

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200610064324.7

[51] Int. Cl.

H02H 7/06 (2006.01)

H02H 9/02 (2006.01)

H02P 9/16 (2006.01)

[43] 公开日 2007年7月25日

[11] 公开号 CN 101005204A

[22] 申请日 2006.12.8

[21] 申请号 200610064324.7

[30] 优先权

[32] 2005.12.8 [33] US [31] 11/297775

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 H·翁 R·W·德尔梅里科

X·源 C·王

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 刘春元 刘杰

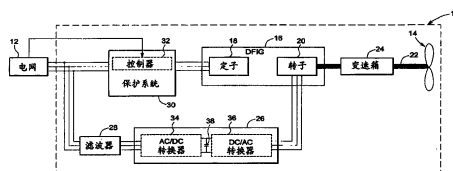
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

[54] 发明名称

操作双馈感应发电机的系统和方法

[57] 摘要

一种保护系统和保护方法被设置用于在电网故障期间保护双馈感应发电机(16)和变速箱(24)。该保护系统包括多个受控阻抗装置(44)。所述受控阻抗装置中的每个被耦合在双馈感应发电机的定子绕组的相应相与电网侧转换器(26)的相应相之间。该保护系统也包括控制器(32),该控制器(32)被配置用于响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。



1、 一种保护系统 (30)，其包括：

多个受控阻抗装置 (44)，所述多个受控阻抗装置 (44) 中的每个被耦合在双馈感应发电机 (16) 的定子绕组的相应相与电网侧转换器 (26) 的相应相之间；以及

控制器 (32)，所述控制器 (32) 被配置用于响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。

2、 如权利要求 1 所述的保护系统，其中，每个受控阻抗装置包括与半导体装置 (48) 并联的阻抗装置 (46)，该半导体装置被配置用于基于从所述控制器接收到的控制信号来耦合和去耦合所述阻抗装置。

3、 如权利要求 2 所述的保护系统，其中，所述半导体装置包括双向半导体装置。

4、 如权利要求 2 所述的保护系统，其中，所述半导体装置包括三端双向可控硅开关元件、晶闸管组件、或反并联晶闸管。

5、 如权利要求 1 所述的保护系统，其中，所述控制器被配置用于，当所述公用电网电压降低到第一阈值之下或公用电网电流升高到第一阈值之上时，耦合多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。

6、 如权利要求 5 所述的保护系统，其中，所述控制器被配置来与公用电网电压同相地控制定子电压，以提供单位功率因数或控制定子电压来向公用电网提供无功功率。

7、 如权利要求 1 所述的保护系统，其中，每个受控阻抗装置包括取决于电流的可变阻抗装置，该取决于电流的可变阻抗装置被配置用于当定子电流升高到第一阈值之上时提供高阻抗，而当定子电流降低到第二阈值之下时提供非常低的阻抗。

8、 一种风力涡轮发电机 (10)，其包括：

被耦合到双馈感应发电机 (16) 的风轮机 (24)；

多个受控阻抗装置 (44)，所述多个受控阻抗装置 (44) 中的每个被耦合在双馈感应发电机的定子绕组的相应相与电网侧转换器 (26) 的相应相之间；

以及

控制器(32),所述控制器(32)被配置用于响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合所述多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。

9、如权利要求8所述的风力涡轮发电机,其中,每个受控阻抗装置包括与半导体装置(48)并联的阻抗装置(46),所述半导体装置被配置用于基于从控制器接收到的控制信号来耦合和去耦合所述阻抗装置。

10、一种保护方法,其包括:

响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合多个受控阻抗装置(44)中的一个或多个中的阻抗,其中,所述多个受控阻抗装置中的每个被耦合在双馈感应发电机(16)的定子绕组的相应相与电网侧转换器(26)的相应相之间。

