电机保持电连接到电力系统:
电力系统的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段;和
电力系统的每一相的电压幅值减少到大约零伏事先确定的时间段,从而利于零电压穿越(ZVRT)。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中在控制系统内提供锁相环调节器,所述锁相环调节器包括:
包括至少一个相位检测配置和至少一个比例积分滤波器配置的至少一个锁相环;和
至少一个锁相环状态机,其联接为与所述锁相环的至少部分电子数据连通。
3. 根据权利要求2所述的方法,其中,将所述控制系统的至少一个算法构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数调节以下的至少一个:
至少一个增益常数数值;
至少一个最大界限数值;和
至少一个最小界限数值。
4. 根据权利要求2所述的方法,其中将所述比例积分滤波器配置构造为包括:
至少一个比例增益算法,其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个比例增益常数选择的至少一个比例增益常数,所述比例增益算法进一步构造为产生比例增益信号;
至少一个积分增益算法,其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个积分增益常数选择的至少一个积分增益常数,所述积分增益算法进一步构造为产生积分增益信号;
至少一个积分滤波器算法,其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个积分滤波器界限选择的至少一个积分滤波器界限,所述积分滤波器算法进一步构造为产生滤波的积分信号;
至少一个求和算法,其构造为接收并求和所述比例增益信号和滤波的积分信号且产生求和信号;和
至少一个求和滤波器算法,其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个求和滤波器界限选择的至少一个求和滤波器界限。
5. 根据权利要求4所述的方法,其中将所述锁相环状态机构造为包括至少一个构造为确定作为电力系统的至少一个电压幅值的函数的所述锁相环调节器的状态的算法和至少一个数值表,数值表包括至少:
所述多个比例增益常数;
所述多个积分增益常数;
所述多个积分滤波器界限;和
所述多个求和滤波器界限。
6. 根据权利要求4所述的方法,其中将所述锁相环状态机构造为作为所述锁相环调节器状态的函数输送以下的至少一个:

从所述多个比例增益常数选择的所述比例增益常数；
从所述多个积分增益常数选择的所述积分增益常数；
从所述多个积分滤波器界限选择的所述积分滤波器界限；和
从所述多个求和滤波器界限选择的所述求和滤波器界限。

7. 一种用于电机的控制系统，该电机构造为电联接到电力系统，其中电力系统构造为输送至少一相电力到电机，在以下各项中的至少一项的期间和随后，所述控制系统利于电机保持电连接到电力系统：

电力系统的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段；和

电力系统的每一相的电压幅值减少到大约零伏事先确定的时间段，从而利于零电压穿越(ZVRT)。

8. 根据权利要求7所述的控制系统，包括至少一个算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数调节以下的至少一个：

至少一个增益常数数值；

至少一个最大界限数值；和

至少一个最小界限数值。

9. 一种用于电机的控制系统，该电机构造为电联接到电力系统，其中电力系统构造为输送至少一相电力到电机，在电力系统的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段的期间和随后，所述控制系统利于电机保持电连接到电力系统；所述控制系统包括至少一个锁相环调节器，其联接为与电力系统的至少部分电子数据连通，所述锁相环调节器包括：

包括至少一个相位检测配置和至少一个比例积分滤波器配置的至少一个锁相环；和

至少一个锁相环状态机，其联接为与所述锁相环的至少部分电子数据连通。

10. 根据权利要求9所述的控制系统，其中所述比例积分滤波器配置包括：

至少一个比例增益算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个比例增益常数选择的至少一个比例增益常数，所述比例增益算法进一步构造为产生比例增益信号；

至少一个积分增益算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个积分增益常数选择的至少一个积分增益常数，所述积分增益算法进一步构造为产生积分增益信号；

至少一个积分滤波器算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个积分滤波器界限选择的至少一个积分滤波器界限，所述积分滤波器算法进一步构造为产生滤波的积分信号；

至少一个求和算法，其构造为接收并求和所述比例增益信号和滤波的积分信号且产生求和信号；和

至少一个求和滤波器算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个求和滤波器界限选择的至少一个求和滤波器界限。

11. 根据权利要求10所述的控制系统，其中所述锁相环状态机包括至少一个构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数确定所述锁相环调节器的状态的算法和至少一个数值表，数值表包括至少：

所述多个比例增益常数；
所述多个积分增益常数；
所述多个积分滤波器界限；和
所述多个求和滤波器界限。

12. 根据权利要求 10 所述的控制系统，其中所述锁相环状态机构造为作为所述锁相环调节器状态的函数输送以下的至少一个：

从所述多个比例增益常数选择的所述比例增益常数；
从所述多个积分增益常数选择的所述积分增益常数；
从所述多个积分滤波器界限选择的所述积分滤波器界限；和
从所述多个求和滤波器界限选择的所述求和滤波器界限。

13. 一种风力涡轮机，其包括：

至少一个电力发电机，其构造为电联接到电力系统，其中电力系统构造为输送至少一相电力到所述发电机和从所述发电机输送至少一相电力；

至少一个控制系统，其构造为电联接到电力系统，在电力系统的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段的期间和随后，所述控制系统利于电机保持电连接到电力系统；和

至少一个锁相环调节器，其联接为与电力系统的至少部分电子数据连通，所述锁相环调节器包括：

包括至少一个相位检测配置和至少一个比例积分滤波器配置的至少一个锁相环；和
至少一个锁相环状态机，其联接为与所述锁相环的至少部分电子数据连通。

14. 根据权利要求 13 所述的风力涡轮机，包括至少一个算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数调节以下的至少一个：

至少一个增益常数数值；
至少一个最大界限数值；和
至少一个最小界限数值。

15. 根据权利要求 13 所述的风力涡轮机，其中所述比例积分滤波器配置包括：

至少一个比例增益算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个比例增益常数选择的至少一个比例增益常数，所述比例增益算法进一步构造为产生比例增益信号；

至少一个积分增益算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个积分增益常数选择的至少一个积分增益常数，所述积分增益算法进一步构造为产生积分增益信号；

至少一个积分滤波器算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个积分滤波器界限选择的至少一个积分滤波器界限，所述积分滤波器算法进一步构造为产生滤波的积分信号；

至少一个求和算法，其构造为接收并求和所述比例增益信号和滤波的积分信号且产生求和信号；和

至少一个求和滤波器算法，其构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数接收从多个求和滤波器界限选择的至少一个求和滤波器界限。

16. 根据权利要求 15 所述的风力涡轮机,其中所述锁相环状态机包括至少一个构造为作为电力系统的至少一个电压幅值的函数确定所述锁相环调节器的状态的算法和至少一个数值表,数值表包括至少:

所述多个比例增益常数;

所述多个积分增益常数;

所述多个积分滤波器界限;和

所述多个求和滤波器界限。

17. 根据权利要求 15 所述的风力涡轮机,其中所述锁相环状态机构造为作为所述锁相环调节器状态的函数输送以下的至少一个:

从所述多个比例增益常数选择的所述比例增益常数;

从所述多个积分增益常数选择的所述积分增益常数;

