



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102016301 B

(45) 授权公告日 2013. 03. 06

(21) 申请号 200980116177. 5

(22) 申请日 2009. 03. 26

(30) 优先权数据

1020080226173 2008. 05. 07 DE

(85) PCT申请进入国家阶段日

2010. 11. 05

(86) PCT申请的申请数据

PCT/EP2009/053616 2009. 03. 26

(87) PCT申请的公布数据

W02009/135728 DE 2009. 11. 12

(73) 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 马克·希勒 诺贝特·克拉斯森

特奥多尔·扎尔茨曼 赖纳·佐默

(74) 专利代理机构 北京康信知识产权代理有限公司 11240

代理人 李慧

(51) Int. Cl.

F03D 9/00(2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2005/114830 A1, 2005. 12. 01, 全文.

WO 03/025390 A1, 2003. 03. 27, 全文.

EP 1276224 A1, 2003. 01. 15, 全文.

CN 1395655 A, 2003. 02. 05, 全文.

WO 97/45908 A1, 1997. 12. 04, 全文.

CN 1894502 A, 2007. 01. 10, 全文.

审查员 李宏利

权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 8 页

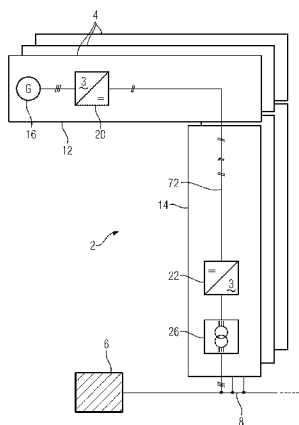
(54) 发明名称

风电设备和包括复数个风电设备的风电场

(57) 摘要

本发明涉及一种风电设备 (4), 由一布置在一塔架 (14) 上的机舱 (12) 构成且包括一转子 (28)、一发电机 (16)、一发电机侧换流器 (20)、一网侧换流器 (22) 和一变压器 (26), 其中, 所述这两个换流器 (20, 22) 在直流电压侧彼此电性相连, 所述网侧换流器 (22) 在交流电压侧通过所述变压器 (26) 与一接收电能的网络 (6) 的一馈电点 (8) 相连。根据本发明, 所述网侧换流器 (22) 的每个相位模块 (74) 均具有一上阀臂和一下阀臂 (T1, T3, T5 ; T2, T4, T6), 所述上阀臂和所述下阀臂各具有至少两个串联的两极子系统 (76), 所述发电机侧换流器 (20) 和所述网侧换流器 (22) 在直流电压侧通过一直流电缆 (72) 彼此相连。由此获得一种由复数个风电设备 (4) 构成的风电场 (2), 与已知的直流方案相比, 这种风电场结构灵活, 并且每个风电设备 (4) 的机舱 (12) 的自重更轻。

CN 102016301 B



1. 一种风电设备(4),由一布置在一塔架(14)上的机舱(12)构成且包括一转子(28)、一发电机(16)、一发电机侧换流器(20)、一网侧换流器(22)和一变压器(26),其中,所述这两个换流器(20,22)在直流电压侧彼此电性相连,所述网侧换流器(22)在交流电压侧通过所述变压器(26)与一接收电能的网络(6)的一馈电点(8)相连,其特征在于,

所述网侧换流器(22)的每个相位模块(74)均具有一上阀臂和一下阀臂(T1, T3, T5 ; T2, T4, T6),所述上阀臂和所述下阀臂各具有至少两个串联的两极子系统(76),以及

所述发电机侧换流器(20)和所述网侧换流器(22)在直流电压侧通过一直流电缆(72)彼此相连。

2. 根据权利要求1所述的风电设备(4),其特征在于,

所述发电机侧换流器(20)采用二极管整流器。

3. 根据权利要求1所述的风电设备(4),其特征在于,

所述发电机侧换流器(20)的每个相位模块(74)均具有一上阀臂和一下阀臂(T1, T3, T5 ; T2, T4, T6),所述上阀臂和所述下阀臂各具有至少两个串联的两极子系统(76)。

4. 根据上述权利要求中任一项权利要求所述的风电设备(4),其特征在于,

每个两极子系统(76)均具有两个串联的可断半导体开关(78,80)和一存储电容器(86),其中,所述两个串联的可断半导体开关(78,80)所组成的串联电路与所述存储电容器(86)并联,所述两个可断半导体开关(78,80)的一连接点构成所述两极子系统(76)的一接线端子(X2,X1),所述存储电容器(86)的一个极构成所述两极子系统(76)的一其他接线端子(X1,X2)。

5. 根据权利要求4所述的风电设备(4),其特征在于,

所述可断半导体开关(78,80)采用绝缘栅双极晶体管 IGBT。

6. 根据上述权利要求1所述的风电设备(4),其特征在于,

所述网侧换流器(22)与交流电压侧的所述变压器(26)一起布置在所述风电设备(4)的塔架(14)中。

7. 根据权利要求1所述的风电设备(4),其特征在于,

所述发电机侧换流器(20)与交流电压侧的所述发电机(16)一起布置在所述风电设备(4)的机舱(12)中。

8. 一种风电场(2),其包括至少两个风电设备(4)和一网侧换流站(48),所述风电设备(4)各具有一转子(28)、一发电机(16)、一发电机侧换流器(20),所述网侧换流站具有一自换相换流器(88)和一在交流电压侧连接在所述自换相换流器下游的变压器(26),其中,所述这些风电设备(4)和所述网侧换流站(48)在直流电压侧彼此相连,其特征在于,

所述网侧换流站(48)的自换相换流器(88)的每个相位模块(76)均具有一上阀臂和一下阀臂(T1, T3, T5 ; T2, T4, T6),所述上阀臂和所述下阀臂各具有至少两个串联的两极子系统(76),所述发电机侧换流器(20)和所述网侧换流站(48)的自换相换流器(88)通过直流电缆(72,92)彼此相连。

9. 根据权利要求8所述的风电场(2),其特征在于,

每个风电设备(4)的发电机侧换流器(20)均采用二极管整流器。

10. 根据权利要求8所述的风电场(2),其特征在于,

每个风电设备(4)的一发电机侧换流器(20)的每个相位模块(76)均具有一上阀臂和

一下阀臂(T1, T3, T5 ;T2, T4, T6),所述上阀臂和所述下阀臂各具有至少两个串联的两极子系统(76)。

11. 根据权利要求 8 至 10 中任一项权利要求所述的风电场(2),其特征在于,

每个两极子系统(76)均具有两个串联的可断半导体开关(78,80)和一存储电容器(86),其中,所述这个串联电路与所述存储电容器(86)并联,所述两个可断半导体开关(78,80)的一连接点构成所述两极子系统(76)的一接线端子(X2, X1),所述存储电容器(86)的一极构成所述两极子系统(76)的一其他接线端子(X1, X2)。