## 操作双馈感应发电机的系统和方法

### 技术领域

本发明通常涉及双馈感应发电机的领域。特别地，本发明涉及电网故障期间双馈感应发电机的控制和保护。

### 背景技术

双馈感应发电机 (DFIG) 由于其效率和可靠性而得到广泛应用。通常, DFIG 被用于变速发电 (VGS) 系统中, 用于从诸如风电场的间歇或可变能源产生电能。变速发电系统相对于固定速度系统的主要优点在于为了维持能量转换过程的最大效率而对轴速度进行电子控制的可能性。例如, 风力涡轮发电机通常使用包括与 DC/AC 转换器耦合的 AC/DC 转换器的 DFIG 来进行风力发电。DFIG 技术通过优化涡轮机速度来实现由低风速的风所提取的最大能量, 而在阵风和电网瞬变期间使涡轮机上的机械应力最小化。DFIG 技术的另一优点在于电力电子转换器生成或吸收无功功率的能力, 因而减少了安装电容器组的需要。

DFIG 控制器设计考虑通常集中于提供使涡轮机功率输出最大化的可调工作速度, 维持所需的发电机终端电压或功率因数, 以及控制发电机转矩与风轮机转矩匹配。然而, 很少尝试或没有尝试提供贡献于电力网操作稳定性的性能。风力发电机与日俱增的广泛应用要求风电场为电力网操作的稳定性做出贡献。

带有双馈感应发电机的风轮机对电网故障敏感。电网故障将引起气隙转矩和轴转矩中的严重的瞬变现象, 并且因此影响系统可靠性。例如, 当由于电网故障使电网电压下降到低于阈值时, 气隙转矩也下降, 从而导致可减少变速箱寿命的变速箱和驱动轴中的振动。电网恢复顺序也会在双馈感应发电机中导致严重的瞬变状况。避免 DFIG 和变速箱中的损害的常规技术包括: 当由于电网故障而出现在电网中的大的电压暂降时, 将风力涡轮发电机与电网断开。一段时间之后, 再将涡轮机重新连接到电网。然而, 新的电网规程 (grid code) 现在要求风轮机和风力场克服电压瞬降, 从而意味着, 一旦标称电网电压已经恢复, 正常的电力生产就应当立即被重新建立起来。

为了达到上述要求已经提出了不同技术来修改 DFIG 系统。例如反并联晶

闸管可被用于定子电路，以实现定子电路的快速（例如在 10 毫秒内）断开，以及还提供再磁化发电机的性能和尽可能快地将定子重新连接到电网上的性能。另一建议的选项是在转子电路中使用静态开关，该静态开关能断开转子中的短路电流。第三种方法是利用 DVR（动态电压恢复器），该动态电压恢复器能使 DFIG 系统脱离电压骤降。然而，前两种选项在降低轴应力方面不是很有效，而第三种选项又太昂贵。

因此期望提供一种控制和保护技术，该控制和保护技术使得 DFIG 能有效地贡献于电力网操作和在电网故障期间减少轴应力。

### 发明内容

简要地根据本发明的一个方面，提供了一种保护系统。该保护系统包括多个受控阻抗装置。每个受控阻抗装置被耦合在双馈感应发电机的定子绕组的相应相与电网侧转换器的相应相之间。该保护系统还包括控制器，该控制器被配置用于响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。

根据本发明的另一方面，提供了风力涡轮发电机。该风力涡轮发电机包括被耦合到双馈感应发电机的风轮机和多个受控阻抗装置。每个受控阻抗装置被耦合在双馈感应发电机的定子绕组的相应相与电网侧转换器的相应相之间。该风力涡轮发电机还包括控制器，该控制器被配置用于响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。

根据本发明的又一方面，提供了一种保护方法。该保护方法规定响应于公用电网电压和公用电网电流中的至少一个的变化来耦合和去耦合多个受控阻抗装置中的一个或多个中的阻抗。每个受控阻抗装置被耦合在双馈感应发电机的定子绕组的相应相与电网侧转换器的相应相之间。