从所述多个积分滤波器界限选择的所述积分滤波器界限;和

从所述多个求和滤波器界限选择的所述求和滤波器界限。

用于操作电机的方法和设备

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及电机,且更特定地涉及用于操作电机的方法和设备。

背景技术

[0002] 一般地,风力涡轮发电机包括具有转子的涡轮机,转子包括具有多个叶片的可旋转轮毂组件。叶片经由转子将机械风能转换为驱动一个或者多个发电机的机械旋转转矩。发电机一般地,但不总是,通过齿轮箱旋转地联接到转子。齿轮箱提高用于发电机的转子的本来低的旋转速度,以有效地将旋转机械能变换为电能,其经由至少一个电气连接件馈给到实用电网。无齿轮直接驱动风力涡轮发电机也存在。转子、发电机、齿轮箱和其他部件典型地安装在壳体、或者舱体内,其位于可以为构架或者管状塔的基部的顶部上。

[0003] 一些无齿轮直接驱动风力涡轮发电机构造包括双馈感应发电机(DFIG)。这种构造也可以包括电力变换器,其用于从连接件的一个到电力实用电网连接件将发电机激励电力输送到绕线发电机转子。在某些环境下,可能经历电网电压波动,其可以包括带有接近零伏的电压波动的低电压瞬态。一般地,电力变换器和发电机易于遭受电网电压波动。因此,这种电网电压波动可能对风力涡轮发电机的连续操作是有害的。

发明内容

[0004] 一方面,提供用于操作电机的方法。该方法包括联接电机到电力系统,使得电力系统构造为输送至少一相电力到电机和从电机输送至少一相电力。该方法也包括构造电机,使得在电力系统的电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段的期间和随后,电机保持电联接到电力系统。

[0005] 另一方面,提供用于电机的控制系统。电机构造为电联接到电力系统。电力系统构造为输送至少一相电力到电机和从电机输送至少一相电力。控制系统利于在电力系统的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段的期间和随后,电机保持电联接到电力系统。

[0006] 又一方面,提供风力涡轮机。风力涡轮机包括至少一个构造为电联接到电力系统的电力发电机。电力系统构造为输送至少一相电力到发电机和从发电机输送至少一相电力。风力涡轮机也包括至少一个构造为电联接到电力系统的控制系统。控制系统利于在电力系统的至少一个电压幅值在事先确定的范围外操作未确定的时间段的期间和随后,电机保持电联接到电力系统。

附图说明

[0007] 图 1 为示范性的风力涡轮发电机的示意图;

[0008] 图 2 为可以与图 1 中显示的风力涡轮发电机使用的示范性的电气和控制系统的示意图;

[0009] 图 3 为可以与图 2 中显示的电气和控制系统相关的电网线路电压 - 时间图;

[0010] 图 4 为可以与图 2 中显示的电气和控制系统使用的示范性的锁相环 (PLL) 调节器的方块图；

[0011] 图 5 为可以与图 4 中显示的 PLL 调节器使用的示范性的 PLL 状态机的方块图；和

[0012] 图 6 为作为由图 5 中显示的 PLL 状态机确定的 PLL 状态的函数产生的多个示范性的增益常数和频率界限值的表格图。

具体实施方式

[0013] 图 1 为示范性的风力涡轮发电机 100 的示意图。风力涡轮机 100 包括容纳发电机（图 1 中未显示）的舱体 102。舱体 102 安装在塔 104（图 1 中显示塔 104 的部分）上。塔 104 可以为如在此描述的利于风力涡轮机 100 的操作的任何高度。风力涡轮机 100 也包括转子 106，其包括三个附接到旋转轮毂 110 的转子叶片 108。可替换地，风力涡轮机 100 包括如在此描述的利于风力涡轮机 100 的操作的任何数量的叶片 108。在示范性的实施例中，风力涡轮机 100 包括旋转地联接到转子 106 和发电机（图 1 中未显示）的齿轮箱（图 1 中未显示）。

[0014] 图 2 为可以与风力涡轮发电机 100（图 1 中显示）使用的示范性的电气和控制系统 200 的示意图。转子 106 包括多个联接到旋转轮毂 110 的转子叶片 108。转子 106 也包括可旋转地联接到轮毂 110 的低速轴 112。低速轴联接到增速齿轮箱 114。齿轮箱 114 构造为提高低速轴 112 的旋转速度且传递该速度到高速轴 116。在示范性的实施例中，齿轮箱 114 具有大约 70 : 1 的增速比。例如，联接到具有大约 70 : 1 增速比的齿轮箱 114 的低速轴 112 以大约 20 转 / 分 (20) 旋转，产生大约 1400rpm 的高速轴 116 速度。可替换地，齿轮箱 114 具有如在此描述的利于风力涡轮机 100 的操作的任何增速比。同样，可替换地，风力涡轮机 100 包括直接驱动发电机，其中发电机转子（图 1 中未显示）旋转地联接到转子 106 而没有任何中间齿轮箱。

[0015] 高速轴 116 可旋转地联接到发电机 118。在示范性的实施例中，发电机 118 为绕线转子、同步、60Hz、三相、双馈感应发电机 (DFIG)，其包括磁联接到发电机转子 122 的发电机定子 120。可替换地，发电机 118 为如在此描述的利于风力涡轮机 100 的操作的任何发电机。

[0016] 电气和控制系统 200 包括控制器 202。控制器 202 包括至少一个处理器和存储器、至少一个处理器输入通道、至少一个处理器输出通道，且可以包括至少一个计算机（图 2 中未显示）。如在此使用的，术语计算机并不限于仅本领域中称为计算机的那些集成电路，而是广泛地涉及处理器、微控制器、微计算机、可编程逻辑控制器 (PLC)、专用集成电路、和其他可编程电路（图 2 中都未显示），且这些术语在此可互换地使用。在示范性的实施例中，存储器可以包括，但不限于，计算机可读介质，例如随机存取存储器 (RAM)（图 2 中都未显示）。可替换地，也可以使用软盘、光盘 - 只读存储器 (CD-ROM)、磁光盘 (MOD)、和 / 或者数字通用光盘 (DVD)（图 2 中都未显示）。同样，在示范性的实施例中，附加的输入通道（图 2 中未显示）可以为，但不限于，与操作者接口相关的计算机外设，例如鼠标和键盘（图 2 中都未显示）。可替换地，也可以使用其他计算机外设，其可以例如包括，但不限于，扫描器（图 2 中未显示）。而且，在示范性的实施例中，附加的输出通道可以包括，但不限于，操作者接口监视器（图 2 中未显示）。

[0017] 用于控制器 202 的处理器处理从多个电气和电子装置输送的信息,其可以包括,但不限于,速度和电力换能器。RAM 和存储装置储存且传递信息和指令以由处理器执行。在处理器执行指令期间,RAM 和存储装置也能够用于储存且提供临时变量、静态(也就是不变化)信息和指令、或者其他中间信息给处理器。执行的指令包括,但不限于,存在的变换和/或者比较器算法。指令序列的执行并不限于硬件电路和软件指令的任何具体组合。

[0018] 电气和控制系统 200 也包括发电机转子转速计 204,其联接为与发电机 118 和控制器 202 电子数据连通。发电机定子 120 经由定子总线 208 电联接到定子同步开关 206。在示范性的实施例中,为了利于 DFIG 构造,发电机转子 122 经由转子总线 212 电联接到双向电力变换组件 210。可替换地,系统 200 构造为本领域中已知的全电力变换系统(未显示),其中在设计 and 操作方面类似于组件 210 的全电力变换组件(未显示)电联接到定子 120 且这种全电力变换组件利于在定子 120 和电力输送和分配电网(未显示)之间引通电力。定子总线 208 从定子 120 输送三相电且转子总线 212 将三相电从转子 122 输送到组件 210。定子同步开关 206 经由系统总线 216 电联接到主变压器电路断路器 214。