12. 根据权利要求 11 所述的风电场(2),其特征在于,

所述可断半导体开关(78,80)采用绝缘栅双极晶体管。

13. 根据权利要求 8 所述的风电场(2),其特征在于,

每个风电设备(4)的一发电机侧换流器(20)均与一对应的交流电压侧的所述发电机(16)一起布置在一风电设备(4)的一机舱(12)中。

14. 根据权利要求 8 所述的风电场(2),其特征在于,

每个风电设备(4)的一发电机侧换流器(20)均布置在一风电设备(4)的塔架(14)中,每个风电设备(4)的一发电机(16)则均布置在一风电设备(4)的一机舱(12)中。

## 风电设备和包括复数个风电设备的风电场

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种风电设备和一种由复数个这种风电设备构成的风电场。

### 背景技术

[0002] 风电场的风电设备的作用是利用风这种随机的一次能源载体产生电能并将这些电能馈入区域电网。

[0003] DE 19620906A1 揭示一种如图 1 所示的风电场 2 的方案。这种已知方案是一种分布式三相方案,因为风电场 2 中每一个风电设备 4 所产生的电能都被馈入区域电网 6。由于区域电网 6 任何一个风电场馈电点 8 上的升压幅度都不得超过 4%,这就会使得最高风电产能取决于风电场馈电点 8 与电网 6 的变电站之间的距离。图示风电场 2 具有三个风电设备 4,这些风电设备各具有一个机舱 12 和一个塔架 14。机舱 12 以可旋转的方式安装在塔架 14 上,具有发电机 16、发电机侧滤波器 18、发电机侧换流器 20、网侧换流器 22、网侧滤波器 24 和变压器 26。两个换流器 20 和 22 在直流电压侧通过电压中间电路彼此导电相连。这样,两个换流器 20 和 22 和该电压中间电路就共同构成一个电压中间电路变换器。

[0004] Björn Andresen 和 Jens Birk 在其发表于奥尔堡 EPE 2007 会议论文集的“A high power density converter system for the Gamesa G10x4, 5MW Windturbine(用于 Gamesa G10x4. 5MW 风力涡轮机的高功率密度转换系统)”一文描述了布置在风电设备 4 的机舱 12 中的电压中间电路变换器的一种结构。在该文所描述的电压中间电路变换器中,两个换流器 20 和 22 实施为自换相脉冲换流器。为了将换流器 20、22 所产生的谐波分别与发电机 16 或电网 6 隔离,发电机侧和网侧各设有一个滤波器 18、24。网侧变压器 26 的作用则是使产生的变换器输出电压与区域电网的额定电压相匹配。

[0005] 如该文所述,发电机 16 的转子侧直接或通过传动装置与风电设备 4 的转子相连。如果发电机 16 采用的是同步发电机,就不必使用该传动装置,这样可以减轻机舱 12 的重量。为清楚起见,本案图 1 对转子未予图示。

[0006] 图 2 展示的是风电场 2 三相电流方案的第二实施方式。这种实施方式与图 1 所示实施方式之间的区别在于,风电设备 4 的电气设备布置在塔架 14 而非机舱 12 中。风电设备 4 的这种实施方式公开在发表于 [www.abb.com/powerelectronics](http://www.abb.com/powerelectronics) 网站的“ABB Advanced Power Electronics—MV full power wind converter for Multibrid M5000 turbine(ABB 先进电力电子技术——用于 Multibrid M5000 涡轮机的中压全功率风能转换器)”一文中。设备组件 18、20、22、24 和 26 布置在风电设备 4 的塔架 14 的底部区域内。这样,风电场 2 每一个风电设备 4 的机舱 12 中只剩下了发电机 16。

[0007] DE 19620906A1 揭示一种包含有 n 个风电设备 4 的风电场 2。这种已知风电场 2 的每个风电设备 4 均具有转子叶片可调的转子 28、同步发电机 30、整流器 32 和滤波扼流圈 34。同步发电机 30 与转子 28 直接耦合且具有两个彼此成 30° 导电偏置的定子绕组,这些定子绕组分别与整流器 32 的一个子整流器 36 导电相连。同步发电机 30 可具有永磁激励系统或压控激励系统。整流器 32 实施为多脉冲式,例如 12 脉冲。滤波扼流圈 34 例如布置

在正极输出线 38 中。这条正极输出线 38 和一负极输出线 40 可分别借助一个断路器 42 从正极母线和负极母线 44 和 46 上断开。这两个母线 44 和 46 在风电场 2 的 n 个风电设备的直流侧将其并联起来。

[0008] 在风电场 2 如图所示的这种直流方案中,网侧换流站 48 紧邻区域电网 6 的变电站 50 布置。这个网侧换流站 48 具有滤波扼流圈 52、逆变器 54、匹配变压器 56 和滤波器 58。逆变器 54 和任何一个风电设备 4 的整流器 32 一样由两个子逆变器 60 构成。逆变器 54 的脉冲数与整流器 32 的脉冲数一致。每个子逆变器 60 在交流电压侧均与匹配变压器 56 的一个二次绕组导电相连,其中,该匹配变压器的一次绕组与变电站 50 的母线 62 导电相连。滤波器 58 也连接在这个母线 62 上。滤波扼流圈 52 例如布置在逆变器 54 的正极输入线 64 中。正极输入线 64 和负极输入线 66 通过直流传输设备 68 与并联风电设备 4 的正、负极母线 44 和 46 导电相连。直流传输设备 68 可以是两条直流传输线或一个直流电缆。

[0009] 每个风电设备 4 的整流器 32 的换流阀和网侧换流站 48 的逆变器 54 的换流阀均采用晶闸管。整流器 32 的作用是调节功率,逆变器 54 的作用是调节三相电压。这种 n 个换流站的连接方案相当于一个多点高压直流输电网络。

[0010] “Offen für Offshore-HVDC Light-Baustein einer nachhaltigen elektrischen Energieversorgung(海上风电——轻型高压直流输电——影响深远的供电模块)”一文揭示了一种用直流电缆代替三相电缆的海上风电场。这个直流电缆两端各设一功率换流器,其交流电压侧各配一电力变压器。功率换流器采用由中压型电压中间电路变换器构成的已知 IGBT 换流器。中间电路电容器由两部分构成且分别与一个 IGBT 换流器的直流电压接点并联。这种风电场中总有一个风电设备具有发电机侧 IGBT 换流器,该风电设备的网侧 IGBT 换流器则整合在网侧换流站的 IGBT 换流器中。这种风电场的风电设备的 IGBT 换流器在直流电压侧通过直流电缆与网侧换流站的 IGBT 换流器相连。这种直流方案可以使风电场(尤其是海上风电场)的风电设备与网侧换流站之间的距离超过 140km。

