

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02P 9/00 (2006.01)

H02P 27/05 (2006.01)

H02P 6/00 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480019851.5

[45] 授权公告日 2008 年 10 月 8 日

[11] 授权公告号 CN 100424988C

[22] 申请日 2004. 7. 1

[21] 申请号 200480019851. 5

[30] 优先权

[32] 2003. 7. 15 [33] EP [31] 03380174. 7

[86] 国际申请 PCT/EP2004/007208 2004. 7. 1

[87] 国际公布 WO2005/015730 英 2005. 2. 17

[85] 进入国家阶段日期 2006. 1. 10

[73] 专利权人 歌美飒创新技术公司

地址 西班牙潘普洛纳

[72] 发明人 哈维尔·华纳雷纳萨拉居特

何塞伊格纳西奥·略伦特冈萨雷斯

[56] 参考文献

JP7 - 194196A 1995. 7. 28

US4812729 1989. 3. 14

DE19735742A1 1999. 2. 25

CA1124781A 1982. 6. 1

US5734256A 1998. 3. 31

审查员 马欲洁

[74] 专利代理机构 北京金信立方知识产权代理有限公司

代理人 南 霆

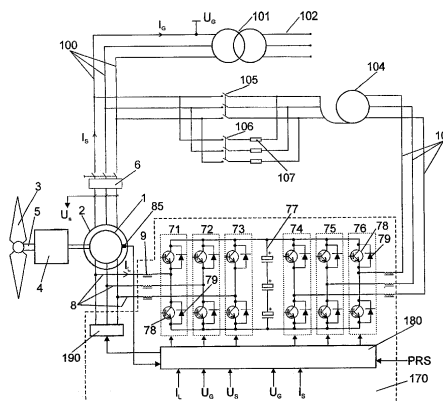
权利要求书 3 页 说明书 14 页 附图 7 页

[54] 发明名称

双馈感应发电机系统的控制和保护

[57] 摘要

双馈感应发电机 (DFIG) 的控制系统包括具有转子绕组的转子 (1) 和可连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子 (2)。控制系统包括变换器 (170、171)，其具有包括至少一无源压敏电阻元件 (291、292、293、294) 的箝位单元，用于在箝位单元被触发时在转子绕组上提供箝位电压。本发明还涉及双馈感应发电机 (DFIG) 系统及包含发电系统中的变换器的方法。



1、双馈感应发电机的控制系统，包括具有转子绕组的转子（1）和连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子（2）；

所述控制系统包括变换器（170、171），所述变换器包括下述元件：

连接到发电机的转子绕组的转子逆变器（71-73），

连接到电网和/或定子绕组的电网逆变器（74-76），及

用于馈电转子逆变器的直流传输线（77）；

变换器（170、171）还包括箝位单元（190），用于保护变换器免遭由于转子绕组中的过电流而导致的损害，所述箝位单元（190）连接在转子绕组上并被安排为在检测到转子绕组中出现过电流之后从非工作状态触发为工作状态，所述箝位单元包括箝位元件（290），所述箝位元件被安排为使得

当箝位单元在非工作状态时，转子绕组中的电流不能通过所述箝位元件，及

当箝位单元在工作状态时，转子绕组中的电流通过所述箝位元件，

所述箝位元件包括至少一无源压敏电阻元件（291、292、293、294），所述至少一无源压敏电阻元件用于在转子绕组上提供箝位电压。

2、根据权利要求1的控制系统，其中箝位元件（290）包括多个并联连接的无源压敏电阻元件（291、292、293、294）。

3、根据权利要求1或2的控制系统，其中所述至少一无源压敏电阻元件包括至少一压敏变阻器。

4、根据权利要求1或2的控制系统，其中所述至少一无源压敏电阻元件包括至少一齐纳二极管。

5、根据权利要求1或2的控制系统，其中所述至少一无源压敏电阻元件包括至少一抑制二极管。

6、根据权利要求 5 的控制系统，其中对于转子的每一相，箝位单元包括用于连接到相应转子相位的连接器（300），每一连接器连接到触发器分支，触发器分支包括串联连接的下述部分：用于触发箝位单元的晶闸管（295）、箝位元件（290）及二极管（296），所述连接器（300）具有用于连接到触发器分支的连接点（297），所述连接点（297）连接到晶闸管（295）的阳极，晶闸管（295）的阴极与箝位元件（290）的一端连接，箝位元件（290）的另一端与二极管（296）的阳极连接，二极管（296）的阴极与所述连接点（297）连接。

7、根据权利要求 6 的控制系统，其中箝位单元还包括与箝位元件（290）并联连接的电阻器（298）。

8、根据权利要求 7 的控制系统，其中箝位单元被安排成当直流传输线上的电压上升高于预定水平时从非工作状态触发为工作状态。

9、根据权利要求 7 的控制系统，其中箝位单元被安排成当转子绕组上的电压上升高于预定水平时从非工作状态触发为工作状态。

10、根据权利要求 7 的控制系统，其中箝位单元被安排成当转子绕组中的电流上升高于预定水平时从非工作状态触发为工作状态。

11、根据权利要求 7 的控制系统，其中箝位单元被安排成当定子绕组中的电流上升高于预定水平时从非工作状态触发为工作状态。

12、双馈感应发电机系统，包括具有转子绕组的转子（1）和连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子（2），所述双馈感应发电机系统还包括根据权利要求 1-11 任一所述的控制系统，其中
转子逆变器（71-73）被连接到发电机的转子绕组，
电网逆变器（74-76）被连接到电网，及
箝位单元（190）被连接在转子绕组上。

13、用于保护包含双馈感应发电机和控制系统的发电系统中的变换器的方法，双馈感应发电机包括具有转子绕组的转子（1）和连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子（2），控制系统包括变换器（170、171），所述变换器包括连接到发电机的转子绕组的转

子逆变器(71-73)、连接到电网和/或定子绕组的电网逆变器(74-76)、及用于馈电转子逆变器的直流传输线(77)；

藉此，所述方法包括步骤：

将具有箝位元件的箝位单元(190)连接在转子绕组上，所述箝位单元包括箝位元件(290)，箝位元件被安排成使得：在箝位单元处于非工作状态时转子绕组中的电流不能通过所述箝位元件，及当箝位单元在工作状态时转子绕组中的电流通过所述箝位元件；所述箝位元件包括至少一无源压敏电阻元件(291、292、293、294)以用于在转子绕组上提供箝位电压；及

当在转子绕组中检测到过电流时将箝位单元从非工作状态触发到工作状态。

14、根据权利要求 13 的方法，其中当直流传输线上的电压上升高于预定水平时箝位单元被从非工作状态触发为工作状态。

15、根据权利要求 13 的方法，其中当转子绕组上的电压上升高于预定水平时箝位单元被从非工作状态触发为工作状态。

16、根据权利要求 13 的方法，其中当转子绕组中的电流上升高于预定水平时箝位单元被从非工作状态触发为工作状态。

17、根据权利要求 13 的方法，其中当定子绕组中的电流上升高于预定水平时箝位单元被从非工作状态触发为工作状态。

双馈感应发电机系统的控制和保护

技术领域

本发明涉及双馈感应发电机 (DFIG) 的控制, 特别是风力发电中使用的双馈感应发电机的控制。

背景技术

使用风力产生电能的一个基本问题是涡轮速度应能随风速变化, 以提高能量效率并降低风力涡轮机上的机械负载。然而, 不管涡轮速度怎样变化, 风力发电机的输出功率应被保持在不变的频率, 其对应于发电机与其连接的配电系统或电网的频率。即, 需要变速恒频 (VSCF)。在风力发电中, 为了实现 VSCF 运行, 已使用双馈感应发电机 (DFIG); 包括 DFIG 的系统在一些文献中公开, 例如:

1996 年 12 月的 EPE 期刊第 6 卷、第 3-4 号中 60-67 页由 Pena, R. S. 等著的“风力发电系统使用的变速双馈感应电机的矢量控制”

ENE-97 (Trondheim) 第 2717-2728 页由 Weiss, H. 著的“用于滑环感应电机的转子电路 GTO 变换器”

JP-A-07-067393

JP-A-07-194196

传统的 DFIG 系统如图 1 中所示。发电机的转子 1 包括: 多相 (在该例子中为 3 相) 异步电机通过变速箱 4 连接到由风力涡轮机的叶片 3 驱动的轴 5。发电机的定子 2 的绕组通过开关 6 连接到与变压器 101 连接的输出线路 100, 借助于变压器 101, 输出线路被连接到配电系统或电网 102, 通常为中压 (10Kv-40kV) 电网。来自定子的输出线路上的电压通常在 690V (被视为定子的正常工作电压水平)。

系统还包括变换器 7, 其具有通过控制线路 8 连接到转子绕组的转子侧逆变器或转子逆变器 (71、72、73), 每一控制线路包括电感器 9。变换器 7 还包括通过电网逆变器连接线 103 连接到上述输出线

路 100（因而连接到电网）的电网侧逆变器或电网逆变器（74、75、76），连接线 103 与变压器 104 连接（通常，用于从变换器侧的 480V 级别转换为输出线路侧的 690V）。变压器通过开关设备连接到输出线路 100，开关设备包括并联排列的两个开关：主开关 105 直接布置在输出线路 100 和变压器 104 之间，充电开关 106 与充电电阻 107 串联连接。即，电网逆变器通过变压器 104 连接到电网和定子绕组。

两个逆变器基本上是对称的；所述转子逆变器和电网逆变器中的每一个均包括并联连接的三个半桥（71、72、73；74、75、76），一个半桥分别用于发电机和电网的每一相。

转子逆变器（71、72、73）被直流传输线 77 反馈。电网逆变器（74、75、76）控制直流传输线 77 上的电压。

每一半桥（71、72、73；74、75、76）由两个串联连接的相同的单元组成，每一单元包括与续流二极管 79 并联连接的 IGBT（绝缘栅双极晶体管）78。

在两个单元之间组成每一半桥，半桥被连接到：

- 各自的控制线路 8（对于转子逆变器的半桥 71-73）；或
- 各自的电网变换器连接线 103（对于电网逆变器的半桥 74-76）。

逆变器（71-76）的 IGBT78 的工作由控制模块 80 控制，其被布置来接收多个对应于系统的几个参数的值的输入信号，包括：

I_G ：在变压器 101 的连接点用于连接到电网的输出线路 100 中的电流（被视为“供给电网的电流”）；

U_G ：输出线路 100 中的电压（被视为“供给电网的电压”）；

I_S ：输出线路 100 中在连接定子端的电流，其在开关 6 和用于向变换器供电的支线的连接（经开关 105 和 106 及变压器 104）之间（被视为“定子电流”）；

U_S ：在定子绕组测量的定子电压（在定子 2 和开关 6 之间）；

I_L ：使转子绕组和转子逆变器相互连接的控制线路 8 中的电流；

及

由编码器 85 测量的转子的旋转速度。

使用这些输入，控制模块 80 可控制两个逆变器的 PWM（脉宽调制）。

控制模块 80 接收来自主风力涡轮机控制器（图 1 中未示出）的功率参考信号，（PRS），其被布置来接收信息如发电机提供的实际功率、叶片的位置、风速等。主风力涡轮机控制器负责风力涡轮机的全部运转并控制多个辅助控制器，包括变换器 7。

在变换器 7 中，功率参考信号与测量的功率进行比较（基于测量的 I_c 和 U_c 值），且控制模块 80 的功率调节环路的输出控制转子逆变器的 PWM。直流传输线由电网逆变器控制。当变换器在正常条件下工作时，直流传输线电压是常数。在本例子（图 1）的电路中，在正常条件下，直流传输线电压可以为约 $800 V_{DC}$ 。

基本上，变换器 7 按如下进行工作：

要开始变换器的工作，充电开关 106 被闭合。之后，直流传输线 77 将在充电电阻 107 和电网逆变器的续流二极管 79 上进行充电。直流传输线上的电压由控制模块 80 测量。当直流传输线上的电压达到预定水平时，主开关 105 被闭合且充电开关 106 被断开。

在主开关 105 闭合之后，电网逆变器被启动且直流传输线电压将由电网逆变器控制，以将直流传输线上的电压保持在额定值（在该例子中为约 $800 V_{DC}$ ）。电网逆变器可向电网提供以功率（像发电机那样）或其可从电网获得功率（像电动机那样）。电网逆变器根据直流传输线上的电压进行工作：如果该电压趋向于增加（由于来自转子逆变器的输入），电网逆变器向电网供电；如果直流传输线上的电压趋向于降低，电网逆变器从电网获得功率。

如果直流传输线上的电压与额定值 ($800 V_{DC}$) 相同，且风力涡轮机在其预定速度范围内旋转，转子逆变器被启动；这意味着控制模块 80 开始操作转子逆变器的 PWM，触发或不触发转子逆变器的半桥（71-73）的每一 IGBT78。使用所得的转子电流/转子电压，控制模块 80 控制定子侧（当发电机用作变压器时）。在定子侧，控制模块 80 测量 AC 电压（在图中为 U_s ，有时也称为 U_{sync} ）并控制转子逆变器

（提供调节 PWM），直到该定子电压 U_s 与电网电压 U_g 相等为止。一旦两电压一样，开关 8 被闭合，从而将定子绕组连接到电网。使用转子逆变器的 PWM，现在可控制提供给电网的总功率中的有功功率和无功功率。

变换器 7 的功率电子元件需要被保护以免遭高电流（过电流）和过电压的危害，其可能出现在连接转子绕组和转子逆变器的控制线路 8 中，例如，如果电网 102 中发生短路，发电机 2 将高定子电流 (I_s) 反馈到短路中，则转子电流非常迅速地增加。为了保护发电机和变换器，将发电机连接到电网的开关 6 被断开，但在断开实际上发生之前有实质上的时延（通常为约 50ms），在这期间，高转子电流可损害变换器。

为了保护变换器，已知道可向变换器 7 提供以所谓的“消弧电路” 90，其被布置来在必要时使转子绕组短路，以吸收转子电流并阻止转子电流进入转子逆变器并损害其元件。已知消弧电路的基本布局的典型例子如图 2 中所示。基本上，消弧电路包括并联排列的三个分支，每一分支包括串联连接的两个二极管（91、92；93、94；95、96）。在每一分支的两个二极管之间，有一个消弧电路连接到相应的转子绕组的连接点。与包括二极管的三个分支串联的是包括功率晶闸管 98 和电阻器 97（可选）的分支。消弧电路按下述方式工作：

在正常运行时，晶闸管 98 被闭锁，使得没有电流流过晶闸管。因而，没有电流流过二极管 91-96，转子电流通过控制线路 8 全部反馈给变换器 7 的转子逆变器 71-73。当转子电流有较大增加时，这些电流使转子逆变器的 IGBT 过载且 IGBT78 的 PWM 将被控制模块 80 停止（即 IGBT 的工作被停止）（控制模块 80 读通过控制线路 8 的电流 I_L 的值并在所述电流高出某一水平时被编程以停止 IGBT 的工作）。转子电流接着将流过续流二极管 79，从而导致直流传输线 77 上的电压增加。该增加由控制模块 80 检测，且一旦直流传输线上的电压达到预定的阈值，控制模块激发消弧电路的功率晶闸管 98，从而允许电流流过所述晶闸管。其后，高转子电流将开始流过消弧电路的二极