[0019] 组件 210 包括转子滤波器 218,其经由转子总线 212 电联接到转子 122。转子滤波器 218 经由转子滤波器总线 219 电联接到转子侧、双向电力变换器 220。变换器 220 电联接到线路侧、双向电力变换器 222。变换器 220 和 222 大致相同。电力变换器 222 经由线路侧电力变换器总线 223 和线路总线 225 电联接到线路滤波器 224 和线路接触器 226。在示范性的实施例中,变换器 220 和 222 构造为三相、脉宽调制(PWM)结构,其包括如本领域中已知的“激发”的绝缘栅双极晶体管(IGBT)开关装置(图 2 中未显示)。可替换地,变换器 220 和 222 具有如在此描述的利于系统 200 的操作的使用任何开关装置的任何结构。组件 210 联接为与控制器 202 电子数据连通,以控制变换器 220 和 222 的操作。

[0020] 线路接触器 226 经由变换电路断路器总线 230 电联接到变换电路断路器 228。电路断路器 228 也经由系统总线 216 和连接总线 232 电联接到系统电路断路器 214。系统电路断路器 214 经由发电机侧总线 236 电联接到电力主变压器 234。主变压器 234 经由断路器侧总线 240 电联接到电网电路断路器 238。电网断路器 238 经由电网总线 242 连接到电力输送和分配电网。

[0021] 在示范性的实施例中,变换器 220 和 222 经由单个直流(DC)链路 244 联接为彼此电连通。可替换地,变换器 220 和 222 经由独立和分开的 DC 链路(图 2 中未显示)电联接。DC 链路 244 包括正干线 246、负干线 248、和联接在其间的至少一个电容器 250。可替换地,电容器 250 为一个或者多个构造为在干线 246 和 248 之间串联或者并联的电容器。

[0022] 系统 200 还包括锁相环(PLL)调节器 400,其构造为从多个电压换能器 252 接收多个电压测量信号。在示范性的实施例中,三个电压换能器 252 的每个电联接到总线 242 的三相的每一个。可替换地,电压换能器 252 电联接到系统总线 216。同样,可替换地,电压换能器 252 电联接到如在此描述的利于系统 200 的操作的系统 200 的任何部分。PLL 调节器 400 经由多个电气导管 254、256 和 258 联接为与控制器 202 和电压换能器 252 电子数据连通。可替换地,PLL 调节器 400 构造为从任何数量电压换能器 252 接收任何数量电压测量信号,包括但不限于,来自一个电压换能器 252 的一个电压测量信号。PLL 调节器 400 在下文进一步讨论。

[0023] 在操作期间,风力冲击叶片 108 且叶片 108 转换机械风能为机械旋转转矩,其经由

轮毂 110 旋转地驱动低速轴 112。低速轴 112 驱动齿轮箱 114,其随后提高轴 112 的低旋转速度,以用增加的旋转速度驱动高速轴 116。高速轴 116 旋转地驱动转子 122。在转子 122 内感应旋转磁场且在磁耦合到转子 122 的定子 120 内感应电压。发电机 118 将旋转机械能变换为定子 120 中的正弦、三相交流 (AC) 电能信号。相关的电力经由总线 208、开关 206、总线 216、断路器 214 和总线 236 输送到主变压器 234。主变压器 234 提高电力的电压幅值且变压的电力进一步经由总线 240、电路断路器 238 和总线 242 输送到电网。

[0024] 在双馈感应发电机构造中,提供第二电力输送路径。电气的、三相、正弦、AC 电力在绕线转子 122 内产生且经由总线 212 输送到组件 210。在组件 210 内,电力输送到转子滤波器 218,其中电力被修改以用于与变换器 220 相关的 PWM 信号的变化率。变换器 220 作为整流器且将正弦、三相 AC 电力整流为 DC 电力。DC 电力输送到 DC 链路 244 中。通过利于减轻与 AC 整流相关的 DC 脉动,电容器 250 利于减轻 DC 链路 244 电压幅值变化。

[0025] DC 电力随后从 DC 链路 244 输送到电力变换器 222,其中变换器 222 起逆变器的作用,其构造为将来自 DC 链路 244 的 DC 电力变换为具有事先确定的电压、电流和频率的三相、正弦 AC 电力。这种变换经由控制器 202 监测并控制。变换的 AC 电力经由总线 227 和 225、线路接触器 226、总线 230、电路断路器 228 和总线 232 从变换器 222 输送到总线 216。线路滤波器 224 补偿或者调节用于从变换器 222 输送的电力中的谐波电流。定子同步开关 206 构造为闭合,从而利于连接来自定子 120 的三相电力与来自组件 210 的三相电力。

[0026] 例如,当电流过多且能够损害系统 200 的部件时,电路断路器 228、214 和 238 构造为断开相应的总线。也提供附加的保护部件,包括线路接触器 226,通过打开相应于线路总线 230 的每个线路的开关(图 2 中未显示),其可以被控制以形成断开。

[0027] 组件 210 用于例如在轮毂 110 和叶片 108 处的风速改变时补偿或者调节来自转子 122 的三相电力的频率。因此,以这种方式,机械和电气转子频率分离且利于大致独立于机械转子速度的电气定子和转子频率匹配。

[0028] 在一些条件下,组件 210 的双向特性,和具体地,变换器 220 和 222 的双向特性,利于将至少一些产生的电力反馈到发电机转子 122。更具体地,电力从总线 216 输送到总线 232 且随后通过电路断路器 228 和总线 230 输送到组件 210 内。在组件 210 内,电力通过线路接触器 226 和总线 225 和 227 输送到电力变换器 222 中。变换器 222 作为整流器且将正弦、三相 AC 电力整流为 DC 电力。DC 电力输送到 DC 链路 244。通过利于减轻有时与三相 AC 整流相关的 DC 脉动,电容器 250 利于减轻 DC 链路 244 电压幅值变化。

[0029] DC 电力随后从 DC 链路 244 输送到电力变换器 220,其中变换器 220 起逆变器的作用,其构造为将从 DC 链路 244 输送的 DC 电力变换为具有事先确定的电压、电流和频率的三相、正弦 AC 电力。这种变换经由控制器 202 监测并控制。变换的 AC 电力经由总线 219 从变换器 220 输送到转子滤波器 218,随后经由总线 212 输送到转子 122。以这种方式,利于发电机反作用电力控制。

[0030] 组件 210 构造为从控制器 202 接收控制信号。控制信号基于如在此描述的风力涡轮机 100 和系统 200 的感测条件或者操作特性且用于控制电力变换组件 210 的操作。例如,以发电机转子 122 的感测速度的形式的转速计 204 反馈可以用于控制从转子总线 212 的输出电力的变换,以维持合适和平衡的三相电力条件。从其他传感器的其他反馈也可以被系统 200 使用,以控制组件 210,包括例如定子和转子总线电压和电流反馈。使用该反馈信息,

和例如开关控制信号、定子同步开关控制信号和系统电路断路器控制（跳脱）信号可以以任何已知的方式产生。例如，对于具有事先确定的特性的电网电压瞬态，控制器 202 将至少临时地大致地在变换器 222 内挂起 IGBT 的激发。变换器 222 的操作的这种挂起将大致将被引通过变换组件 210 的电力减轻到大约零。