[0011] Lena Max 和 Torbjörn Thiringer 发表于奥尔堡 EPE 2007 会议论文集的“Control method and snubber selection for a 5MW wind turbine single active bridge DC/DC converter(5MW 风力涡轮机单有源电桥 DC/DC 转换器的控制方法和缓冲器选择)”一文揭示了风电场直流电压方案的另一种实施方式。在这种实施方式中,每个风电设备均具有发电机、发电机侧换流器和直流电压转换器。多个风电设备通过其他直流电压转换器与一直流电压转换器相连,这个直流电压转换器在区域电网的风电场馈电点上通过直流电缆与网侧逆变器相连。每个风电设备的发电机侧换流器采用的不是二极管整流器就是自换相 IGBT 换流器。

## 发明内容

[0012] 本发明的目的是对风电设备和由复数个这种风电设备构成的风电场进行改进,以便减少设备组件数量。

[0013] 根据本发明,这个目的通过权利要求 1 和权利要求 8 所包含的区别特征而达成。

[0014] 根据本发明,风电设备的网侧换流器采用包含复数个分布式储能器的换流器。这种换流器的每个阀臂均具有至少两个两极子系统,这些两极子系统各具有一储能器且彼此串联。为了能够不再使用输出滤波器,每阀臂各设至少十个串联的两极子系统。根据两极

子系统的数量,换流器输出电压也会上升。这样就可以视情况而无需使用匹配变压器。

[0015] 这种包含复数个分布式储能器的换流器的另一优点是,该换流器的每个阀臂均可具有冗余两极子系统。当部分两极子系统发生故障时,这样可以确保正常工作完全不受影响,从而使所述风电设备的可用性得到改善。

[0016] 在电压中间电路变换器的负载侧换流器采用包含复数个分布式储能器的换流器的情况下,该电压中间电路变换器的电压中间电路不再具有任何储能器。因此,这个电压中间电路不必再采用低电感设计,风电设备发电机侧换流器与网侧换流器的直流电压侧连接可以采用直流电缆。此外与电压中间电路具有储能器的电压中间电路变换器相比,上述电压中间电路变换器发生中间电路短路的概率极低,借此可确保故障情况下设备的性能稳定。此外,所述风电设备的电压中间电路变换器的发电机侧换流器的换流阀不必再针对低电阻中间电路短路所引起的短路电流而采取相应设计。也就是说,可以大幅降低这些换流阀的  $i^2t$  要求。

[0017] 用复数个如本发明所述的这种风电设备建立风电场时,将所有风电设备包含复数个分布式储能器的网侧换流器都合并成布置在一网侧换流站中的一个包含复数个分布式储能器的换流器,其中,所述网侧换流站有利地紧邻风电场馈电点布置。在此情况下,本发明风电场的每个风电设备仅具有发电机和连接在该发电机下游的换流器,并且该发电机侧换流器有利地布置在每个风电设备的塔架的底部区域。借此可大幅减轻本发明风电场的风电设备每一个机舱的重量。另外,借此还能简化所述风电场每个风电设备的塔架结构。

[0018] 根据本发明风电设备的一种有利实施方式,所述发电机侧换流器采用包含复数个分布式储能器的换流器。通过在所述风电设备的电压中间电路变换器的发电机侧使用包含复数个分布式储能器的换流器且该换流器的每个阀臂均使用复数个两极子系统,可以使用绕组绝缘要求相对较低的发电机。通过减小发电机绕组绝缘层的厚度,可使绕组的冷却性能得到改善。

[0019] 所述风电设备的其他有利实施方式可从从属权利要求 4 至 7 中获得,所述风电场的其他有利实施方式可从从属权利要求 9 至 14 中获得。

[0020] 下文将借助附图所示的风电场风电设备的几种实施方式对本发明予以进一步说明。

## 附图说明

[0021] 图 1 为风电设备已知三相方案的第一实施方式;

[0022] 图 2 为图 1 所示已知三相方案的第二实施方式;

[0023] 图 3 为风电场已知直流方案的一种实施方式;

[0024] 图 4 为本发明风电设备的第一实施方式;

[0025] 图 5 为包含复数个分布式储能器的换流器的电路图;

[0026] 图 6 和图 7 为图 5 所示换流器的两极子系统的实施方式;

[0027] 图 8 为本发明用于风电场的风电设备的第二实施方式;以及

[0028] 图 9 为本发明用于该风电场的风电设备的第三实施方式。

## 具体实施方式

[0029] 图 1 对本发明用于一风电场 2 的风电设备 4 的第一实施方式进行了详细图示。本发明的这种风电设备 4, 其机舱 12 中仅布置了发电机 16 和发电机侧换流器 20。机舱 12 以可旋转的方式安装在这个风电设备 4 的塔架 14 上, 网侧换流器 22 和又称为“匹配变压器”的交流侧变压器 26 布置在该塔架中。这两个设备组件 22 和 26 布置在塔架 14 的底部区域内。风电设备 4 通过这个变压器 26 连接在区域电网 6 的风电场馈电点 8 上。本发明的网侧换流器 22 采用的是包含复数个分布式储能器的换流器 70。图 5 对这种换流器 70 的电路图予以了详细展示。在将包含复数个分布式储能器的换流器 70 至少用作网侧换流器 22 的情况下, 由发电机侧换流器和网侧换流器 20 和 22 构成的电压中间电路变换器的电压中间电路不再具有电容器特别是电解电容器形式的储能器。因此, 这个电压中间电路不必再采用低电感设计, 两个换流器 20 和 22 的直流电压侧连接采用直流电缆 72。在最简单的情况下, 发电机侧换流器 20 是二极管整流器。有利方案是将该发电机侧换流器设计为四象限换流器。

[0030] 如果发电机侧换流器 20 也采用包含复数个分布式储能器的换流器 70, 就可使用绕组绝缘要求相对较低的发电机 16。这样可以改善该发电机 16 的绕组冷却性能。当这个发电机侧换流器 20 实施为包含复数个分布式储能器的换流器 70 时, 如果其具有数量较大的分布式储能器, 例如该换流器 70 的相位模块每阀臂各设至少十个储能器, 就不必再使用发电机侧滤波器 18。这样还能提高发电机电压, 从而达到减小每个风电设备 4 布置于其塔架 14 中的直流电缆 72 的导线设计电流这一目的。这个包含复数个分布式储能器的发电机侧换流器 70 也可进一步具有可以提高风电设备 4 可用性的冗余储能器。

[0031] 图 5 展示的是包含复数个分布式储能器的换流器 70 的电路图。这个换流器 70 具有三个直流电压侧并联的相位模块 74。这些相位模块 74 借助正极和负极直流电压母线  $P_0$  和  $N_0$  实现并联。在这两个直流电压母线  $P_0$  和  $N_0$  之间存在直流电压  $U_d$ 。直流电缆 72 的两条导线连接在该换流器 70 的这些直流电压母线  $P_0$  和  $N_0$  上。

