



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105684293 B

(45)授权公告日 2019.01.04

(21)申请号 201480060126.6

卡尔·大卫·巴尔克

(22)申请日 2014.07.24

(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 105684293 A

代理人 徐予红 付曼

(43)申请公布日 2016.06.15

(51)Int.Cl.

(30)优先权数据

H02M 7/483(2006.01)

13275200.7 2013.09.04 EP

H02J 3/36(2006.01)

(85)PCT国际申请进入国家阶段日  
2016.05.03

(56)对比文件

CN 103119818 A, 2013.05.22,

(86)PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2014/065981 2014.07.24

Grain P Adam, ET AL. Multi-terminal dc transmission system based on modular multilevel converter. 《UNIVERSITI ES POWER ENGINEERING CONFERENCE(UPEC) , 2009 PROCEEDINGS OF THE 44TH INTERNATIONAL》. 2009, 第1-5页.

(87)PCT国际申请的公布数据  
W02015/032547 EN 2015.03.12

(73)专利权人 通用电气技术有限公司  
地址 瑞士巴登

审查员 颜汇

(72)发明人 罗伯特·史蒂芬·怀特豪斯

权利要求书2页 说明书12页 附图3页

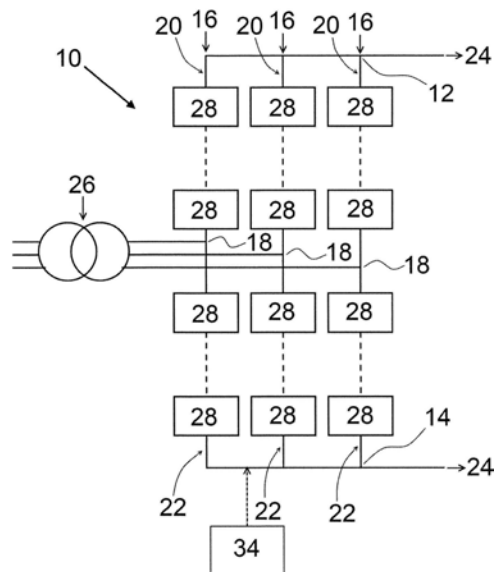
(54)发明名称

功率变换器

(57)摘要

一种模块化功率变换器(10)包括:第一端子(12,14),用于连接至第一电网(24);第二端子(18),用于连接至第二电网(26);至少一个模块(28),连接在第一与第二端子(12,14,18)之间,所述或每个模块(28)包括至少一个开关元件(30)和至少一个能量储存器件(32),所述或每个模块(28)中的所述或每个开关元件(30)和所述或每个能量储存器件(32)组合以选择性地提供电压源,所述或每个模块(28)中的所述或每个开关元件(30)是可切换的,以在第一与第二端子(12,14,18)之间传输电力;以及控制单元(34),被配置为选择性地控制所述或每个模块(28)中的所述或每个开关元件(30)的切换,以储存来自第一和第二端子(12,14,18)中的任何一个或两者或者将能量释放到第一和第二端子(12,14,18)中的任何一个或两者,以便对第一和第二端

子(12,14,18)处的各功率流去耦,从而抑制在第一和第二端子(12,14,18)中的一个处的功率流的调制对第一和第二端子(12,14,18)中的另一个处的功率流的改变。



1. 一种模块化功率变换器,包括:

第一端子,用于连接至第一电网,其中所述第一电网可以是AC电网或DC电网;

第二端子,用于连接至第二电网,其中所述第二电网可以是AC电网或DC电网;

至少一个模块,连接在所述第一端子与所述第二端子之间,所述或每个模块包括至少一个开关元件和至少一个能量储存器件,所述或每个模块中的所述或每个开关元件和所述或每个能量储存器件组合以选择性地提供电压源,所述或每个模块中的所述或每个开关元件能够切换以在所述第一端子与所述第二端子之间传输电力;以及

控制单元,被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换,以储存来自所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者,以便对所述第一端子和所述第二端子处的各功率流去耦,并且从而抑制在所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流的调制对所述第一端子和所述第二端子中的另一个处的功率流的变化;

其中对所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流的调制包括衰减至少一个功率振荡。

2. 根据权利要求1所述的模块化功率变换器,其中所述控制单元被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换,以对所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流进行调制。

3. 根据权利要求2所述的模块化功率变换器,其中所述控制单元被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换,以同时进行以下操作:

对所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流进行调制;以及

储存来自所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者,以便对所述第一端子和所述第二端子处的各功率流去耦,并且从而抑制功率流的所述调制对所述第一端子和所述第二端子中的另一个处的功率流的变化。

4. 根据任一前述权利要求所述的模块化功率变换器,包括:

一对DC端子,能够连接至DC电网;

至少一个变换器臂,在所述一对DC端子之间延伸且包括由AC端子分隔开的第一臂部和第二臂部,所述AC端子能够连接至AC电网,每个臂部包括至少一个模块,每个模块中的所述或每个开关元件能够切换以控制在AC端子处的AC电压的配置,从而在所述AC电网与所述DC电网之间传输电力,

其中所述一对DC端子限定所述第一端子并且所述AC端子限定所述第二端子,或者所述一对DC端子限定所述第二端子并且所述AC端子限定所述第一端子。

5. 根据权利要求1所述的模块化功率变换器,其中所述或每个能量储存器件为包括超级电容器或双电层电容器的电容器、蓄电池或燃料电池。

6. 一种电气组件,包括:

第一功率变换器,包括第一端子和第二端子,所述第一功率变换器的第一端子和第二端子中的一个能够连接至第一电网;

第二功率变换器,包括第一端子和第二端子,所述第二功率变换器的第一端子和第二端子中的一个能够连接至第二电网;以及

传输链路,用于操作性地互连所述第一功率变换器的第一端子和第二端子中的另一个以及所述第二功率变换器的第一端子和第二端子中的另一个;

其中所述第一功率变换器和所述第二功率变换器中的至少一个为根据任一前述权利要求所述的模块化功率变换器;

其中在所述第一功率变换器和所述第二功率变换器中的至少一个中的所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流的调制包括衰减至少一个功率振荡。

7. 根据权利要求6所述的电气组件,其中,当所述第一功率变换器和所述第二功率变换器中的一个为根据权利要求1到5中任一项所述的模块化功率变换器时,另一个功率变换器包括控制单元,其被配置为选择性地操作该功率变换器,以在对应的第一端子和对应的第二端子中的一个处进行功率流的调制;并且所述模块化功率变换器的控制单元被配置为选择性地控制所述或每个对应的模块中的所述或每个开关元件的切换,以储存来自对应的第一端子和对应的第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的第一端子和对应的第二端子中的任何一个或两者,以便对对应的第一端子和对应的第二端子处的各功率流去耦,从而抑制当所述另一个功率变换器被操作为在对应的第一端子和对应的第二端子中的一个处进行功率流的调制时,该调制对所述另一个功率变换器的对应的第一端子和对应的第二端子中的另一个处的功率流的改变。

8. 根据权利要求6或权利要求7所述的电气组件,包括多个功率变换器和多个传输链路,每个功率变换器的第一端子和第二端子中的一个能够连接至各个电网,每个功率变换器的第一端子和第二端子中的另一个经由所述多个传输链路中的对应的一个连接到至少另一个功率变换器的第一端子和第二端子中的另一个,其中所述多个功率变换器中的至少一个为根据权利要求1到5中任一项所述的模块化功率变换器。

9. 根据权利要求8所述的电气组件,其中,当所述多个功率变换器中的至少一个为根据权利要求1到5中任一项所述的模块化功率变换器时,至少另一个功率变换器包括控制单元,其被配置为选择性地操作该另一个功率变换器,以在对应的第一端子和对应的第二端子中的一个处进行功率流的调制;并且所述或每个模块化功率变换器的控制单元被配置为选择性地控制所述或每个对应的模块中的所述或每个开关元件的切换,以储存来自对应的第一端子和对应的第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的第一端子和对应的第二端子中的任何一个或两者,以便对对应的第一端子和对应的第二端子处的各功率流去耦,从而当所述或每个功率变换器被操作为在对应的第一端子和对应的第二端子中的一个处进行功率流的调制时,抑制该调制对所述或每个功率变换器的对应的第一端子和对应的第二端子中的另一个处的功率流的改变。

## 功率变换器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种模块化功率变换器。

### 背景技术

[0002] 在电力传输网络中,交流(AC)电力通常被转换为经由架空线路和/或海底电缆进行传输的直流(DC)电力。此转换不需要补偿由传输线路或电缆导致的AC电容性负载的影响,并因此降低了线路和/或电缆的每公里成本,当需要长距离传输电力时,从AC到DC的转换因而变得具有成本效益。

[0003] AC电力到DC电力的变换还用于需要互连在不同频率下运行的AC网络的电力传输网络。在任何这样的电气组件中,在AC电力与DC电力之间的每个交接处需要变换器来实现所需的变换,并且一种此类形式的变换器是功率变换器。