[0031] 图 3 为可以与电气和控制系统 200（图 2 中显示）相关的电网线路电压 - 时间图 300。图 300 包括代表电网线路电压的以百分比（%）为单位的纵坐标（y 轴）302。Y 轴 302 在图原点处图示 0% 且向上延伸到 100%。0% 的电网线路电压指示在总线 242（图 2 中显示）上的零电压。100% 的电网线路电压指示在总线 242 上为与系统 200 相关的标称的事先确定的电压的 100% 的电压。图 300 也包括代表时间的以秒（s）为单位的横坐标（x 轴）304。零电压瞬态图示为在时间等于 0 秒时开始。在示范性的实施例中，在总线 242 上的零电压条件为 0.15 秒，其中在瞬态开始后大约 3.5 秒，在总线 242 上的电压完全恢复到 100%。可替换地，零电压条件的时间长度和电网电压恢复的特性取决于本领域中已知的多种因素。

[0032] 如图 3 中图示的，当电压减少为零时，很可能存在阻止风力涡轮发电机 100 输送电力到电网的故障。如果风力继续旋转转子 106（图 1 和 2 中显示），风力涡轮发电机 100 继续产生并不变换为电能的能量。相反，能量加速转子 106 直到跳脱特征启动，其包括但不限于，手工跳脱或者自动超速跳脱。

[0033] 此外，一般地，电力变换器组件 210 和发电机 118（都在图 2 中显示）易于遭受电网电压波动。发电机 118 可以存储磁能，在发电机终端电压快速减少时，其能够变换为高电流。这些电流能够减少组件 210 的部件，可以包括但不限于，例如在变换器 220 和 222（都在图 2 中显示）内的 IGBT 的半导体装置的寿命预期。

[0034] 图 4 为可以与电气和控制系统 200 使用的示范性的锁相环（PLL）调节器 400 的方块图。PLL 调节器 400 构造为利于风力涡轮发电机 100 的零电压穿越（ZVRT）能力，使得在例如图 3 中图示的零电压瞬态期间，减轻风力涡轮发电机跳脱的可能性和对半导体装置的相关的后果。ZVRT 与本领域中已知的低电压穿越（LVRT）特征对比，LVRT 特征在其中电压幅值迅速减少，但不减少到零伏的瞬态期间利于减轻风力涡轮发电机 100 跳脱。

[0035] PLL 调节器 400 经由用于电网总线 242 的 A、B 和 C 相的电气导管 254、256 和 258 联接为与多个电压换能器 252 电子数据连通。在示范性的实施例中，导管 254、256 和 258 为电缆。可替换地，操作在射频（RF）带的事先确定的部分内的发射器和接收器的网络可以用于限定导管 254、256 和 258。正弦电压测量信号从电压换能器 252 分别输送通过用于 A、B 和 C 三相的每个的导管 254、256 和 258。

[0036] 在示范性的实施例中，PLL 调节器 400 构造为在处理器（图 4 中未显示）内的多个功能块。为了清楚，PLL 调节器 400 图示为在控制器 202 外面。可替换地，PLL 调节器 400 构造为在与控制器 202 相关的处理器内。

[0037] PLL 调节器 400 包括至少一个锁相环（PLL）402。典型地，PLL 为闭环反馈配置，其维持由 PLL 产生的信号与参考信号的固定相位关系。PLL 产生的信号被恒定地调节，以同相地匹配参考信号的频率，也就是 PLL 锁住到参考信号。在示范性的实施例中，PLL 402 锁住到总线 242 的频率。PLL 调节器 400 也包括至少一个 PLL 状态机 404，其在下文进一步详细描述。

[0038] PLL402 包括相位检测器功能块 406, 其构造为接收从分别用于电网总线 242 的 A 相、B 相和 C 相的导管 254、256 和 258 输送的正弦电压测量信号。功能块 406 也构造为接收相位角反馈信号 407 且随后组合电压测量信号与信号 407, 以产生相位误差信号 408。信号 408 典型地以弧度 (r) 测量。

[0039] PLL402 也包括比例 - 积分 (PI) 滤波器 410。PI 滤波器 410 包括比例增益功能块 412。功能块 412 构造为接收信号 408。功能块 412 也构造为从比例增益常数寄存器 416 接收比例增益常数信号 414。寄存器 416 被填充作为由下文描述的 PLL 状态机 404 确定的 PLL 状态 (或者 PLL 模式) 的函数确定的值。功能块 412 还构造为以信号 414 乘信号 408, 以产生比例增益信号 418 且输送信号 418 到求和功能块 420。信号 418 典型地以 r/s 测量。

[0040] PI 滤波器 410 也包括积分增益功能块 422。功能块 422 构造为接收信号 408。功能块 422 也构造为从积分增益常数寄存器 426 接收积分增益常数信号 424。寄存器 426 被填充作为由下文描述的 PLL 状态机 404 确定的 PLL 状态 (或者 PLL 模式) 的函数确定的值。功能块 422 还构造为关于时间积分信号 408 且以信号 424 乘积分值以产生且输送积分增益信号 428 到箝位功能块 430。信号 428 典型地以 r/s 测量。功能块 430 为滤波器机构, 如果信号 428 位于上限和下限之间, 其允许箝位的积分增益信号 432 输送到求和功能块 420。信号 432 典型地以 r/s 测量。相反, 如果信号 428 位于由上和下限限定的范围外, 信号 428 被阻止进一步输送。功能块 430 的上和下限分别输送到且填充到上限寄存器 434 和下限寄存器 436 内, 其具有作为由下文描述的 PLL 状态机 404 确定的 PLL 状态 (或者 PLL 模式) 的函数确定的值。

[0041] 功能块 420 将信号 418 和 432 求和以产生 PI 信号 438 且将信号 438 输送到箝位功能块 440。信号 438 典型地以 r/s 测量。功能块 440 为滤波器机构, 如果信号 438 位于上限和下限之间, 其允许箝位的积分增益信号 442 输送到积分功能块 444。信号 442 典型地以 r/s 测量。相反, 如果信号 438 位于由上和下限限定的范围外, 信号 438 被阻止进一步输送。功能块 440 的上和下限分别输送到且填充到上限寄存器 446 和下限寄存器 448 内, 其具有作为由下文描述的 PLL 状态机 404 确定的 PLL 状态 (或者 PLL 模式) 的函数确定的值。

[0042] 积分功能块 444 构造为接收信号 442 且关于时间积分信号 442。功能块 444 产生 PLL 相位角信号 450, 其输送到用于控制组件 210 的控制器 202, 以用于注入到总线 216 (都在图 2 中显示) 的电流的随后的控制。反馈信号 407 与信号 450 相同, 且输送到如上文描述的功能块 406。信号 450 和 407 典型地以弧度 (r) 测量。

[0043] 电网电压测量信号也从换能器 252 输送到 PLL 状态机 404, 以如下文描述使用。

[0044] 提供用于操作发电机 118 的方法。该方法包括联接发电机 118 到电网, 使得电网构造为输送至少一相电力到发电机 118 和从发电机 118 输送至少一相电力。该方法也包括构造发电机 118 为使得在电力系统的电压幅值在事先确定的范围之外操作未确定的时间段的期间和随后, 发电机 118 保持电联接到电力系统。具体地, 这种方法包括构造发电机 118 为使得在电力的电压幅值减少到大约零伏事先确定的时间段的期间和随后, 发电机 118 保持电连接到电网, 从而利于零电压穿越 (ZVRT)。此外, 在 ZVRT 事件期间, 利于发电机 118 保持电连接到电网随后利于发电机 118 在瞬态期间继续操作从而支持电网。