管，而不是流过转子逆变器。当消弧电路充作短路时，转子电压将接近于零。

接下来，开关 6 被断开，因而使定子 2 与电网断开连接；发电机接着将在所述开关 6 和消弧电路 90 上将被去磁。其后，一旦电网电压已返回到额定值，发电机可被再次连接到电网。

图 3A-3G 使用相同的时间轴示出了当电网中产生短路时，具有图 2 的现有技术消弧电路的图 1 系统的一些参数的发展。下述时间点被涉及：

t1: 电网中发生短路时的时间

t2: 消弧电路被触发时的时间

t3: 发电机与电网断开连接（通过断开开关 6）时的时间

t4: 发电机被重新连接到电网（通过闭合开关 6）时的时间

图 3A 示出了在时间 t1（电网中短路的时间）附近 U_G 的下降。

图 3B 示出了定子电流 I_s 。在 t1, 定子电流开始迅速增加且其在时间 t3 之前一直保持高水平，当开关 6 被断开时，因而将定子与电网断开连接（继而定子电流被中断）。随后，一旦电网上的电压回到其额定值，发电机被重新连接到电网（在 t4）且定子电流开始再次流动。

图 3C 示出了转子电流 I_r 怎样变化，其几乎与定子电流的方式一样（由于转子和定子用作变压器的一次侧和二次侧）。唯一的区别是由于发电机的磁化电流是来自转子侧。因而，在图 3C 中，在 t4 之前，可发现很短地小磁化电流。

图 3D 示出了从转子到转子逆变器的电流 (I_L)。在 t1, 该转子逆变器电流迅速增加（在转子电流增加之后，转子电流被全部反馈给转子逆变器）。转子逆变器被控制模块 80 停止且电流接着流过续流二极管 79 而流入直流传输线。直流传输线上的电压 (U_{DC})（参考图 3E）非常快的增加，直到其达到某一水平。之后，到时间 t2, 消弧电路被控制模块（其已正读直流传输线上的电压）触发。接着，转子电流被整流到消弧电路（且几乎立即下降为零，即，没有电流被从转

子反馈到变换器 7 中)。一旦电压回到电网上, 转子逆变器开始向发电机的转子提供磁化电流, 且与电网同步。在将发电机连接到电网之后 (在 t_4), 转子电流重新增加到额定值 (参考图 3C) (如果有足够的风能)。

在图 3E 中, 其示出了在 t_1 直流传输线如何被快速充电 (直流传输线上的电压 U_{DC} 因而增加)。在 t_2 , 消弧电路被触发且充电被停止。直流传输线的放电由电网逆变器完成。电网逆变器将直流传输线放电到额定值 ($800 V_{DC}$)。

图 3F 示出了通过消弧电路的电流 I_{CR} 。在时间 t_2 之前, 消弧电路碰上全部转子电流。

最后, 图 3G 示出了转子电压 U_R 。在开始时, 转子电压在其正常工作水平。在 t_1 , 转子逆变器被停止且整流后的转子电压立即达到直流传输线的水平。转子电压随直流传输线上的电压增加而增加, 直到 t_2 时消弧电路被触发为止; 之后, 转子被短路, 转子电压下降到零。一旦开关被断开且发电机与电网断开连接, 消弧电路被再次断开。一旦电网电压回到其额定值, 转子逆变器被同步, 转子电压重新回到其正常工作水平。

如上面的例子中所述, 发电机与电网断开连接在传统上已被使用以在电网上出现问题时及因为与网络管理有关的原因保护发电机和变换器 (如短路导致转子电流电涌)。传统上, 断开连接尚未被视为包含有关于电网的整个供电的任何实质的问题, 因为风力发电机仅占电网的总供电的非常小部分 (通常在总供电的 5% 以下)。然而, 在许多国家, 风力发电正表现为电力发电的快速增加的部分, 且在某些国家, 风力发电占总发电的重要部分, 从而如果突然断开风力发电机的连接可导致电网上整个电力分配的严重问题。

因此, 需要提供一种方案, 其在电网中发生短路时无须使发电机与电网断开连接即可适当地工作。

然而, 在上述及使用消弧电路 90 保护变换器 7 的现有技术方案中, 必须使发电机与电网断开连接, 因为被触发的消弧电路在转子侧

产生硬短路。如果定子未与电网断开连接，转子的短路将在转子和定子绕组中产生稳定的过电流。在正常工作期间，具有额定的电网电压和转差率，转子电压为约 200 Vrms。如果转子被短路且如果定子未与电网断开连接，则在长时间期间将有通常三倍于额定电流的过电流，如果消弧电路接下来被断开连接，这些过电流将“跳”到转子逆变器内并在直流传输线 77 上产生过电压。之后，消弧电路 90 将被再次触发等。基本上，没有办法避开该循环。因而，为了避免这些长时间的过电流，定子必须与电网断开连接。

在上面提及的 JP-A-07-067393 和 JP-A-07-194196 中，与电网中电压下降有关的问题通过添加与直流传输线并联的斩波电路进行解决。接下来，转子电流流过转子逆变器的续流二极管并对直流传输线充电。当直流传输线上的电压上升而高于预定水平时，与电阻器串联连接的斩波器被启动且直流传输线上的电压通过在斩波电路上使直流传输线放电而得以限制。然而，该解决方案要求对转子逆变器的续流二极管进行选择以支持高电流（因为转子电流将持续流过转子逆变器的续流二极管）。此外，斩波器需要可被切断的开关如 GTO 或 IGBT，即有源开关。另外，因为保护原因，必须有消弧电路与转子逆变器并联连接。

本发明的目标是提供在电网中发生短路时无须使定子与电网断开连接即可保护变换器的方案，且其不要求任何尺寸过大的续流二极管，且首选方案没有有源开关。优选地，该方案不应要求任何消弧电路。

发明内容

本发明的第一方面涉及双馈感应发电机（DFIG）的控制系统，包括具有转子绕组的转子和可连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子，所述控制系统包括变换器，所述变换器包括下述元件：

- 可连接到发电机的转子绕组的转子逆变器，
- 可连接到电网和/或定子绕组的电网逆变器，及

用于馈电转子逆变器的直流传输线。

根据本发明，变换器还包括箝位单元，用于保护变换器免遭由于转子绕组中的过电流而导致的损害，所述箝位单元可连接在转子绕组上并被安排为在检测到转子绕组中出现过电流之后其将从非工作状态触发为工作状态，所述箝位单元包括箝位元件，其被安排为当箝位单元在其非工作状态时，转子绕组中的电流不能通过所述箝位元件，且在箝位单元在其工作状态时，转子绕组中的电流可通过所述箝位元件。箝位元件包括至少一无源压敏电阻元件，其用于在转子绕组上提供箝位电压。

压敏电阻元件可被选择以使得，对于在电网短路期间出现的转子电流的任何预期值，适当的箝位电压将在箝位元件因而在转子绕组上获得。所述箝位电压在预定范围内是非常重要的。特别是，其不应被允许为太低，因为太低的箝位电压意味着转子绕组中的电流将非常缓慢地降低（只要定子保持连接到电网）。实际上，如果箝位电压低于正常工作期间的转子电压水平，则转子电流将永远不会下降到零。

而希望转子电流尽可能快地降低，以允许变换器重新开始工作，其借助于使箝位单元回到其非工作状态（藉此转子电流被重新整流到转子逆变器），从而变换器可重新接管发电机的控制。变换器将能够尽快接管转子电流的控制被认为是非常重要的，以能够还在电网上的短路持续期间即能控制对电网的功率输出（这通常为电网的操作员所要求）。