[0032] 图 6 为两极子系统 76 的第一实施方式。这个两极子系统 76 具有两个可断半导体开关 78 和 80、两个二极管 82 和 84 以及一个单极存储电容器 86。两个可断半导体开关 78 和 80 串联, 这一串联电路又与存储电容器 86 并联。每个可断半导体开关 78 和 80 各与所述两个二极管 82 和 84 中的一个并联, 使得每个二极管均与对应的可断半导体开关 78 和 80 反向并联。两极子系统 76 的单极存储电容器 84 由一个电容器构成, 或者由复数个这样的电容器所组成的具有总电容  $C_0$  的电容器组构成。可断半导体开关 78 的发射极与二极管 82 的阳极的连接点构成子系统 76 的第一接线端子 X1。两个可断半导体开关 78 和 80 以及两个二极管 82 和 84 的连接点构成两极子系统 76 的第二接线端子 X2。

[0033] 在子系统 76 如图 7 所示的实施方式中, 这个连接点构成第一接线端子 X1。可断半导体开关 80 的漏极与二极管 84 的阴极为连接点构成两极子系统 76 的第二接线端子 X2。

[0034] 根据 Rainer Marquardt、Anton Lesnicar 和 Jürgen Hildinger 发表于 2002ETG 会议论文集的“Modulares Stromrichterkonzept für Netzkupplungsanwendung bei hohen Spannungen (高压联网用模块化换流器方案)”一文所述, 两极子系统 76 可呈现三种操作状态。在操作状态 I 下, 可断半导体开关 78 接通, 可断半导体开关 80 断开。在这种操作状态 I 下, 两极子系统 76 的端电压  $U_{x21}$  等于零。在操作状态 II 下, 可断半导体开关 78 断开, 可断半导体开关 80 接通。在这种操作状态 II 下, 两极子系统 76 的端电压  $U_{x21}$  等于存储电容

器 86 上的电压  $U_c$ 。在无故障的正常工作时只会使用到上述两种操作状态 I 和 II。在操作状态 III 下,两个可断半导体开关 78 和 80 都断开。

[0035] 图 8 对本发明用于一风电场 2 的风电设备 4 的第二实施方式进行了详细图示。这种实施方式与图 4 中第一实施方式之间的区别在于,设有一个用于该风电场 2 所有风电设备 4 的网侧换流器 88,这个网侧换流器包括交流电压侧变压器 26 且布置在区域电网 6 的变电站 50 中的网侧换流站 48 内。也就是说,风电场 2 所有风电设备 4 的网侧换流器 22 都合并成布置在换流站 48 中的这一个网侧换流器 88。在此情况下,风电场 2 的风电设备 4 不再是在交流电压侧与风电场馈电点 8 耦合,而是在直流电压侧与风电场馈电点 90 耦合。这样,每个风电设备 4 的直流电缆 70 均经由风电场馈电点 90 通过一其他直流电缆 92 与网侧换流站 48 相连。这个直流电缆 92 可以长达几百千米。亦即,风电场 2 的建立不再受限于电网馈入点的所在位置。风况是唯一的决定因素。此外,通过直流电缆 92 还可以将海上风电场与陆地上的区域电网连接起来。

[0036] 图 9 对本发明用于一风电场 2 的风电设备 4 的第三实施方式进行了详细图示。这种第三实施方式与图 8 中第二实施方式之间的区别在于,该风电场 2 每一个风电设备 4 的发电机侧换流器 20 均从机舱 12 转移到了相应塔架 14 的底部区域内。在此情况下,风电场 2 每一个风电设备 4 的机舱 12 中仅布置了发电机 16 和视情况需要使用的传动装置,如果发电机 16 采用的是永磁同步发电机,那么这个传动装置也可以予以去除。借此可大幅减轻风电设备 4 的机舱 12 的重量。由于机舱 12 以可旋转的方式安装在其塔架 14 上,因此随着机舱 12 的重量得到减轻,也可以使塔架 14 的结构得到简化。如此便可降低风电设备 4 的成本,进而降低用这种风电设备 4 建立起来的风电场 2 的成本。

[0037] 通过将包含复数个分布式储能器的换流器 70 用作每个风电设备 4 的网侧换流器 22 和发电机侧换流器 20 或者用作风电场 2 的网侧换流站 48 的网侧换流器 88,可实现一种比已知直流方案更为灵活机动的直流方案,从而能更好地满足风电场 2 的运营商的要求。此外,这种风电场 2 的成本大幅削减。另外还可以延长风电场 2 与区域电网 6 的变电站 50 之间的距离,这样在选择风电场 2 的建立地点时,只需考虑随机风能分布这一因素。