### 发明内容

[0004] 根据本发明的第一方案,提供一种模块化功率变换器,包括:

[0005] 第一端子,用于连接至第一电网;

[0006] 第二端子,用于连接至第二电网;

[0007] 至少一个模块,连接在所述第一端子与所述第二端子之间,所述或每个模块包括至少一个开关元件和至少一个能量储存器件,所述或每个模块中的所述或每个开关元件和所述或每个能量储存器件组合以选择性地提供电压源,所述或每个模块中的所述或每个开关元件是可切换的,以在所述第一端子与所述第二端子之间传输电力;以及

[0008] 控制单元,被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换,以储存来自所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者,以便对所述第一端子和所述第二端子处的各功率流去耦,从而抑制在所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流的调制对所述第一端子和所述第二端子中的另一个处的功率流的改变。

[0009] 为了此说明的目的,根据本发明的针对功率变换器的术语“模块化”的使用意在指包括根据本发明的功率变换器中的至少一个模块。

[0010] 应理解,第一电网和第二电网中的每个可以是AC电网或DC电网。因此,模块化功率变换器可以是AC-AC、AC-DC或DC-DC模块化功率变换器。

[0011] 包括模块化功率变换器中的控制单元使得能够控制所述或每个模块,以瞬时储存来自所述第一端子和第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到第一端子和第二端子中的任何一个或两者,以便对第一端子和第二端子处(并因此在第一电网和第二电网中)的各功率流去耦。因此,当对第一端子和第二端子处的功率流进行调制时(并因此当对第一电网和第二电网中的功率流进行调制时),对第一端子和第二端子处的各功率流的去耦抑制功率流的调制对第一端子和第二端子中的另一个中(并因此在第一电网和第二电网中的另一个中)的功率流的改变。这因此防止了由功率流的调制导致的第一电网和第二电

网中的另一个中的功率流的任何不期望的变化。

[0012] 实际上,所述或每个模块可以被设计为在其控制使得模块化功率变换器能够在第一端子与第二端子之间(并因此在第一电网与第二电网之间)传输电力的过程中使用小于其最大能量储存容量。这意味着所述或每个模块的任何未使用的能量储存能力在模块化功率变换器的操作期间可用于临时能量存储,以对第一端子和第二端子处的各功率流去耦。

[0013] 此外,在第一端子与第二端子之间传输电力以及使得能够对第一端子和第二端子处的各功率流去耦的功能均涉及所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换。

[0014] 因此,这不仅不需要改变所述或每个模块以使得模块化功率变换器能够执行这两种功能,而且用于执行这两种功能的所述或每个模块中的所述或每个开关元件的这种切换可以在相同的控制单元内实现,而无需显著的添加控制硬件以适应这两种功能。

[0015] 与此相反,省略模块化功率变换器中的控制单元意味着需要使用与模块化功率变换器分离的大型能量储存系统,以将电网与功率流的调制的影响隔离。大型能量储存系统的使用不仅为相关的电网增加尺寸、重量和成本,而且还存在许多其它问题(诸如维修中的经营损失、维护和可靠性和可用性方面的考虑),从而导致低效率和低可靠性的替代方案。

[0016] 根据本发明的模块化功率变换器的配置因此使得能够实现具有成本效率并且节省空间的模块化功率变换器,其不仅能够在第一端子与第二端子之间传输电力,而且还能够选择性地使得能够对第一端子和第二端子中的各功率流去耦,以便抑制在第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制对第一端子和第二端子中的另一个处的功率流的改变。

[0017] 可以针对各种目的(诸如优化功率流质量)对第一端子和第二端子中的一个处的功率流进行调制。

[0018] 在本发明的实施例中,在第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制可包括衰减至少一个功率振荡。这样的衰减可以通过调制在第一端子和第二端子中的一个处的功率流的幅值、频率和/或相来实现。

[0019] 电力系统由各种电力系统部件(诸如发电机、传输线路和负载)构成。因此,在各种电力系统部件之间存在多种可能的相互作用。通常,电力系统被设计为在电力系统部件之间的给定相互作用的特定频率下衰减。然而,在某些情况下,在电力系统部件之间的相互作用可能不会衰减,从而导致电力系统中的功率振荡的积累。功率振荡是在电力系统的有源电力系统部件之间的有功功率的交流。