### 附图说明

当参照附图阅读下面的详细说明时，更好地理解本发明的这些和其它特征、方面和优点，在整个附图中，相同标记代表相同部件，其中：

图 1 描绘了根据本发明的多个方面的示例性风力涡轮发电机的框图；

图 2 是根据本发明的一个方面的图 1 的风力涡轮发电机的稍微更详细的表示；

图3是图2的风力涡轮发电机中的定子电压、定子电流、转子电流和气隙转矩波形连同电网电压和晶闸管触发信号波形的曲线图；

图4是根据本发明的另一实施例的图1的风力涡轮发电机的稍微更详细的表示。

### 具体实施方式

本发明的实施例通常集中于在电网故障期间控制和保护双馈感应发电机（DFIG）和变速箱。这样的实施例可被用于多种应用，诸如用于风力发电、变速水轮发电等。虽然本讨论内容提供的是风力发电环境中的例子，但本领域技术人员很容易理解，这些实施例在其他环境的应用也在本发明的范围内。

现在参考图1，根据本发明的多个方面示出示例性的风力涡轮发电机10的框图。在所示实施例中，风力涡轮发电机10被耦合到用于电力分配的公用电网12并且包括被耦合到DFIG16的风轮机14。DFIG16包括定子18和转子20。转子20经由变速箱24以机械方式被耦合到风轮机轴22。DFIG16的定子绕组经由保护系统30被耦合到公用电网12，而DFIG16的转子绕组经由背靠背变换器26和电滤波器28被耦合到公用电网12。根据本发明的多个方面，在定子18与背靠背变换器26的电网侧之间设置保护系统30，用于在瞬变状态期间保护DFIG16和变速箱24。保护系统30包括控制器32，用于根据电网电压和电网电流中的至少一个的变化来控制保护系统30。

背靠背变换器26进一步包括电网侧的AC-DC转换器（整流器）34和机械侧的DC-AC转换器（逆变器）36，这两个转换器彼此以背靠背的结构耦合。在这两个转换器34与36之间，直流链路电容器38可被设置为能量储存装置，用于将直流链路电压中的电压变化（纹波）保持得小。如本领域技术人员将理解的那样，当机械侧转换器36实现对转矩或DFIG16的速度以及定子终端处的功率因数的控制时，电网侧转换器34提供了恒定的直流链路电压。电滤波器28阻止或减少由背靠背转换器26所生成的谐波被注入到公用电网12中。

风力涡轮发电机10在图2中更详细地被示出。电滤波器28可以包括交流滤波器，并且更准确地说可以包括LC滤波器，该LC滤波器被耦合到公用电网12并且被调谐用于阻止或减少由背靠背变换器26所生成的谐波被注入到公用电网12中。此外，转换器34和36中的每一个包括六个以桥式结构连接的功率转换装置40。每个功率转换装置40可被设置有超高速续流二极管42。转

换装置 40 可以是诸如 GTO、BJT、IGBT 的门控有源开关或任何其他门控有源开关。可设置转换器控制器（未示出）来控制每个门控有源开关 40 的操作。在一个实施例中，控制器控制转子绕组上的电流，以便可获得发电机定子绕组所递送的有功功率和无功功率的期望值。如果期望，可将转换器控制器和保护系统控制器 32 集成到单个控制单元中。

保护系统 30 包括受控阻抗装置 44，该受控阻抗装置 44 被耦合在双馈感应发电机 16 的定子绕组的每个相与电网侧转换器 34 的相对应的相之间。每个受控阻抗装置 44 包括阻抗装置 46。在一些实施例中，阻抗装置 46 与半导体装置 48 并联布置。该半导体装置 48 被配置来基于从控制器 32 接收到的控制信号响应于公用电网 12 的所测量的电压和所测量的电流中的至少一个的变化而使阻抗装置 46 与每个相耦合或去耦合。半导体装置 48 可以是诸如三端双向可控硅开关元件的双向半导体装置、晶闸管组件、或反并联晶闸管。在正常操作期间，半导体装置 48 接通，并且因而给定子电流提供相比于阻抗装置 46 所提供的电阻低很多的电阻。定子绕组的每一相因此经由半导体装置 48 被连接到公用电网 12，而阻抗装置 46 被旁路。然而，在电网故障期间，半导体装置 48 被断开，并且因而给定子电流提供相比于阻抗装置 46 所提供的电阻高很多的电阻。定子绕组的每一相因此经由阻抗装置 46 被连接到公用电网 12，而半导体装置 48 断开。因此，定子电流流经阻抗装置 46，该阻抗装置 46 在电网故障期间被耦合到电路中。