[0045] 具体地, 图 5 为可以与 PLL 调节器 400 (图 4 中显示) 使用的示范性的 PLL 状态机 404 的方块图。在示范性的实施例中, 状态机 404 构造为将 PLL 调节器 400 转到作为如

上文描述接收的电压信号的特性的函数的四个操作状态或者模式的至少一个。可替换地, PLL 状态机 404 和 PLL 调节器 400 包括如在此描述的利于风力涡轮机 100 操作的任何数量的状态。操作状态的每一改变利于包含在寄存器 416、426、434、436、446 和 448(都在图 4 中显示)内的侵略性 (aggressive) 的和非侵略性的增益常数以及非限制性的和限制性的箝位之间的动态切换。这种切换可以构造为本质上滑动、本质上离散的、或者它们的一些组合。因此,多个操作状态利于零电压穿越 (ZVRT) 以及其他的电网故障,同时也利于正常操作。这些特征利于管理动态地作为 PLL402(图 4 中显示)企图锁住到和 / 或者保持锁住到的电网的电压特性的函数的这种增益和箝位。

[0046] 状态机 404 构造为接收从换能器 252 经由导管 254、256 和 258(都在图 4 中显示)输送到 PLL 调节器 400 的电网电压测量信号。状态机 404 进一步构造为在 PLL 调节器 400 成功加电 (power up) 时接收“加电”输入信号 502。输入信号 502 的接收启动状态机 404 转换到状态 0。状态 0 特征为状态机 404 预调节一组值,以插入到寄存器 416、426、434、436、446 和 448。

[0047] 图 6 为作为由 PLL 状态机 404(图 5 中显示)确定的 PLL 状态的函数产生的多个示范性的增益和频率界限值 600 的表格图。栏 602 代表多个行 0、1、2 和 3,其每个相应于 PLL 调节器 400(图 5 中显示)的操作状态。PLL 调节器 400 在任一时间可以仅为一个操作状态。栏 604 代表多个可以存储在寄存器 416(图 4 中显示)中的增益常数值。栏 606 代表多个可以存储在寄存器 426(图 4 中显示)中的增益常数值。栏 608 代表多个可以存储在寄存器 436 和 448 中的最小频率界限值。栏 610 代表多个可以存储在寄存器 434 和 446 中的最大频率界限值。例如,当 PLL 调节器 400 为状态 0 时,增益值 A 和 C 分别在寄存器 416 和 426。在示范性的实施例中,值 A 和 C 分别代表不同数值,例如但不限于,2.46737 和 328.039。此外,在状态 0,值 E 在寄存器 436、448、434 和 446 中。在示范性的实施例中,值 E 代表数值,例如但不限于,376.99。可替换地,如在此描述的利于系统 200 操作的不同数值可以在寄存器 436、448、434 和 446 中。

[0048] 参见图 5,在示范性的实施例中,在事先确定的时间段(通常几秒)后,状态机 404 获得许可将调节器 400 转换到状态 1。在风力涡轮发电机 100 与电网成功同步时,例如由电路断路器 238 的闭合确定,状态机 404 经由过渡路径 504 将调节器 400 转换到状态 1。可替换地,可以使用如在此描述的任何利于系统 200 操作的条件。此外,在风力涡轮发电机 100 从电网去同步时,例如由电路断路器 238 的打开确定,状态机 404 经由过渡路径 506 将调节器 400 从状态 1 转换到状态 0。

[0049] 参见图 6,当 PLL 调节器 400 在状态 1 时,增益值 A 和 C 分别在寄存器 416 和 426 中。在示范性的实施例中,值 A 和 C 分别代表不同的数值,例如但不限于,2.46737 和 328.039。此外,在状态 1 中,值 F 在寄存器 436 和 448 中,且值 H 在寄存器 434 和 446 中。在示范性的实施例中,值 F 和 H 分别代表不同的数值,例如但不限于,-1507.96 和 1884.96。可替换地,如在此描述的利于系统 200 操作的不同数值可以在寄存器 436、448、434 和 446 中。值 A 和 C 有时称为“热”值,而值 F 和 H 有时称为“宽”值。这种值利于 PLL402 初始地锁住到电网频率。

[0050] 参见图 5,在示范性的实施例中,在 PLL402 锁住到电网频率后的事先确定的时间段后,状态机 404 经由过渡路径 508 将调节器 400 转换到状态 2。可替换地,可以使用如在

此描述的任何利于系统 200 操作的条件。在风力涡轮发电机 100 从电网去同步时,例如由电路断路器 238 的打开确定,状态机 404 经由过渡路径 510 将调节器 400 从状态 2 转换到状态 0。

[0051] 参见图 6,当 PLL 调节器 400 在状态 2 时,增益值 B 和 D 分别在寄存器 416 和 426 中。在示范性的实施例中,值 B 和 D 分别代表不同的数值,例如但不限于,0.039937 和 0.393601。此外,在状态 2 中,值 G 在寄存器 436 和 448 中,且值 I 在寄存器 434 和 446 中。在示范性的实施例中,值 G 和 I 分别代表不同的数值,例如但不限于,94.2478 和 502.529。可替换地,如在此描述的利于系统 200 操作的不同数值可以在寄存器 436、448、434 和 446 中。值 B 和 D 有时称为“冷”值,而值 G 和 I 有时称为“窄”值。这种值利于 PLL402 比在状态 1 中更慢地调节到电网上的频率瞬态。该特征利于系统 200 对电网电压条件的正常的、较小的波动的缓慢反应。此外,如下文进一步讨论的,这种值利于对于更剧烈的电网扰动的状态转换。在正常环境下,风力涡轮发电机 100 同步到电网的时间的大部分,调节器 400 在状态 2 中。

[0052] 参见图 5,在示范性的实施例中,在非同步的电网故障、异常低(非零)和/或者高的电网电压幅值、和/或者 PLL 相位误差信号 450(图 4 中显示)超过事先确定的阈值的情况,状态机 404 经由过渡路径 512 将调节器 400 从状态 2 转换到状态 1。可替换地,可以使用如在此描述的任何利于系统 200 操作的条件。而在状态 1 中,如上文描述的,合适的增益和箝位值在合适的寄存器中。在电网电压恢复到事先确定的值时,在 PLL402 锁住到电网频率后的事先确定的时间段后,且 PLL 误差信号 450 保持在事先确定的阈值下事先确定的时间段,状态机 404 经由过渡路径 508 将调节器 400 从状态 1 转换到状态 2。而在状态 2 中,如上文描述的,合适的增益和箝位值在合适的寄存器中且利于 LVRT。

[0053] 当调节器 400 在状态 1 时,经由过渡路径 514 可以发生到状态 3 的转换。类似地,当调节器 400 在状态 2 时,经由过渡路径 516 可以发生从状态 2 到状态 3 的转换。在示范性的实施例中,从状态 1 和 2 转换到状态 3 的先决条件包括与减少电网电压到零伏的对称故障相关的电网电压扰动。参见图 6,当 PLL 调节器 400 在状态 3 时,增益值 A 和 C 分别在寄存器 416 和 426 中。在示范性的实施例中,值 A 和 C 分别代表不同的数值,例如但不限于,2.46737 和 328.039。此外,在状态 3 中,值 E 在寄存器 436、448、434 和 446 中。在示范性的实施例中,值 E 代表数值,例如但不限于,376.99。可替换地,如在此描述的利于系统 200 操作的不同数值可以在寄存器 436、448、434 和 446 中。这些值利于 PLL 相位角信号 450 被驱动到如果不存在电网扰动时有效的相位角值。这进一步利于 PLL402 被驱动为以大致类似于标称操作频率的事先确定的频率振荡,例如但不限于 60Hz。在这些环境下,减轻风力涡轮发电机跳脱的可能性且利于 ZVRT。