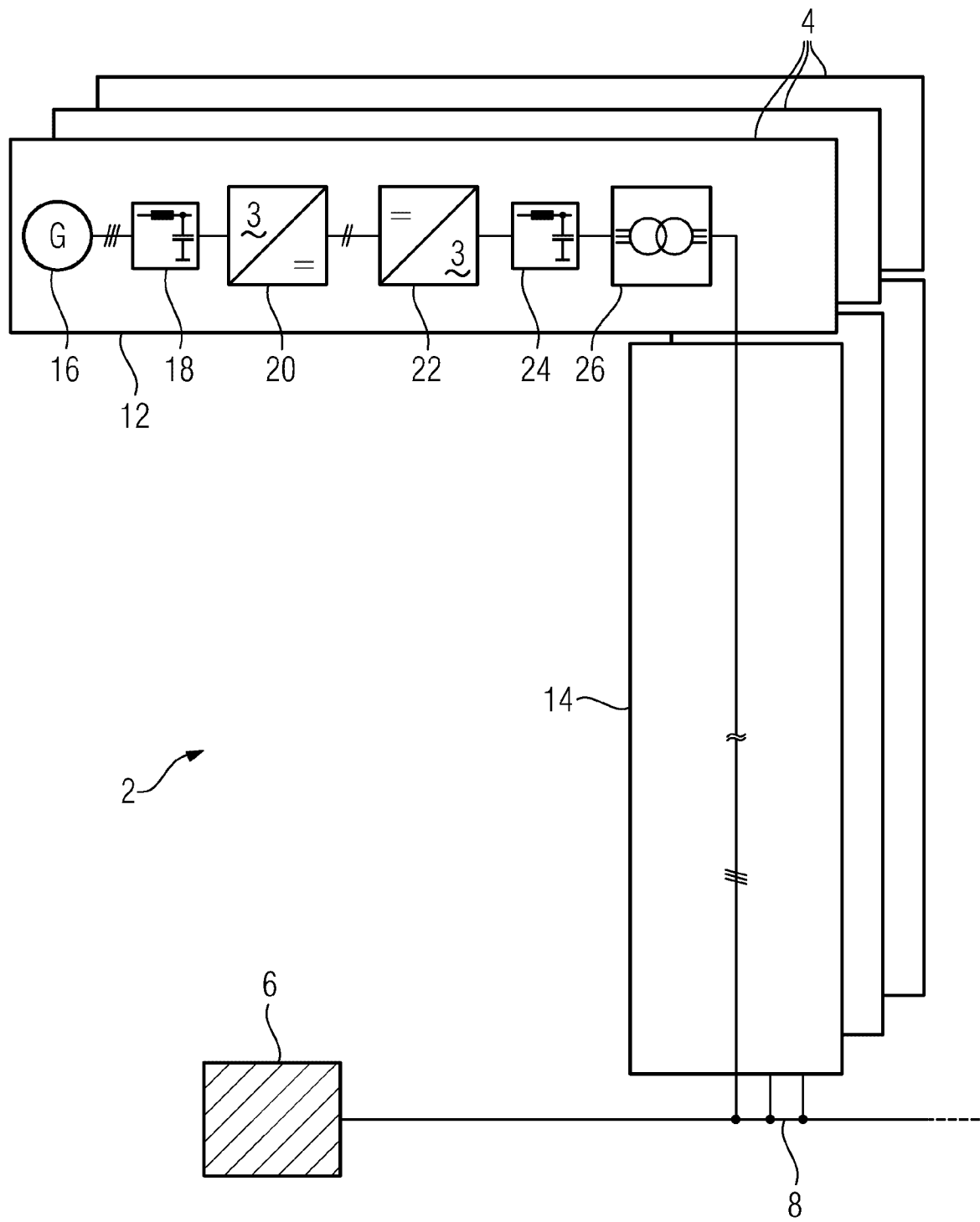


图 1

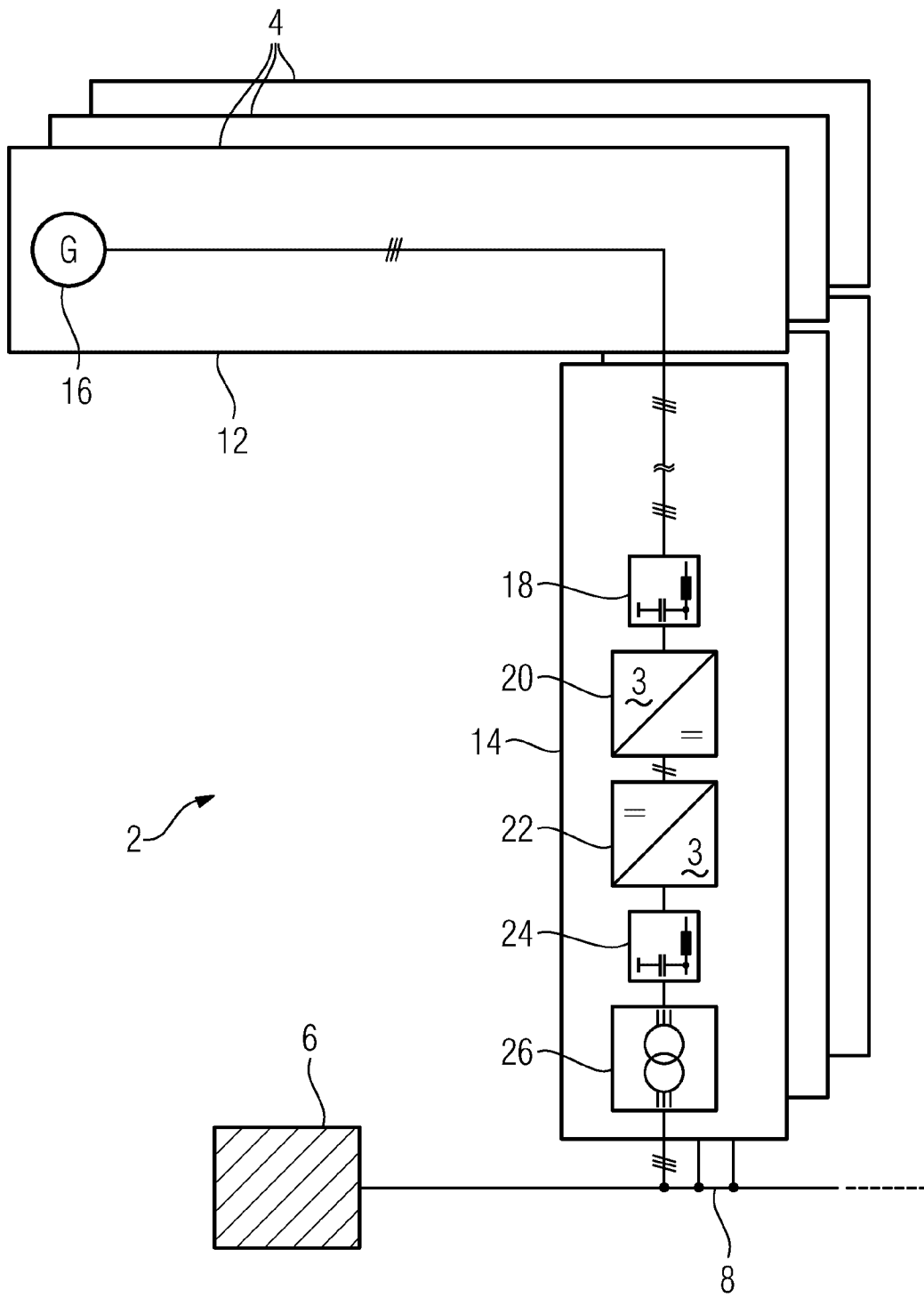


图 2