控制器 32 经由一个或多个传感器（未示出）可监控电网电压和电网电流中的至少一个。当电网电压降到某个第一阈值（例如每单位 0.6）之下，或电网电流升高到某个第一阈值之上，电路将切换到低压操作模式，并且控制器 32 将断开半导体装置 48，以将阻抗装置 46 耦合到一个或多个相中。定子绕组的一相或多相与电网侧转换器 34 之间的所切换的阻抗装置 46 增加了定子电压。因此，在由电网恢复引起的电网故障和瞬变期间，双馈感应发电机 16 的气隙转矩可被控制到期望值。因此，定子电流也可被调节，以便使气隙转矩服从转矩指令。在低压操作模式，定子电压与电网电压同相调节，以提供单位功率因数（unity power factor），或可被调节为向电网提供无功功率。此外，当电网电压升高到某个第二阈值（例如，每单位 0.65）之上，或电网电流降低到某个第二阈值之下，控制器 32 将接通半导体装置 48，以在一相或多相去耦合阻抗

装置 46，并返回到正常操作模式。应注意的是，在某些实施例中，第一和第二阈值可以相同。此外，应注意的是，第一和第二阈值可被预定或动态决定。在某些实施例中，阻抗装置 46 可被正确地设计或预定成具有固定的阻抗值，以便当电网电压在零与阈值之间时，气隙转矩可被维持，同时限制了定子过电流。可替换地，可应用可变阻抗装置，以便基于瞬变状况在操作期间改变阻抗装置 46。

图 3 根据发明的多个方面描绘了针对图 2 的风力涡轮发电机的电网电压波形 50、定子电压波形 52、气隙转矩波形 54、转子电流波形 56、定子电流波形 58、和半导体装置的触发信号 60 的模拟。如在模拟中所示的那样，当电网故障发生时（即当电网电压降低到如通过电压暂降所描绘的阈值之下时），控制器 32 经由触发信号断开半导体装置 48。阻抗装置 46 因此被耦合到电路中，以使 DFIG 16、变速箱 24、和风轮机 14 免受瞬变影响。如曲线图中所示的那样，在瞬变期间，定子电压 52 增加且与电网电压同相。气隙转矩被控制在正常值内。此外，定子和转子电流也被控制在正常值内。当电网电压返回到正常值时，控制器 32 经由触发信号接通半导体装置 48。因此，阻抗与电路断开，并且恢复正常操作。

应注意的是，在某些实施例中，受控阻抗装置 44 可包括取决于电流的可变阻抗装置 62，诸如包括可变电阻器、PTC 电热调节器等，如图 4 中所示。如本领域技术人员将理解的那样，可变阻抗装置是具有明显的非线性电流-电压特性的装置并且被用来使电路免受过瞬态电流的影响。如所示的那样，取决于电流的可变阻抗装置 62 被耦合在双馈感应发电机 16 的定子绕组的每相与电网侧转换器 34 的相应相之间。该可变阻抗装置 62 被配置来根据定子电流提供变化的阻抗。该电流可响应于公用电网 12 的电压和电流中的至少一个的变化经由控制器 32 进行调节。当流动的定子电流低于阈值或额定电流（对应于正常操作）时，该可变阻抗装置 62 提供非常低的阻抗。然而，当流动的定子电流高于阈值或高于额定电流（对应于电网故障期间的低电网电压状态）时，该可变阻抗装置 62 提供更高的阻抗。因此，该可变阻抗装置 62 基于流动的定子电流自动耦合和去耦阻抗来运行。