[0054] 参见图 5,在电网电压恢复时,调节器 400 经由过渡路径 518 从状态 3 转换到状态 1。可替换地,可以使用如在此描述的任何利于系统 200 操作的条件。而在状态 1 中,如上文描述的,合适的增益和箝位值在合适的寄存器中。在电网电压恢复到事先确定的值时,在 PLL402 锁住到电网频率后的事先确定的时间段后,且 PLL 误差信号 450 保持在事先确定的阈值下事先确定的时间段,状态机 404 经由过渡路径 508 将调节器 400 从状态 1 切换到状态 2。而在状态 2 中,如上文描述的,合适的增益和箝位值在合适的寄存器中。从状态 3 转换到状态 1 且然后转换到状态 2 利于实现平滑的状态转换。在风力涡轮发电机 100 从电网

去同步时,例如由电路断路器 238 的打开确定,状态机 404 经由过渡路径 520 将调节器 400 从状态 3 转换到状态 0。

[0055] 如在此描述的用于风力涡轮发电机控制系统的方法和设备利于风力涡轮发电机的操作。更具体地,上文描述的风力涡轮发电机电气和控制系统利于有效率的和有效的发电和机械载荷传递配置。同样,稳健的电气和控制系统利于发电机生产的效率和有效性。通过减少由于电网扰动导致的跳脱的数量,这种控制系统也利于风力涡轮发电机可靠性和风力涡轮发电机停机。

[0056] 与风力涡轮发电机相关的风力涡轮机电气和控制系统的示范性的实施例在上文详细描述。方法、设备和系统不限于如在此描述的具体实施例,也不限于具体图示的风力涡轮发电机。

[0057] 尽管本发明已经以不同的具体实施例形式描述,本领域中的技术人员将认识到,本发明能够在权利要求书的精神和范围内的修改实施。

[0058] 零件列表

[0059] 风力涡轮发电机 100

[0060] 舱体 102

[0061] 塔 104

[0062] 转子 106

[0063] 转子叶片 108

[0064] 轮毂 110

[0065] 低速轴 112

[0066] 齿轮箱 114

[0067] 高速轴 116

[0068] 发电机 118

[0069] 定子 120

[0070] 转子 122

[0071] 控制系统 200

[0072] 控制器 202

[0073] 转速计 204

[0074] 定子同步开关 206

[0075] 定子总线 208

[0076] 电力变换组件 210

[0077] 转子总线 212

[0078] 系统电路断路器 214

[0079] 系统总线 216

[0080] 转子滤波器 218

[0081] 转子滤波器总线 219

[0082] 电力变换器 220

[0083] 电力变换器 222

[0084] 电力变换器总线 223

- [0085] 线路滤波器 224
- [0086] 线路总线 225
- [0087] 线路接触器 226
- [0088] 总线 227
- [0089] 电路断路器 228
- [0090] 变换电路断路器总线 230
- [0091] 连接总线 232
- [0092] 主变压器 234
- [0093] 发电机侧总线 236
- [0094] 电路断路器 238
- [0095] 断路器侧总线 240
- [0096] 电网总线 242
- [0097] DC 链路 244
- [0098] 正干线 246
- [0099] 负干线 248
- [0100] 电容器 250
- [0101] 电压换能器 252
- [0102] 电气导管 254
- [0103] 电气导管 256
- [0104] 电气导管 258
- [0105] 图 300
- [0106] Y 轴 302
- [0107] X 轴 304
- [0108] 锁相环 (PLL) 调节器 400
- [0109] PLL402
- [0110] PLL 状态机 404
- [0111] 相位检测器功能块 406
- [0112] 相位角反馈信号 407
- [0113] 相位误差信号 408
- [0114] PI 滤波器 410
- [0115] 功能块 412
- [0116] 常数信号 414
- [0117] 寄存器 416
- [0118] 信号 418
- [0119] 求和功能块 420
- [0120] 积分增益功能块 422
- [0121] 积分增益常数信号 424
- [0122] 寄存器 426
- [0123] 积分增益信号 428

- [0124] 箝位功能块 430
- [0125] 积分增益信号 432
- [0126] 上限寄存器 434
- [0127] 下限寄存器 436
- [0128] PI 信号 438
- [0129] 箝位功能块 440
- [0130] 积分增益信号 442
- [0131] 积分功能块 444
- [0132] 上限寄存器 446
- [0133] 下限寄存器 448
- [0134] PLL 相位角信号 450
- [0135] 输入信号 502
- [0136] 过渡路径 504
- [0137] 过渡路径 506
- [0138] 过渡路径 508
- [0139] 过渡路径 510
- [0140] 过渡路径 512
- [0141] 过渡路径 514
- [0142] 过渡路径 516
- [0143] 过渡路径 518
- [0144] 过渡路径 520
- [0145] 频率界限值 600
- [0146] 栏 602
- [0147] 栏 604
- [0148] 栏 606
- [0149] 栏 608