因此，箝位元件为压敏电阻元件是非常重要的，从而电压将不是转子电流的纯线性函数：一般电阻器的使用意味着箝位电压将（实质上）直接正比于转子电流。在选择电阻时，应注意选择电阻值足够低的电阻以确保箝位电压永远不会超出转子电压允许的最大水平，即使流过电阻器的电流达到预期的最高转子电流水平时也不会超出。然而，如果由于电网中的短路产生的实际转子电流远低于所述预期的最高水平时，这样的低电阻值将引起太低的箝位电压水平。在这种情况下，由于太低的箝位电压，转子电流将不会足够快地降低以允许变换

器重新接管控制，或至少不会如所希望那样快地接管控制。在额定转子电压时，低电阻值电阻器的使用将导致转子绕组中的高稳态过电流。

然而，通过使用压敏电阻元件，对于较大范围的可能转子电流，则可选择该元件以提供相当明确定义的箝位电压，在相当短量程内。实际上，有元件可对任何转子电流水平的值提供实质上不变的箝位电压，所述转子电流水平在非常大的范围内，基本上包括由于电网短路而可能的转子电流的全部范围。

使用无源压敏电阻元件特别有利，因为其提供相当明确定义的箝位电压，而不要求箝位单元的任何复杂的控制。基本上，其足以触发箝位单元以允许转子电流通过箝位单元而不是通过转子逆变器。用于触发箝位单元，可使用简单的触发元件如功率晶闸管，其可被布置为与箝位元件和相应的转子绕组串联连接并从控制模块使用非常低的电流进行触发（例如，在 1A 以下，通过简单的脉冲变压器施加）。转子绕组上的电压的箝位由压敏电阻元件本身实现，不需要另外的控制。即，不需要“主动”控制该箝位电压；一旦定子电流在其额定值以下，控制模块可简单地停止触发晶闸管，因而在通过晶闸管的电流的下一零交叉之后停止转子电流流过箝位单元。

箝位元件可包括多个并联排列的无源压敏电阻元件，从而允许非常高的转子电流流过箝位元件，而不会损害单个的无源压敏电阻元件。

（每一）无源压敏电阻元件可包括：

- 压敏变阻器（或串联连接的多个压敏变阻器）；
- 齐纳二极管（或多个串联连接的齐纳二极管）；和/或
- 抑制二极管（或多个串联连接的抑制二极管）。

适当的无源压敏电阻元件的例子为下述元件：

- 压敏变阻器：来自生产商 EPCOS 的 B0K320
- 抑制二极管：来自生产商 ST 的 BZW50-180
- 齐纳二极管：来自生产商 Vishay 的 BZG05C100

对于转子的每一相，箝位单元可包括用于连接到相应的转子相位的连接器，每一连接器被连接到触发器分支，其包括串联连接的：箝位单元到连接器的连接点以用于连接到相应的转子相位；用于触发箝位单元的晶闸管；箝位元件；二极管；及连接到连接器的连接点以用于连接到相应的转子相位。箝位单元还可包括与箝位元件并联连接的电阻器。

箝位单元可被安排成可从非工作状态触发为工作状态：

-当直流传输线上的电压上升高于预定水平时（即，转子绕组中的过电流通过测量直流传输线上的电压进行检测）；

-当转子绕组上的电压上升高于预定水平时（即，转子绕组中的过电流通过测量转子绕组上的电压进行检测）；

-当转子绕组中的电流上升高于预定水平时（即，转子绕组中的过电流通过测量转子绕组中的电流进行检测）；和/或

当定子绕组中的电流上升高于预定水平时（即，转子绕组中的过电流通过测量定子绕组中的电流进行检测）。

本发明的第二方面涉及双馈感应发电机（DFIG）系统，包括具有转子绕组的转子和可连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子，所述双馈感应发电机系统还包括如上所述的控制系统、可连接到发电机的转子绕组的转子逆变器，可连接到电网的电网逆变器，及被连接在转子绕组上的箝位单元。

本发明的第三方面涉及用于保护包含双馈感应发电机（DFIG）和控制系统的发电系统中的逆变器的方法，双馈感应发电机包括具有转子绕组的转子和可连接到电网以用于电力分配的具有定子绕组的定子，所述控制系统包括变换器，所述变换器包括可连接到发电机的转子绕组的转子逆变器、可连接到电网和/或定子绕组的电网逆变器、及用于馈电转子逆变器的直流传输线。所述方法包括步骤：

将具有箝位元件的箝位单元连接在转子绕组上，所述箝位单元包括箝位元件，其被安排成使得在箝位单元处于非工作状态时转子绕组中的电流不能通过所述箝位元件，当箝位单元在其工作状态时，转子

绕组中的电流可通过所述箝位元件，所述箝位元件包括至少一无源压敏电阻元件以用于在转子绕组上提供箝位电压；及

当在转子绕组中检测到过电流时将箝位单元触发到其工作状态。

箝位单元可从非工作状态触发为工作状态，例如：

- 当直流传输线上的电压上升高于预定水平时，
- 当转子绕组上的电压上升高于预定水平时，
- 当转子绕组中的电流上升高于预定水平时，和/或
- 当定子绕组中的电流上升高于预定水平时。

附图说明

图 1 为现有技术中的 DFIG 系统的示意图。

图 2 为现有技术中消弧电路的示意图。

图 3 示意性地示出了在电网中发生短路后的时间间隔期间，根据现有技术的系统的部分参数的变化。

图 4 示意性地示出了在电网中发生短路后的时间间隔期间，根据本发明优选实施例的系统的部分参数的变化。

图 5 为根据本发明优选实施例的系统的示意图。

图 6 为根据本发明另一优选实施例的系统的示意图。

图 7 为根据本发明优选实施例的箝位单元的示意图。

具体实施方式

图 5 和图 6 示出了本发明的两个优选实施例。大多数所示元件均完全对应于参考图 1 所述的现有技术系统的那些元件；这些元件具有相同的附图标记且不需另外描述。然而，代替图 2 的变换器 7，图 5 和 6 示出了包括相同基本元件的变换器，二者区别在于：

在图 5 示出的变换器 170 中，消弧电路已被箝位单元 190 替代，变换器包括适于控制所述箝位单元的控制模块 180（除此之外，控制模块 180 按图 1 的系统的控制模块 80 那样运行）；

及

在图 6 所示的变换器 171 中，箝位单元 190 已被组合且与消弧电路 90 并联连接，变换器包括适于控制所述箝位单元和消弧电路的控制模块 181（除此之外，控制模块 181 按图 1 的系统的控制模块 80 那样运行）。

图 7 示出了箝位单元的优选实施例，箝位单元包括，对于转子的每一相，连接器 300 用于连接到相应的转子相位。每一连接器被连接到触发器分支，其包括串联连接的：箝位单元到连接器 300 的连接点 297 以用于连接点相应的转子相位；用于触发箝位单元的晶闸管 295；箝位元件 290；二极管 296；及连接到连接器 300 的连接点 297 以用于连接到相应的转子相位。

晶闸管 295 和二极管 296 可被集成在一个元件中，如 Semikron 生产的 SKKH210/12E。箝位元件 290 可以是压敏变阻器，如 EPCOS 生产的 B80K320。

（可使用晶闸管代替二极管 296，其优点在于：相比于使用二极管，使用晶闸管可使触发箝位单元的停止和流过箝位单元的电流的实际停止之间的时延可被降低高达 50%）。

图 4A 示出了电网电压，短路在 t_{11} 附近出现。之后，定子电流 I_s （图 4B）迅速增加。然而，在这种情况下，发电机未被断开连接且将在定子和转子电流上被去磁，定子和转子电流继而将降低。一旦定子电流低于额定水平（大约在 t_{13} 附近），箝位单元 190 将被控制模块 180、181 断开且转子电流将重新流入转子逆变器。变换器测量转子电流（通过测量控制线路中的电流 I_r ）并与那些电流同步 PWM。转子逆变器控制转子电流并在剩余的短路持续期间提供不变的转子和定子电流（在图 4B 和 4C 中从 t_{14} 到 t_{15} ）。随后，当电网电压返回到其额定值时，发电机未被足够磁化且高电流从电网流到定子从而产生过电流（在图 4C 中在 t_{15} 和 t_{17} 之间的间隔中）。之后，转子逆变器被再次停止，且发电机将被从电网进行磁化。其后，定子电流降低，一旦其在额定值之下（ t_{17} ），箝位单元 190 被断开，转子逆变器重新接管转子电流的控制。