以上所讨论的控制和保护实施例在大和小的扰动（瞬变状况）的情况下贡献于网络操作和稳定。该阻抗将气隙转矩限制到正常值，限制了定子和转子过

电流，并且减少了电网故障期间的变速箱中的振动。在一个实施例中，例如，当将气隙转矩调整到标称值时，定子过电流可被限制到每单位 1.6。此外，该阻抗减少了电网恢复引起的瞬变。如本领域技术人员将理解的那样，以上所讨论的各种实施例中描绘的技术也可被用于变速水轮发电机。

虽然在此只阐述和说明了本发明的某些特征，但本领域的技术人员应想到多种修改和变化。因此，应理解，所附的权利要求欲覆盖如落入本发明的真实精神内的所有这些修改和变化。

---

## 元件列表

10	风力涡轮发电机
12	公用电网
14	风轮机
16	DFIG
18	定子
20	转子
22	风轮机轴
24	变速箱
26	背靠背变换器
28	电滤波器
30	保护系统
32	保护系统控制器
34	电网侧转换器
36	机械侧转换器
38	直流链路电容器
40	切换装置
42	超高速续流二极管
44	受控阻抗装置
46	阻抗装置
48	半导体装置
50	电网电压波形
52	定子电压波形
54	气隙转矩波形
56	转子电流波形
58	定子电流波形
60	半导体装置的触发信号
62	可变电阻器