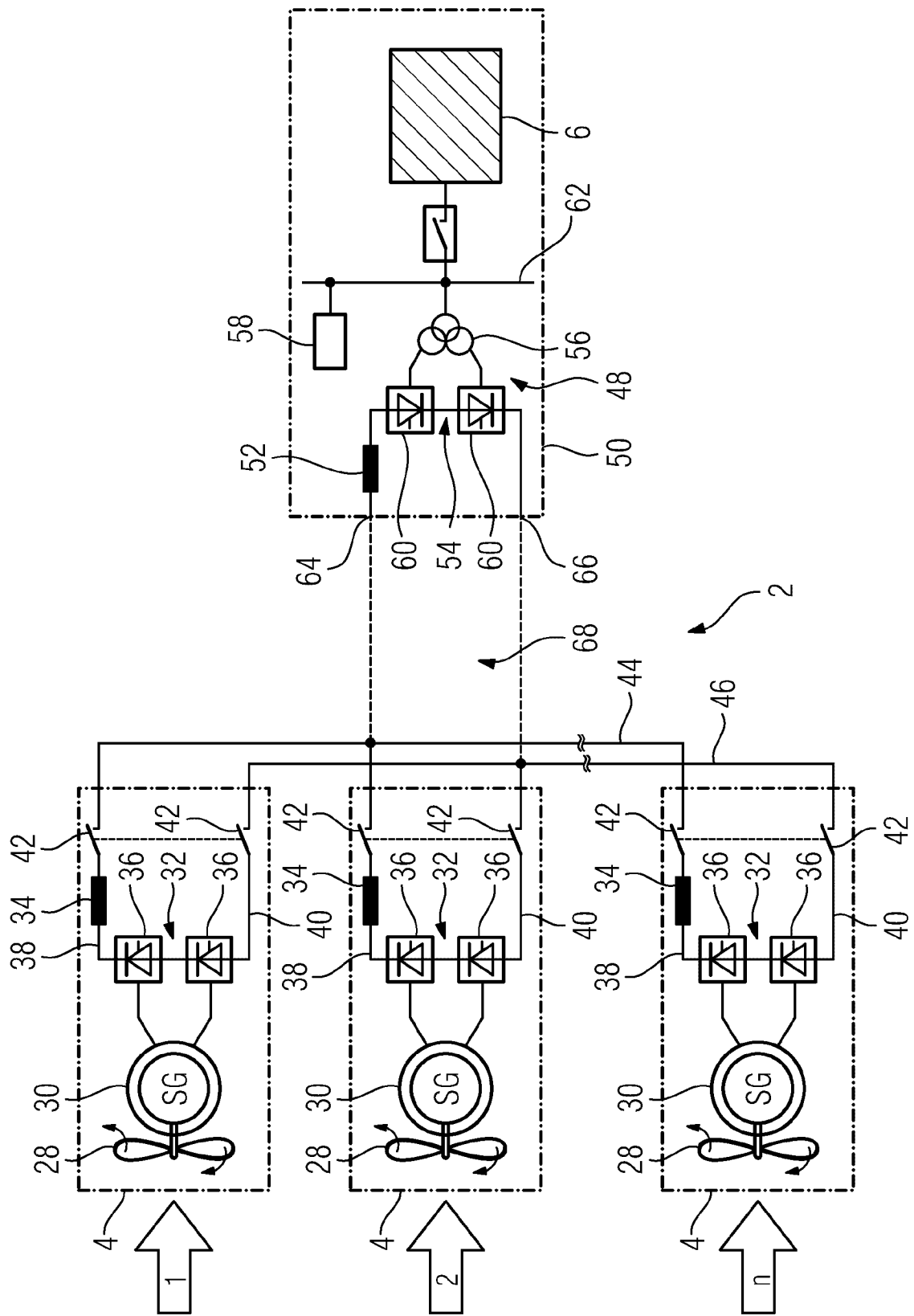


图 3

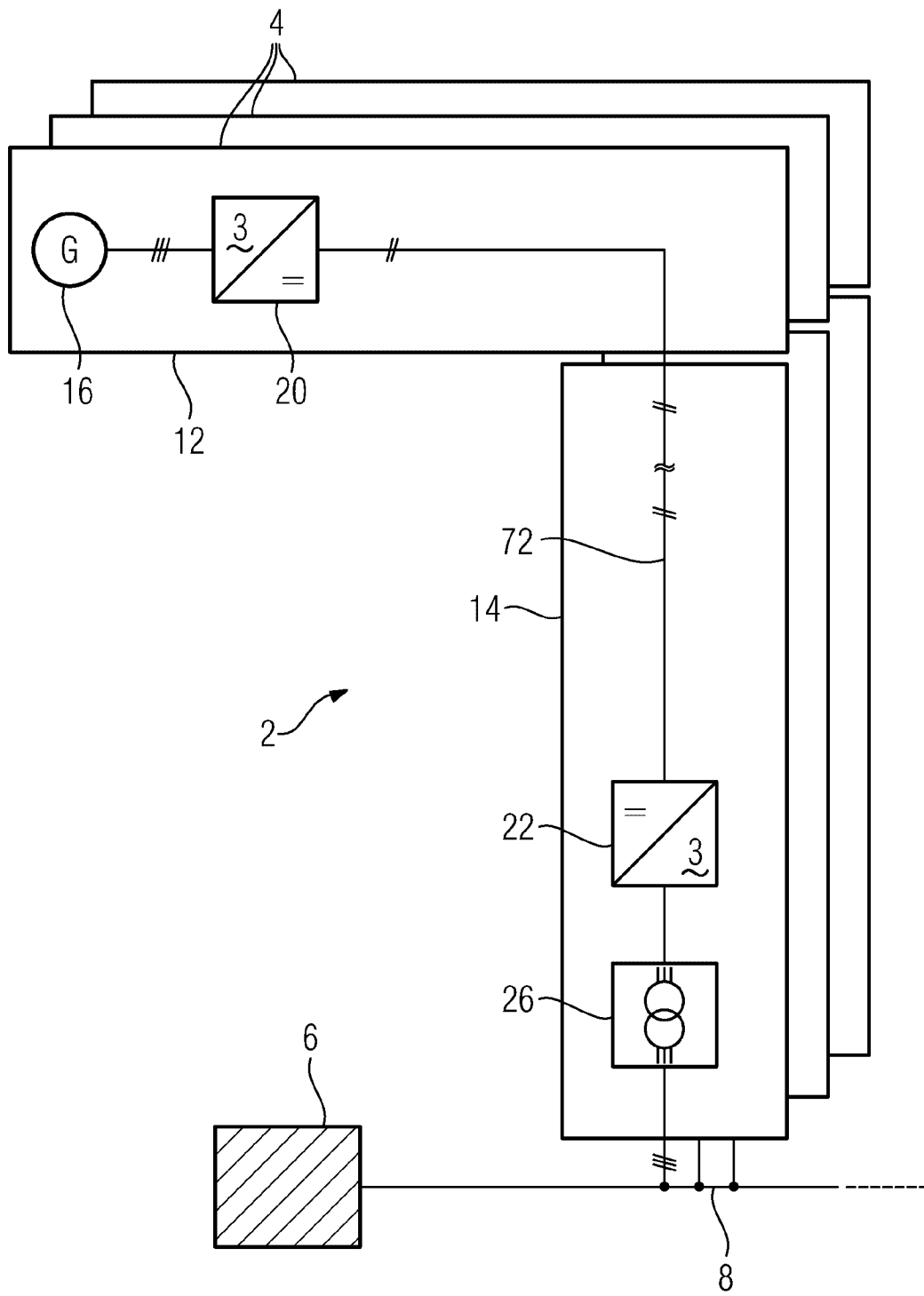


图 4

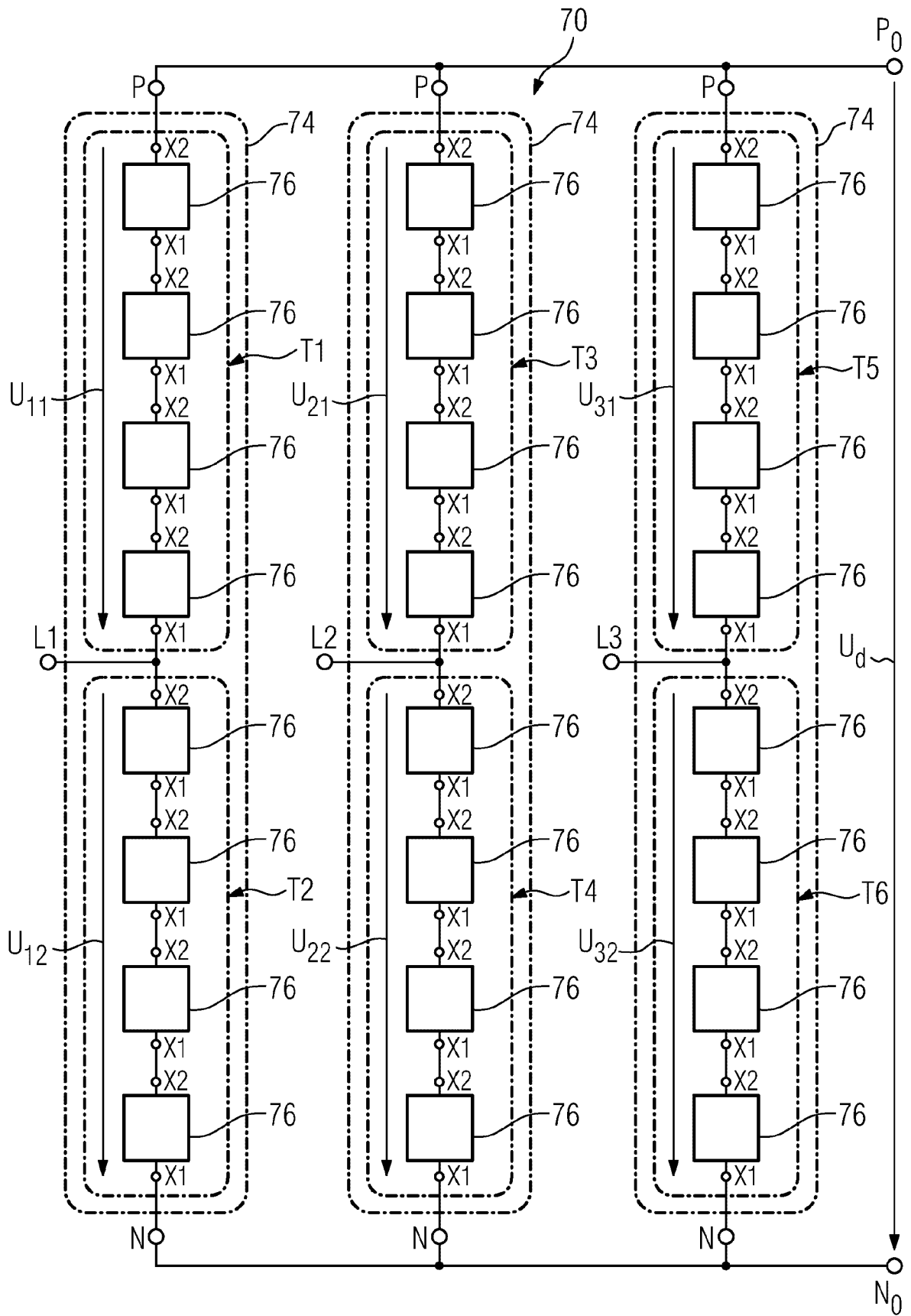