转子电流 I_r (图 4C) 几乎与定子电流一样。

图 4D 示出了到转子逆变器的电流 I (即从转子到变换器的电流)。在 t_{11} , 转子电流迅速增加, 在 t_{12} , 箝位单元 190 被触发 (正如上述现有技术系统中消弧电路被触发)。因此, 转子电流被整流到箝位单元 190 中且 I_r 下降到零。一旦定子电流下降到额定电流以下 (t_{13}), 箝位单元被控制模块 180、181 断开, 且转子电流被整流到转子逆变器中。转子逆变器与转子电流同步并在剩余的短路持续期间 (t_{14} - t_{15}) 控制电流。(在 t_{14} 和 t_{15} 之间, 电网操作员要求风力涡轮机积极在风力涡轮机外面的短路中供电, 以通过断开电网中的高压断路器引起更快速地断开短路的连接。尤其对于该目的, 在短路的大多数持续时间发电机均应被控制。本发明允许转子逆变器仅在过渡时间被停止, 过渡时间对应于电网上快速电压变化引起的动态过电流的出现)。

当电网电压返回到其额定值时 (t_{15}), 转子电流迅速增加, 转子逆变器被再次停止 (当控制模块测量到过电流时), 箝位单元 190 被触发并遭受转子电流。当定子电流下降到额定水平以下时 (t_{17}), 箝位单元被断开, 转子电流被再次整流到转子逆变器中。转子逆变器与实际的转子电流同步并开始重新运行, 控制转子电流。

图 4E 示出了直流传输线上的电压。在 t_{11} , 有第一尖峰信号, 其触发箝位单元 190 (在 t_{12})。随后, 如上所述, 箝位单元被断开且转子电流被重新整流到转子逆变器中, 开始再次充电直流传输线 (t_{13}), 直到转子逆变器接管转子电流的控制为止 (这由控制模块 180、181 进行, 以再次接管发电机的控制)。在图 4E 中这发生了两次, 第一次是由于电网上的电压下降, 第二次是在电网电压再次上升时。

图 4F 示出了箝位电流 I_{cl} (通过箝位单元的电流)。如上面所描述的, 箝位单元两次遭受全部转子电流。

图 4G 示出了转子电压 U_r 。

在开始，转子电压在其正常工作水平。在 t_{11} 附近，转子电流增加，转子逆变器被停止。转子电流就像电流源并在续流二极管 79 上流入直流传输线 77。在此，转子电压将在与直流传输线上的电压一样的水平。

转子电压随直流传输线电压的增加而增加，在 t_{12} ，箝位单元被触发，转子电压被箝位到与所选择的箝位元件 290 的特性一致的水平。在 t_{13} ，箝位单元被断开，转子电流流入转子逆变器，且转子电压跳到直流传输线电压的水平。在转子逆变器与实际的转子电流同步时间之后，转子逆变器开始工作 (t_{14})，且转子电压的水平回到对应于正常工作的水平。当短路条件在电网上保持时 (t_{14} - t_{15})，由于定子电压的下降，“正常”电压低于 t_{11} 之前的电压。