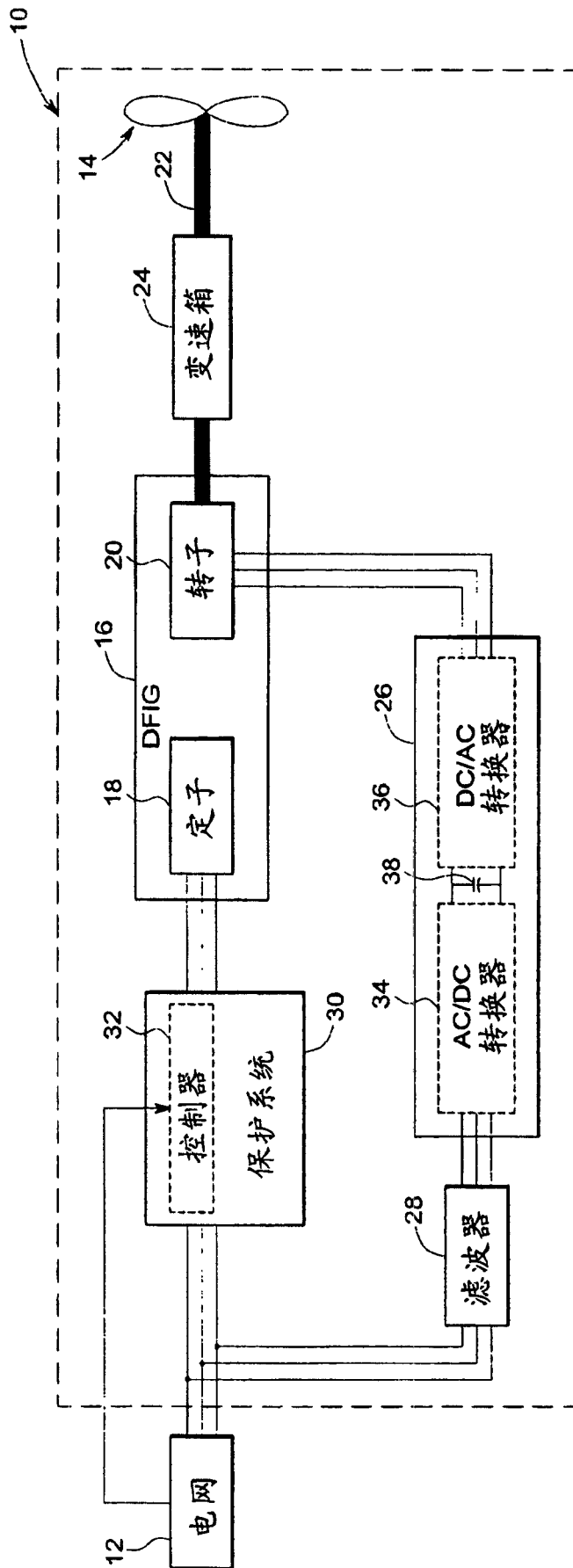


图 1