图 5

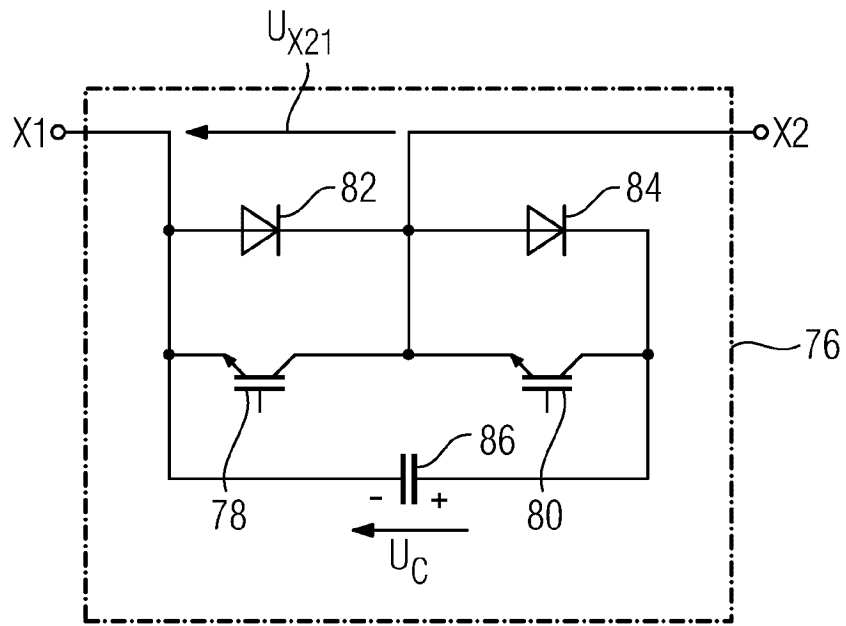


图 6

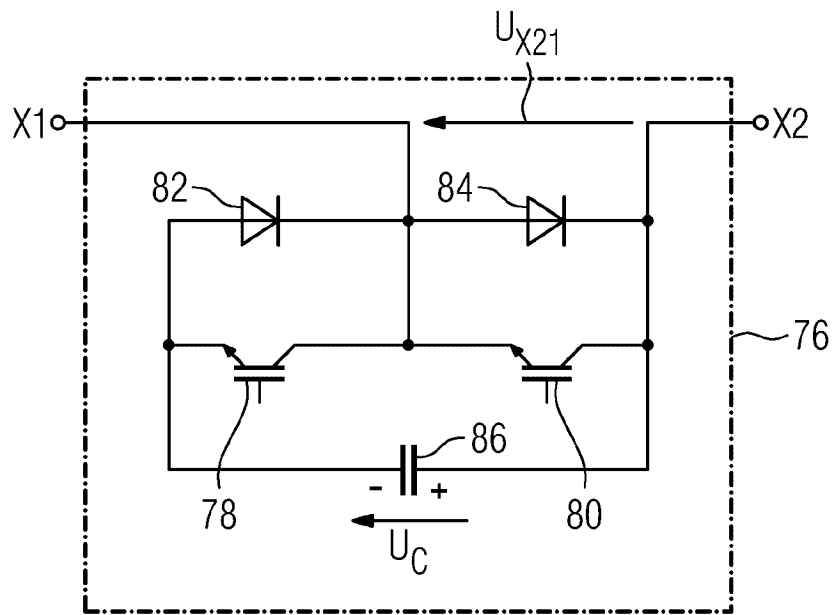