当电压返回到电网时 (t_{15})，系统将依据电压降反应：

在 t_{15} 附近，转子电流快速上升，且转子逆变器被停止；转子电压增加到直流传输线电压的水平；

在 t_{16} 附近，箝位单元被触发，且转子电压被箝位到由箝位元件 290 的特性确定的水平；

在 t_{17} 附近，箝位单元被断开，转子电流流入转子逆变器，转子电压跳到直流传输线电压水平；

最后，在转子逆变器与实际的转子电流同步时间之后，在 t_{18} 附近，转子逆变器重新开始工作。

图 4H 示出了箝位电压 U_{cl} 。理想地，箝位电压将在两个明确定义的水平之间变化，即在零和箝位水平之间。

在整个说明书和权利要求书中，词“包括”均不意为排除其它附加、元件、整体或步骤。

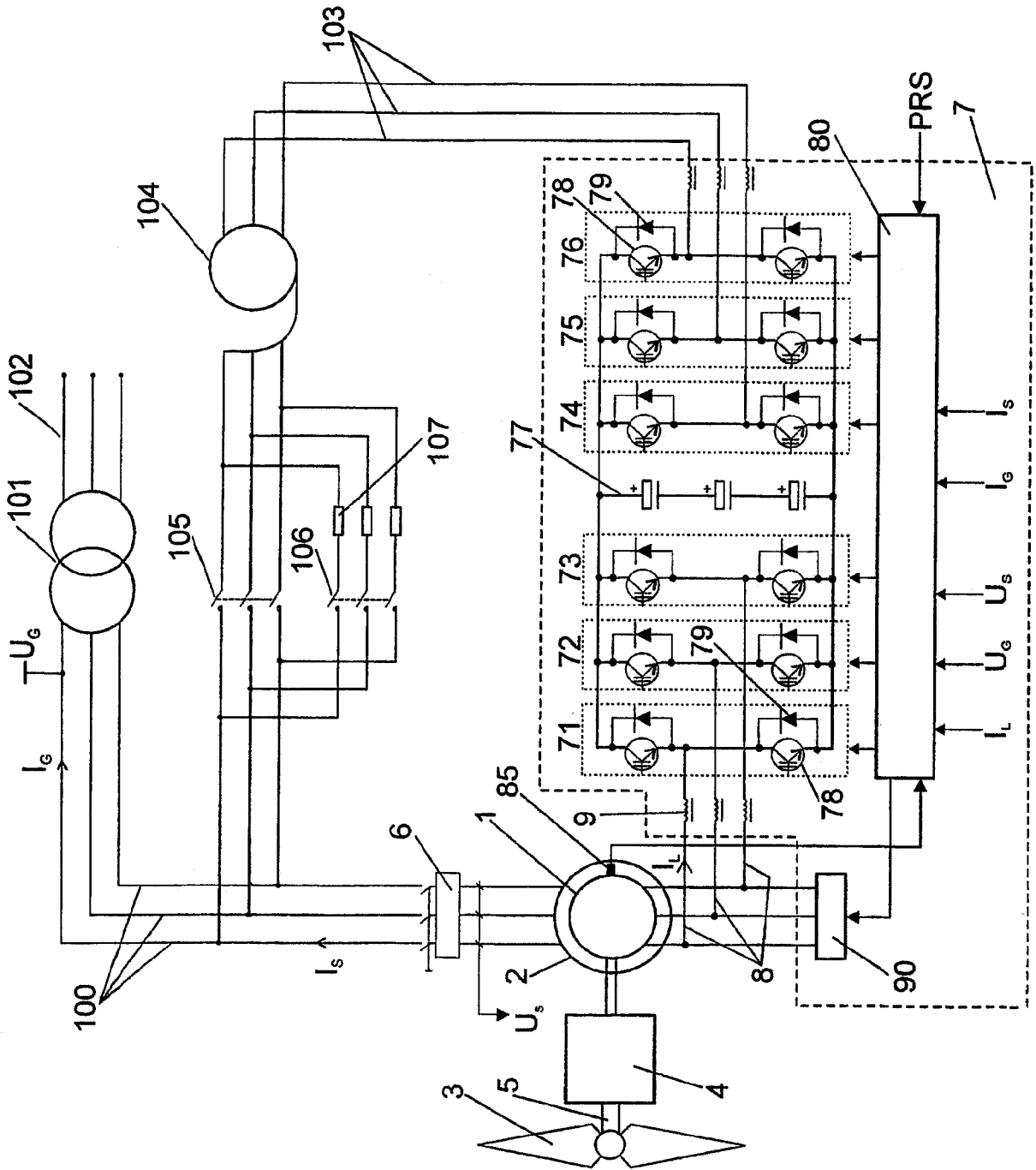


图1

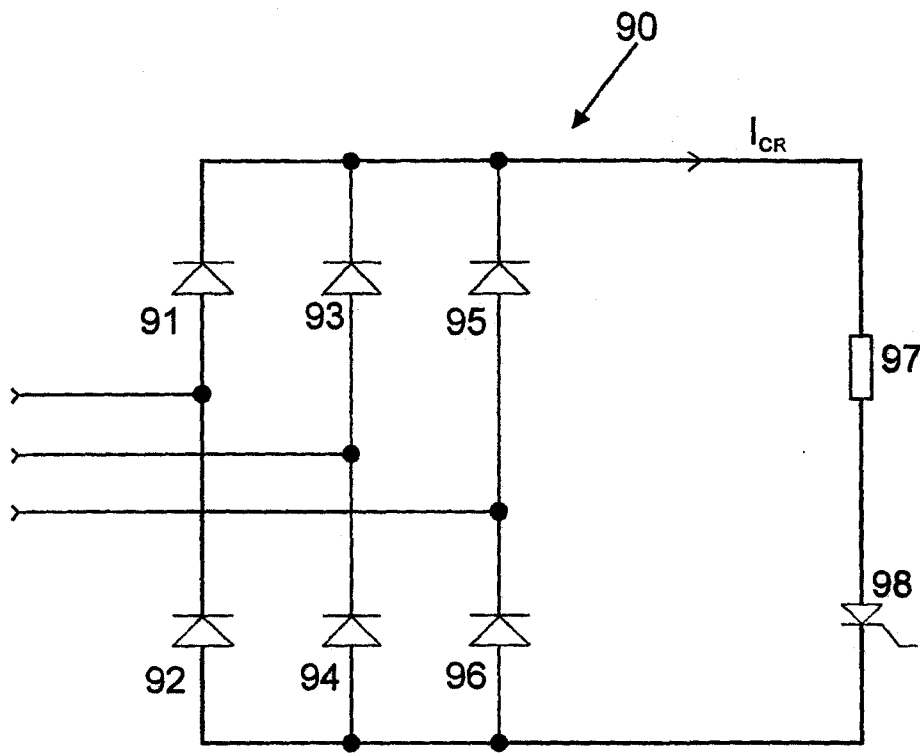