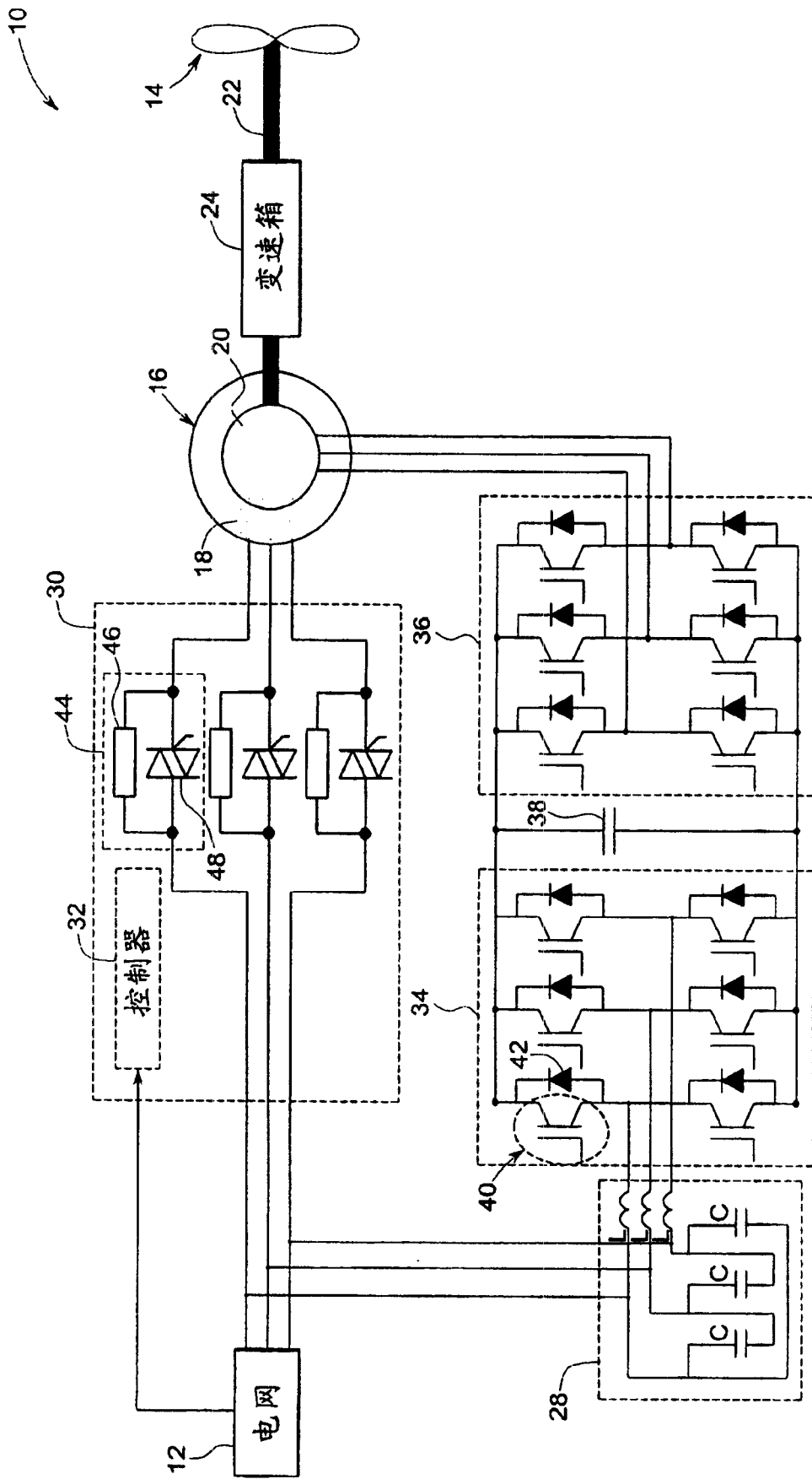
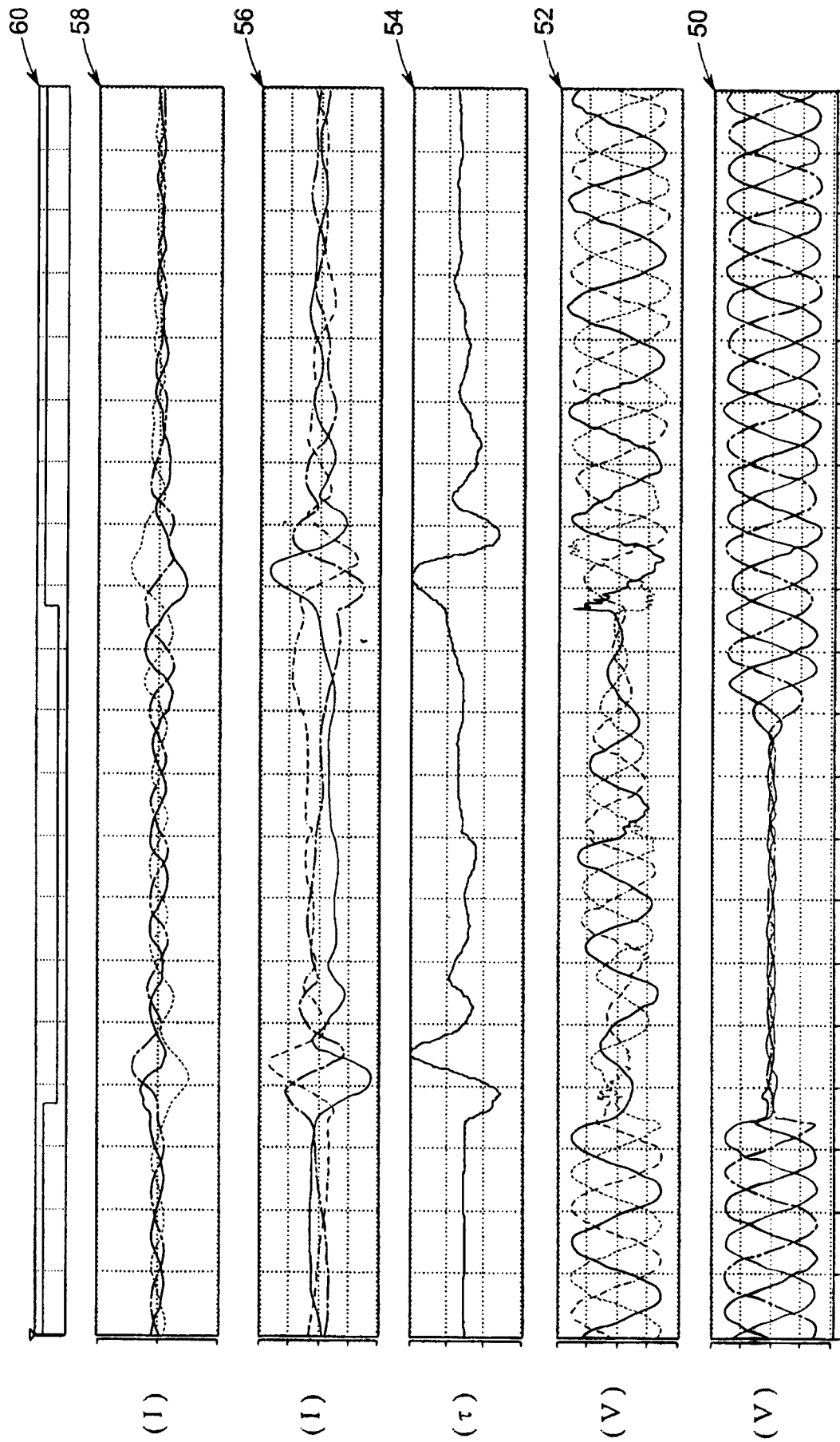