图 7

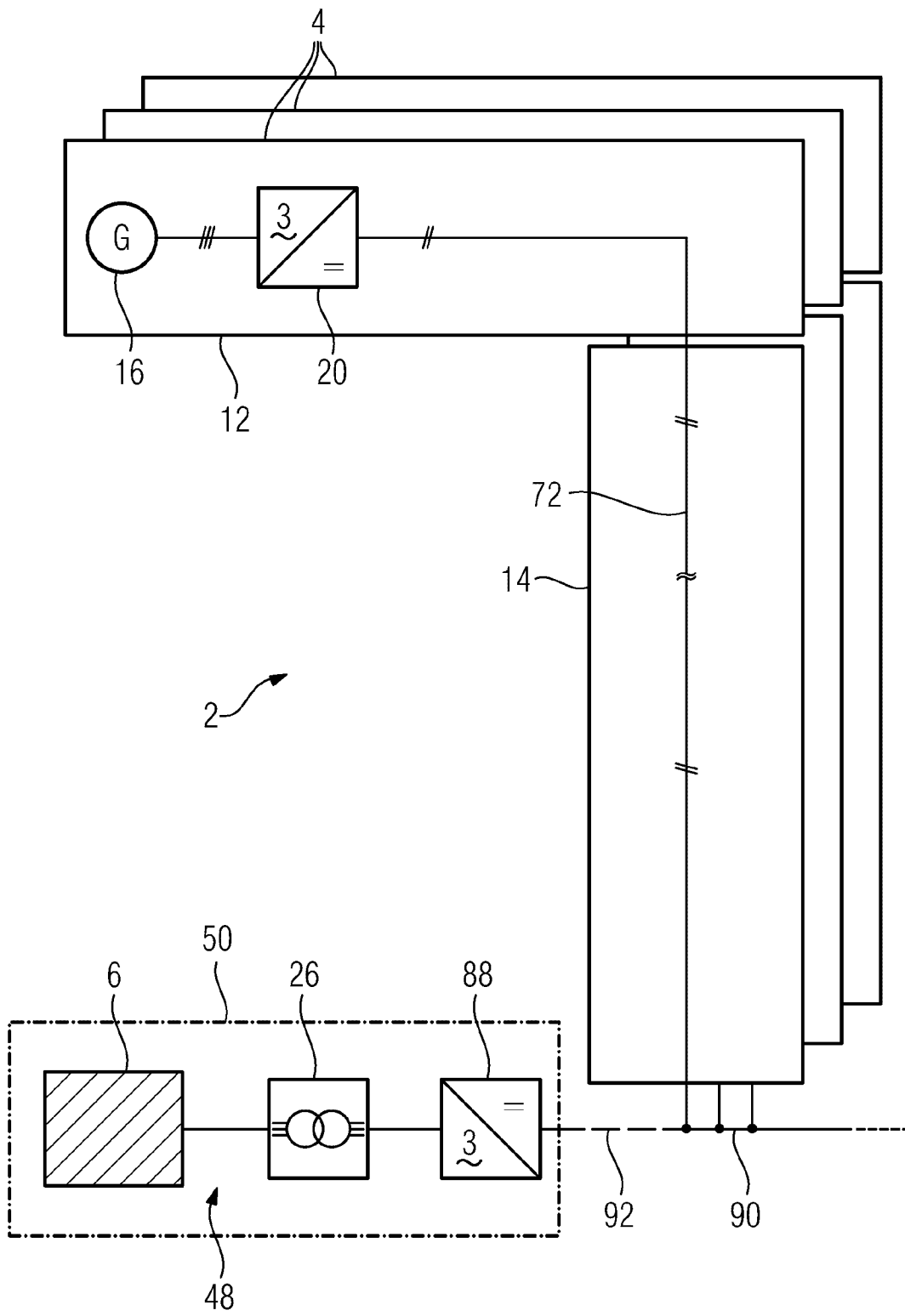


图 8

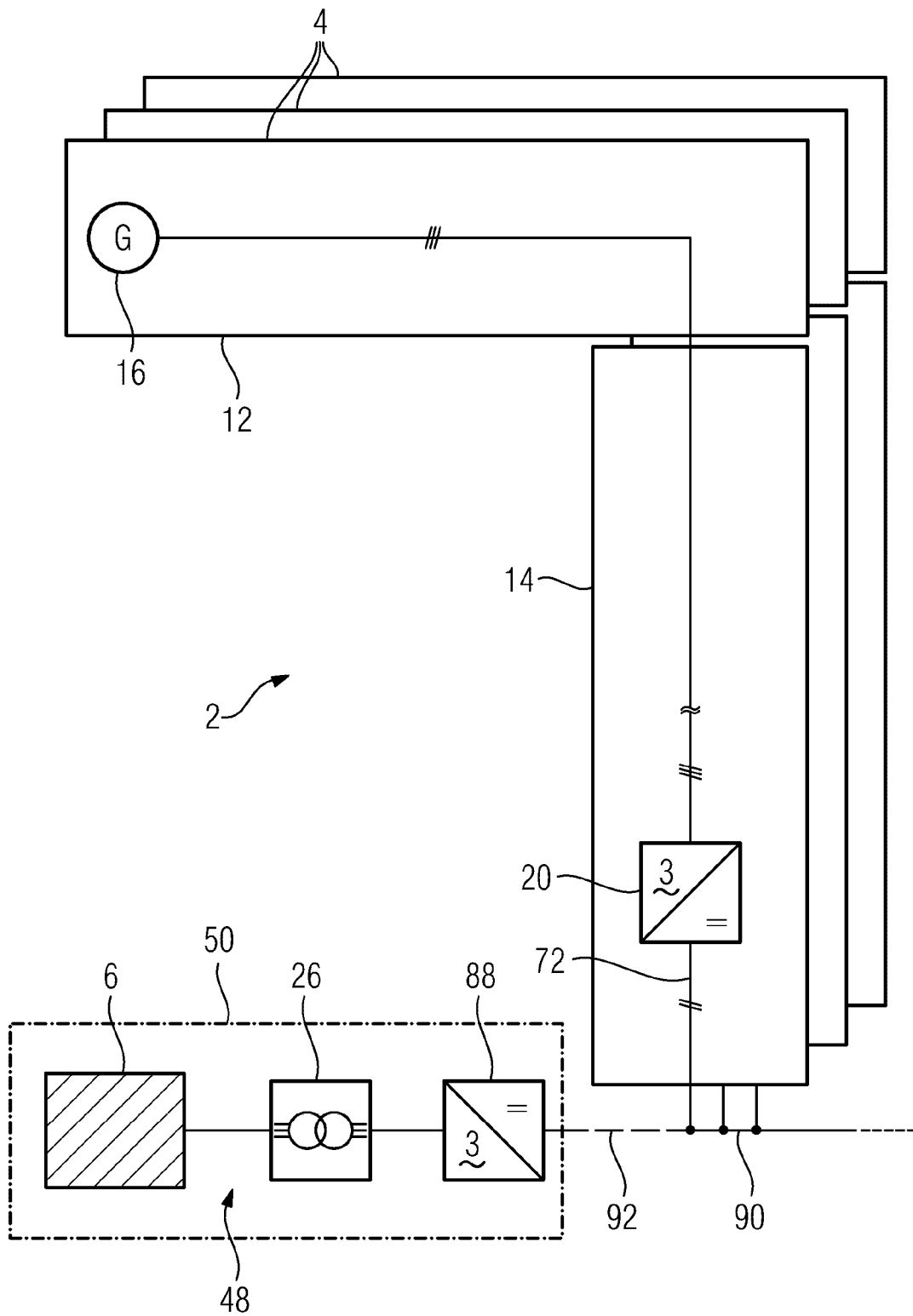


图 9