图 2

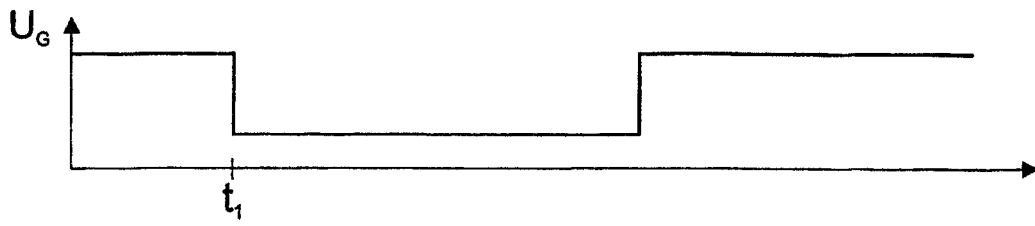


图 3A

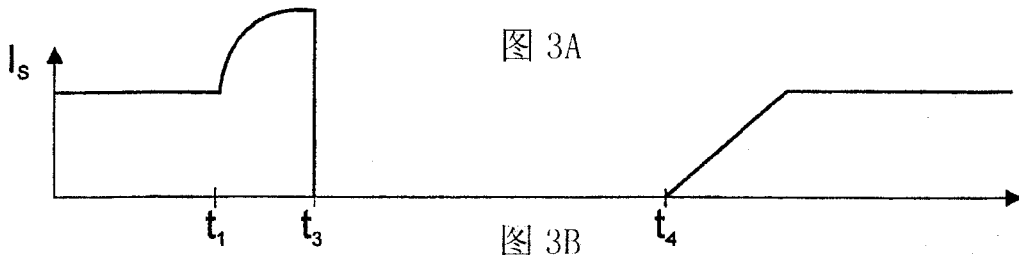


图 3B

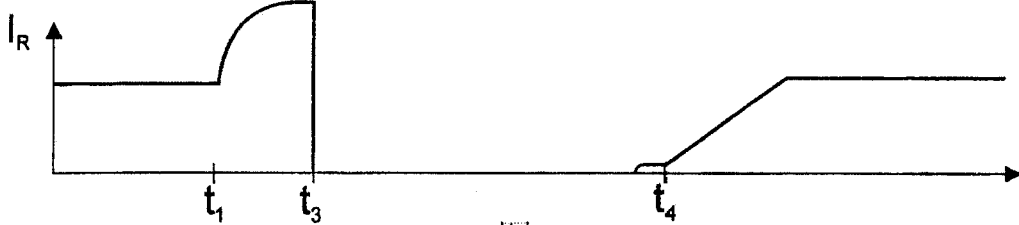


图 3C



图 3D

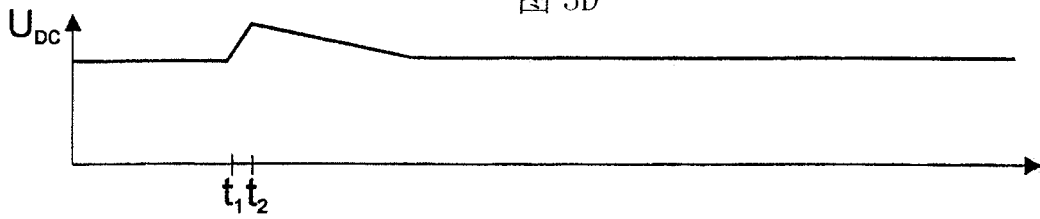


图 3E

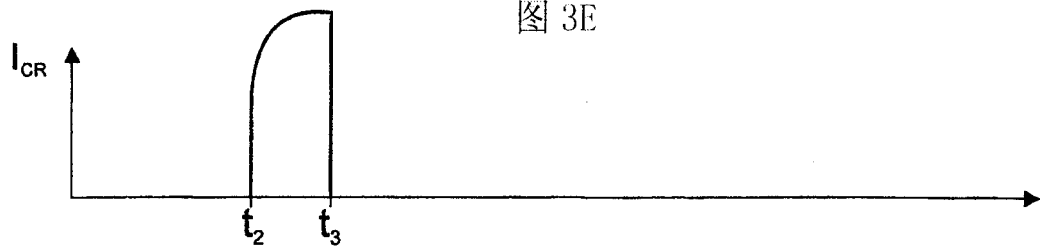


图 3F

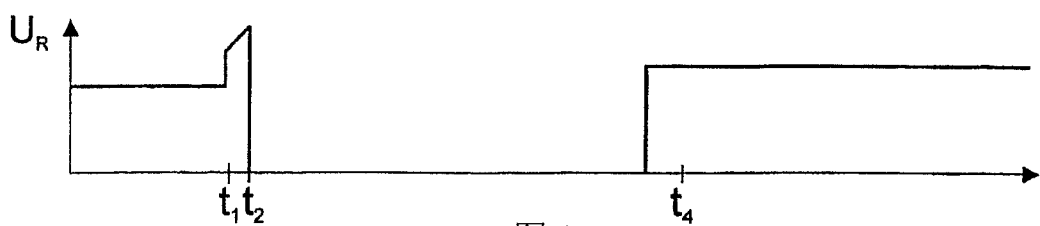


图 3G

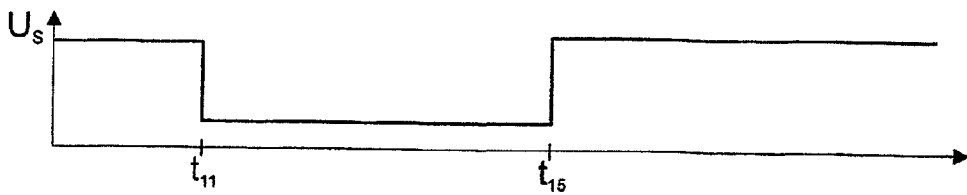


图 4A

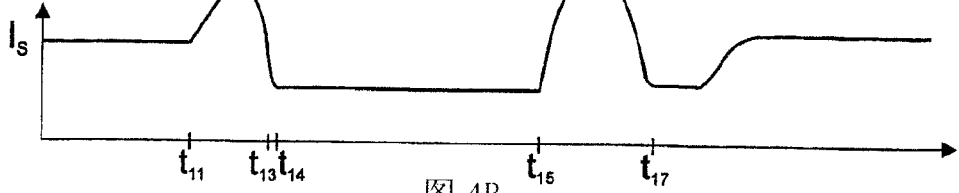


图 4B