图 2



t(s)  
图 3

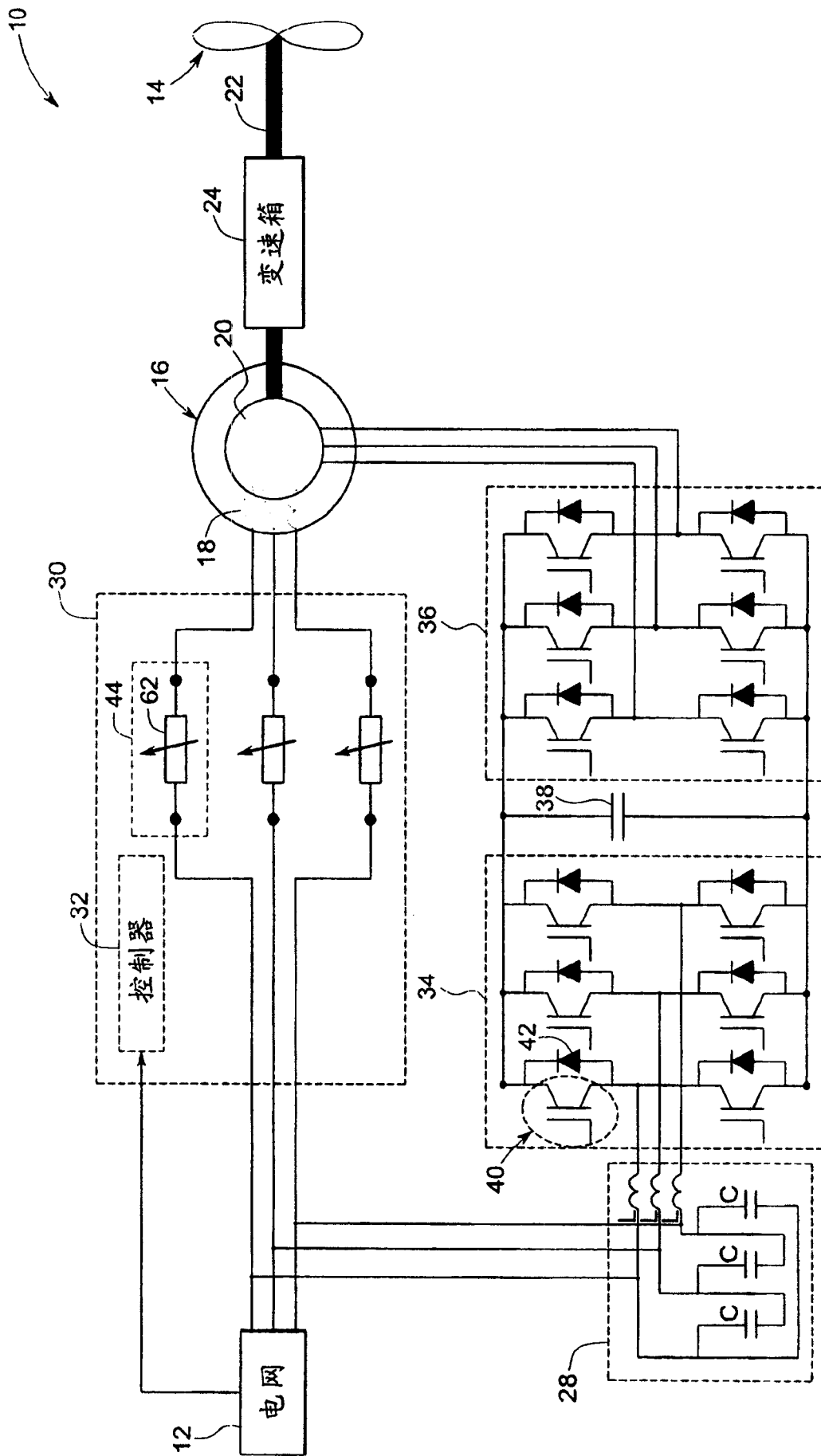


图 4