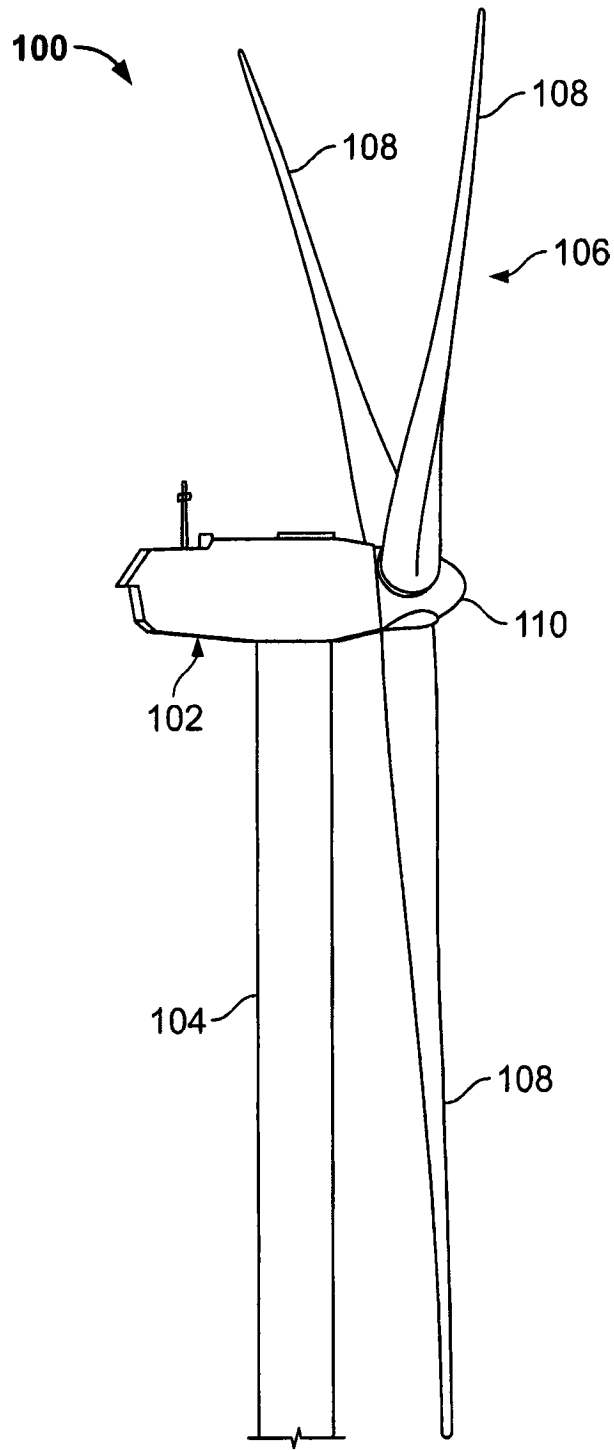
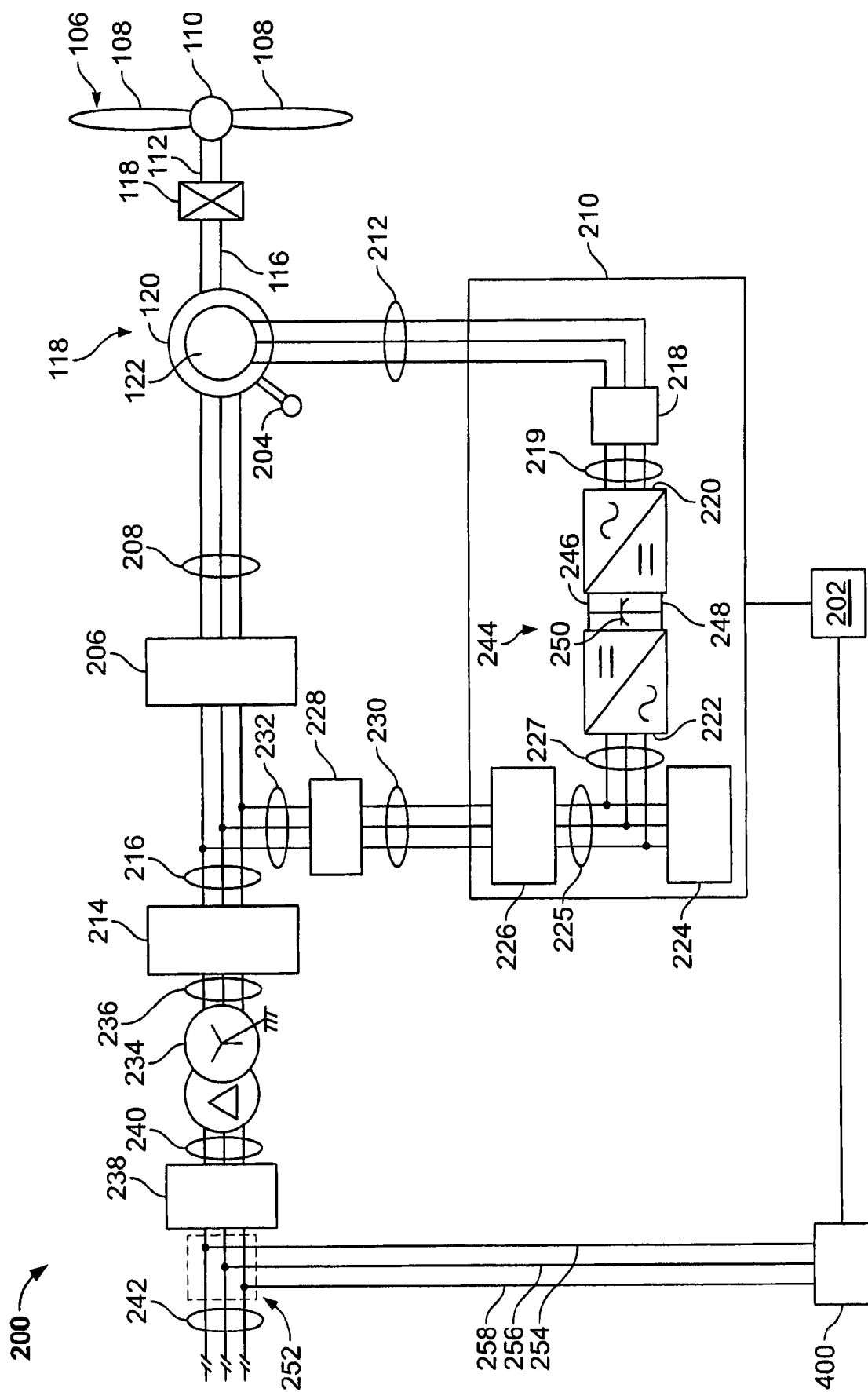