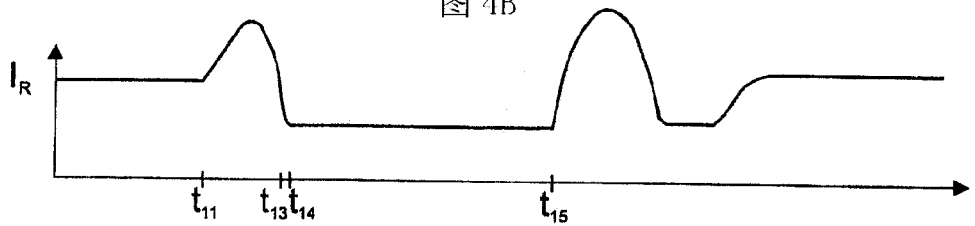


图 4C

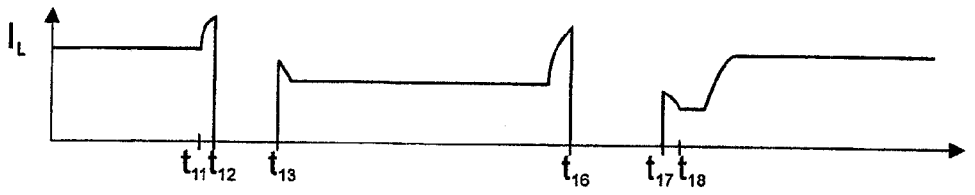


图 4D

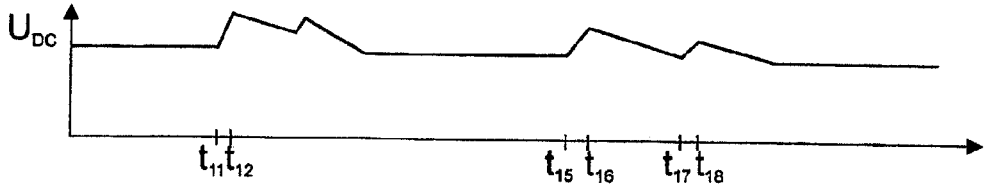


图 4E

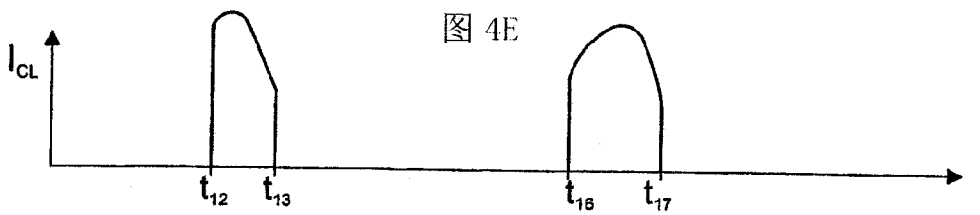


图 4F

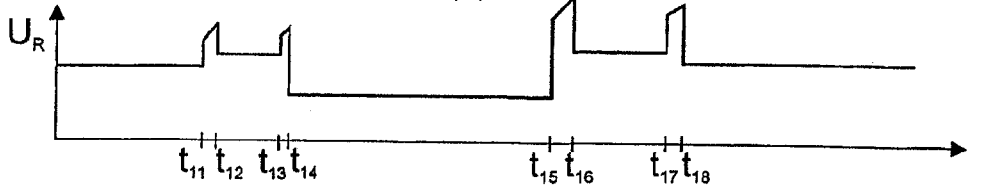


图 4G

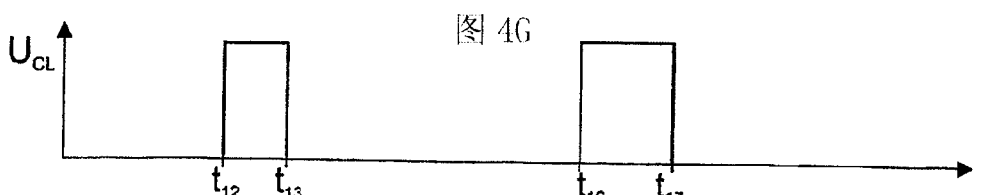


图 4H

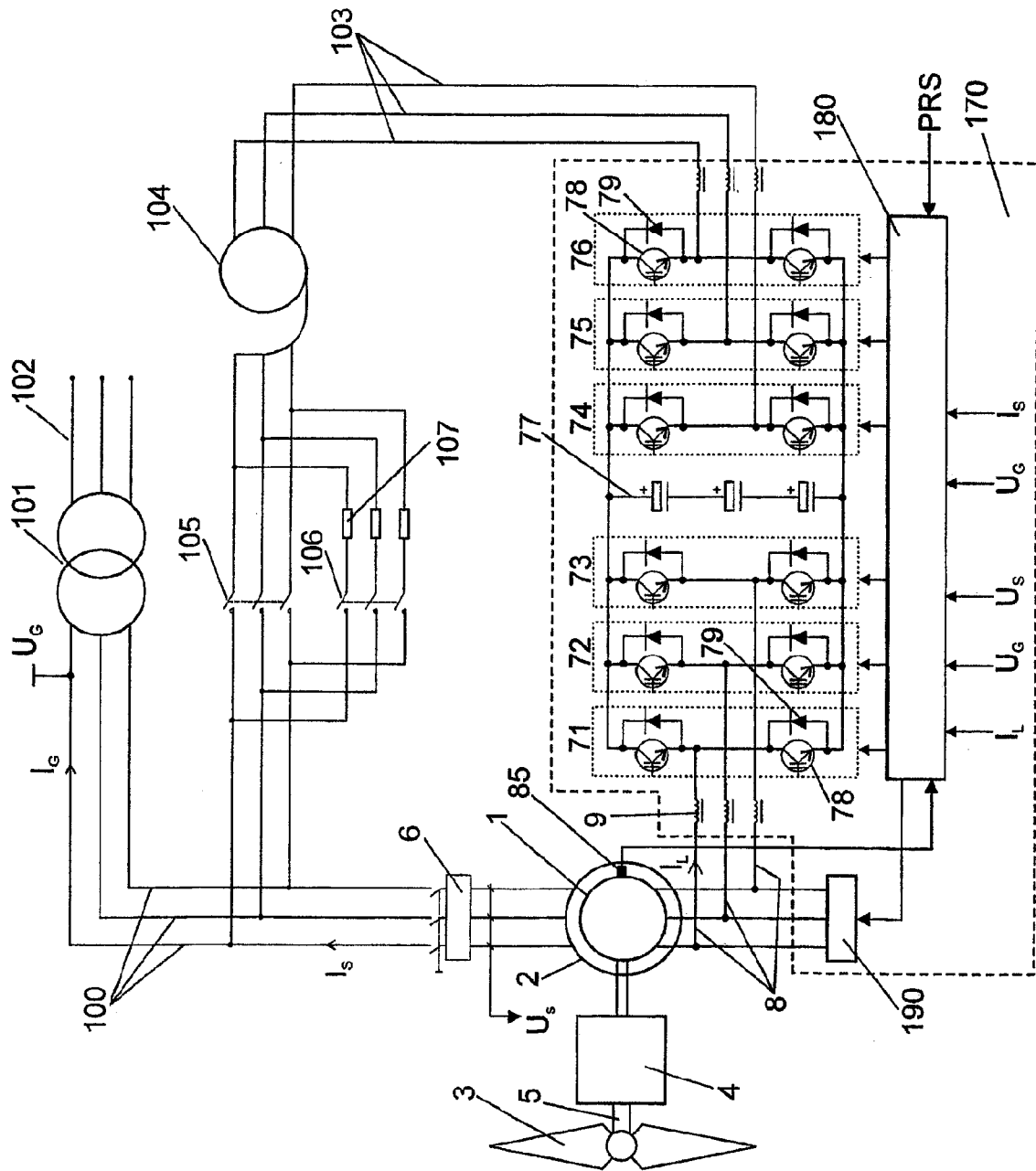


图 5

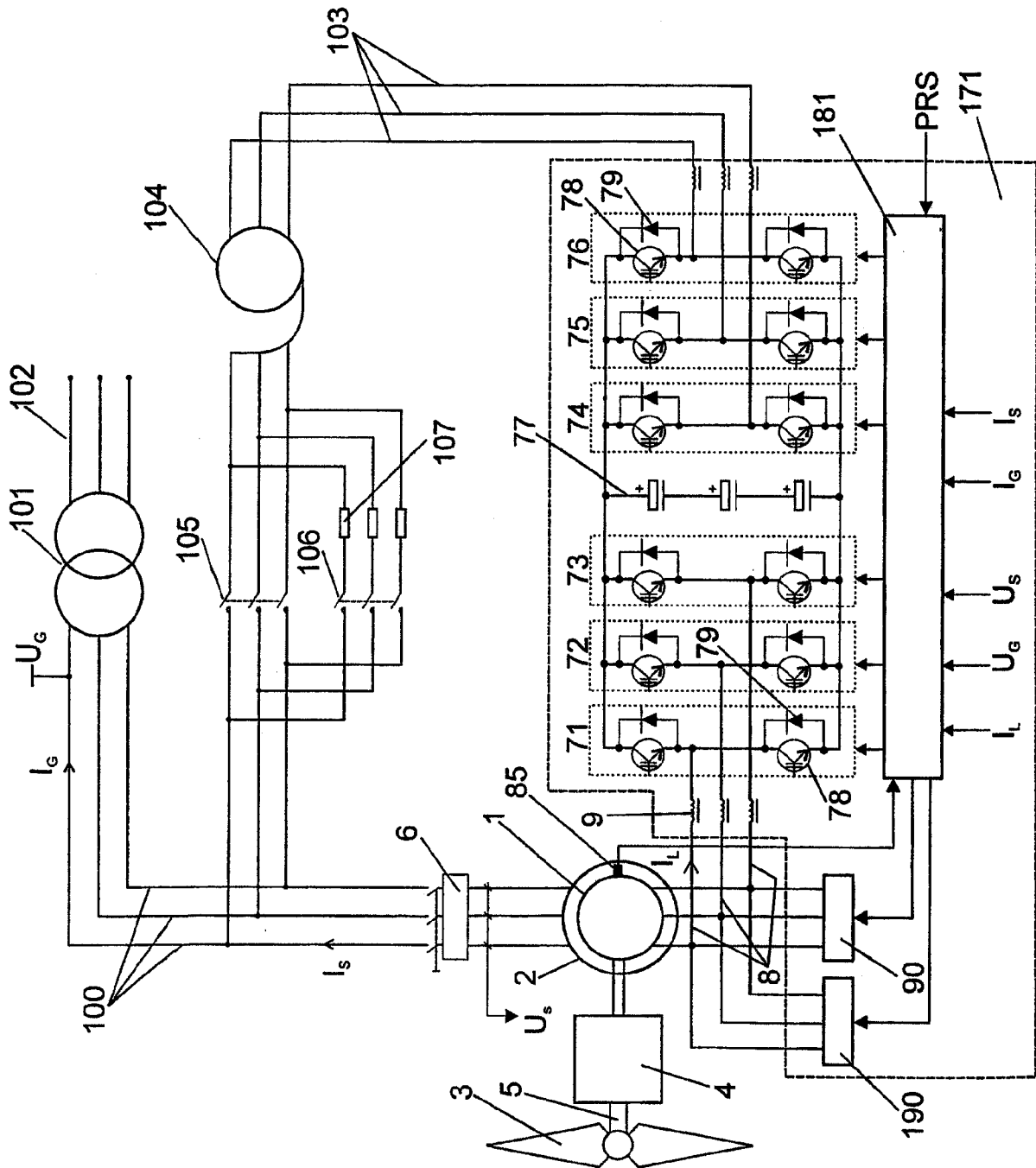


图6

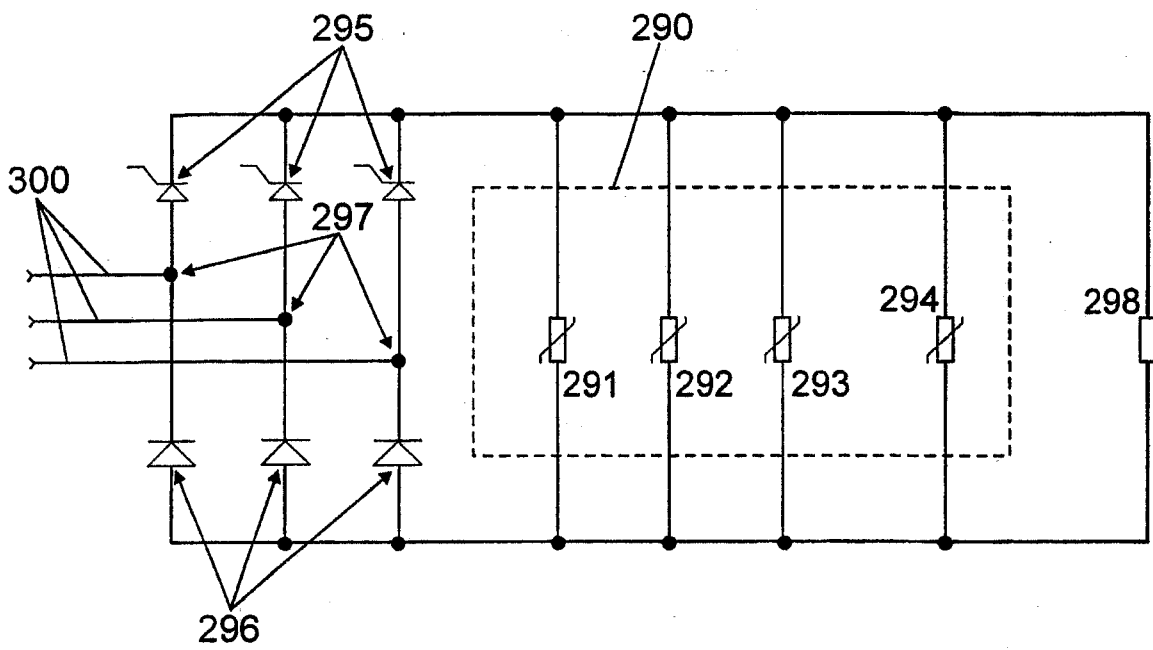


图 7