图 1



2

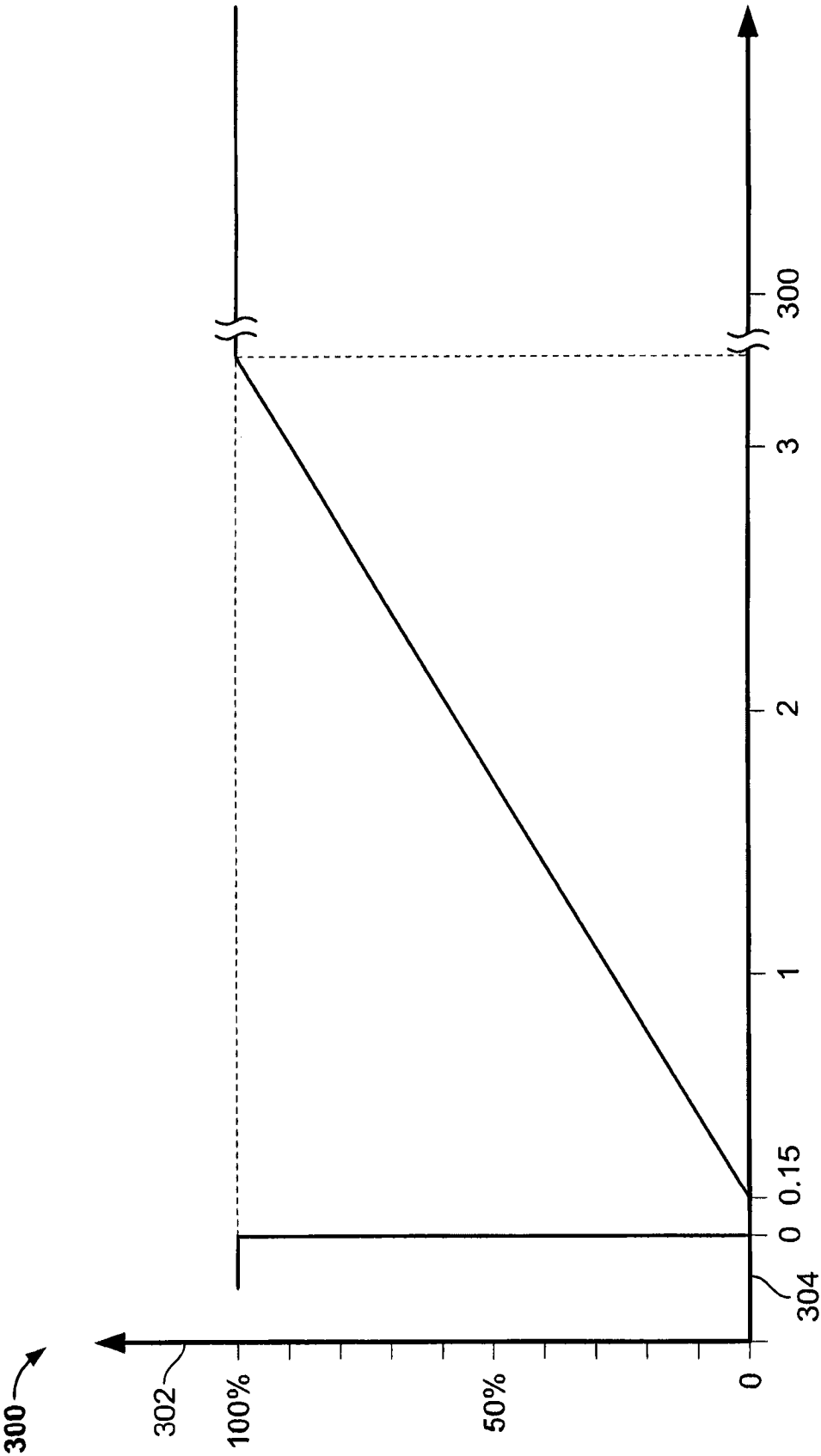
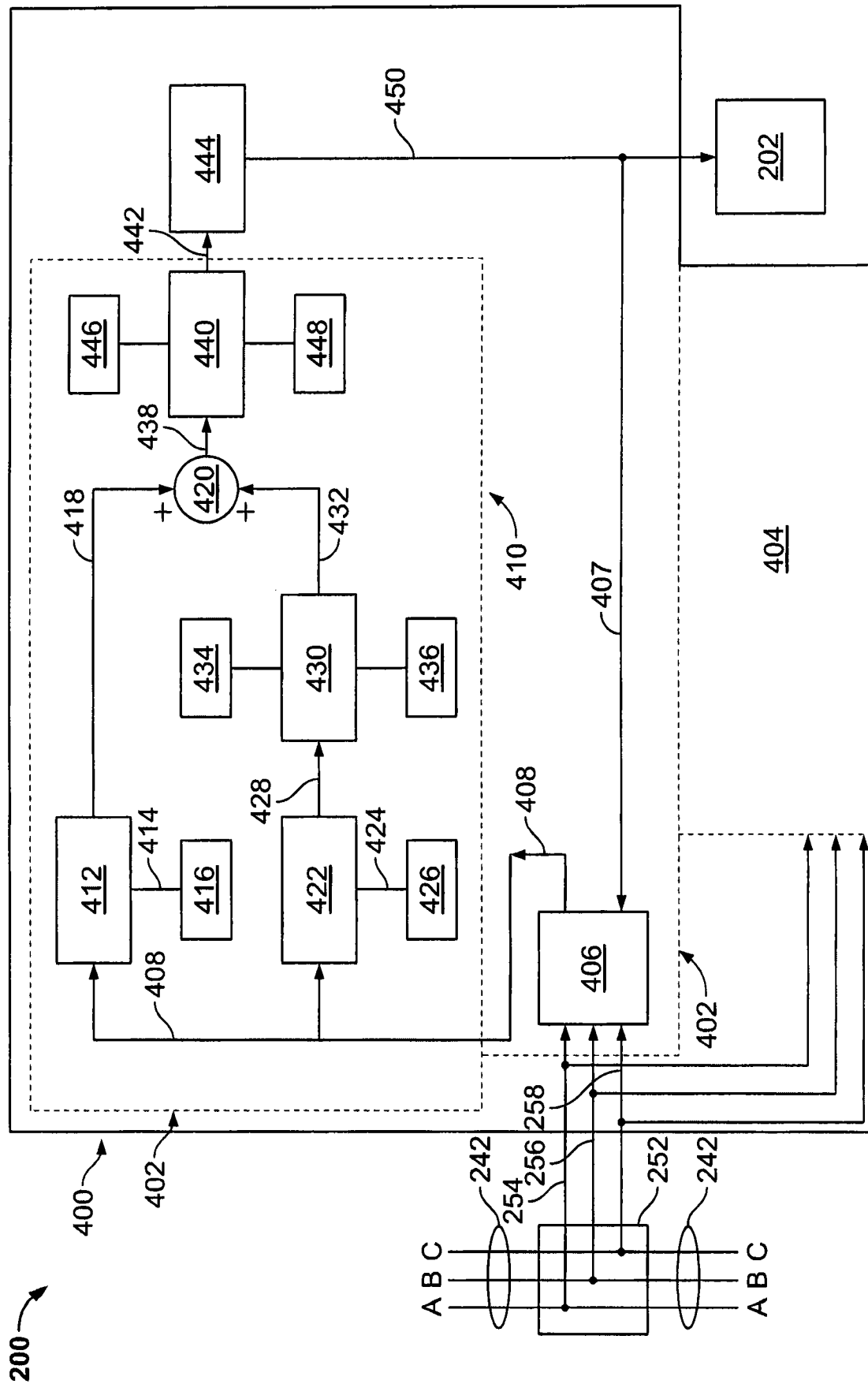


图 3

4

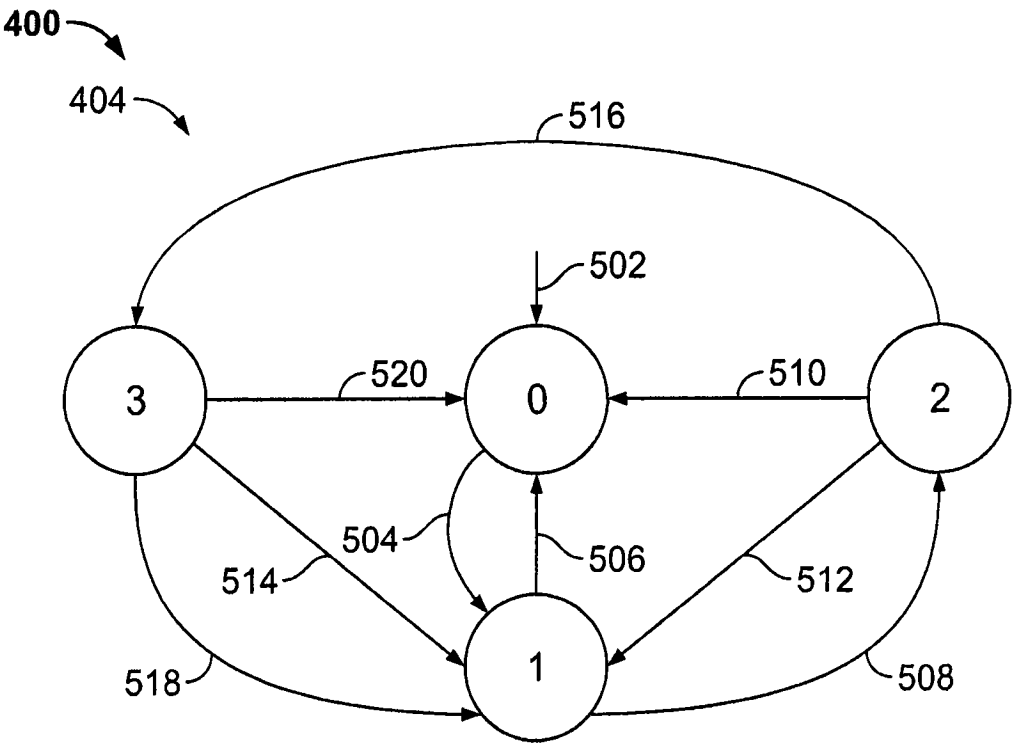



图 5

600

<u>602</u>	<u>604</u>	<u>606</u>	<u>608</u>	<u>610</u>
0	A	C	E	E
1	A	C	F	H
2	B	D	G	I
3	A	C	E	E

图 6