[0020] 功率振荡的频率取决于相互作用的模式。对于单独的发电机之间或者多组发电机之间的相互作用(即次同步振荡),功率振荡的频率典型地处于1到2Hz的区间内。对于大面积电力系统之间的相互作用(即区间振荡),功率振荡的频率典型地在0.1Hz的区间内。

[0021] 如上所述,用于对第一端子和第二端子中的各功率流去耦的模块化功率变换器的能力使得任何功率流的调制能够衰减第一电网和第二电网中的一个中的至少一个功率振荡,以抑制对第一电网和第二电网中的另一个中的功率流改变。

[0022] 例如,当连接至模块化功率变换器的第一电网包括相对小、弱、低惯性AC电力系统(例如风力发电厂)时,模块化功率变换器的上述能力可能是有用的。在缺少对第一电网和第二电网的各功率流的去耦的情况下,第二电网中的任何功率流的调制将直接传送至弱、低惯性的AC电力系统中的功率流的调制。在弱的低惯性AC电力系统为风力发电厂的情况下,第二电网中的任何功率流的调制将直接传送至风力涡轮机的功率调制,其可具有对相

关联的发电机和机械结构的不良影响的频率。当前的风力涡轮机在阻尼电阻不消耗能量的情况下不能容易地吸收功率波动,这导致能量损失;或者在没有不停地改变其叶片桨距的情况下导致支撑(多个)风力涡轮机的塔的机械磨损和应力。

[0023] 当模块化功率变换器例如为AC-DC模块化功率变换器,且功率流的调制需要衰减模块化功率变换器的弱海上AC电力系统内的功率振荡时,模块化功率变换器的上述能力也可能是有用的。在缺少对第一电网和第二电网的各功率流的去耦的情况下,模块化功率变换器的AC侧处的这样的功率流的调制将导致在模块化功率变换器的DC侧的功率流的调制,而可能有不期望的后果。

[0024] 在本发明的另一个实施例中,控制单元可以被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换,以对第一端子和第二端子中的一个处的功率流进行调制。用这种方式配置控制单元实现了具有对第一端子和第二端子中的一个处的功率流进行调制的能力的模块化功率变换器,从而减少或避免了对于额外的功率流调制硬件的需要。

[0025] 在这样的实施例中,控制单元可以被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换,以同时进行以下操作:

[0026] 对所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流进行调制;以及

[0027] 储存来自所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到所述第一端子和所述第二端子中的任何一个或两者,以便对所述第一端子和所述第二端子处的各功率流去耦,从而抑制在所述第一端子和所述第二端子中的一个处的功率流的调制对所述第一端子和所述第二端子中的另一个处的功率流的变化。

[0028] 用于在第一端子和第二端子中的一个处同时进行功率流的调制和对第一端子和第二端子处的各功率流去耦的能力使得能够同步在第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制和对第一端子和第二端子处的各功率流去耦。

[0029] 根据本发明的模块化功率变换器可以根据相关联的电力应用的要求而出现各种不同的配置。例如,在本发明的实施例中,模块化功率变换器可包括:

[0030] 一对DC端子,可连接至DC电网;

[0031] 至少一个变换器臂,在所述一对DC端子之间延伸且包括由AC端子分隔开的第一臂部和第二臂部,所述AC端子可连接至AC电网,每个臂部包括至少一个模块,每个模块中的所述或每个开关元件是可切换的,以控制在AC端子处的AC电压的配置,从而在所述AC电网与所述DC电网之间传输电力,

[0032] 其中所述DC端子限定第一端子以及所述AC端子限定所述第二端子,或者所述DC端子限定第二端子以及所述AC端子限定第一端子。

[0033] 这样的模块化功率变换器中的变换器臂的数量可以取决于模块化功率变换器所连接的AC电网中的相的数量而变化。

[0034] 所述或每个能量储存器件可以是,但不限于,电容器、超级电容器、双电层电容器、蓄电池或燃料电池。可以设想,至少一个模块可包括诸如上述类型的不同的能量储存器件的组合。

[0035] 模块化功率变换器的模块化布置使其使用能量储存器件的不同类型或组合,以改变至少一个模块的能量储存容量,从而满足特定的电力要求。例如,在控制单元被配置为选择性地控制所述或每个模块中的所述或每个开关元件的切换以对第一端子和第二端子中

的一个处的功率流进行调制的本发明的实施例中,所述或每个能量储存器件可以被选择为增加模块化功率变换器能够对第一端子和第二端子中的一个处的功率流进行调制的范围。

[0036] 模块化功率变换器可以形成包括多个功率变换器的电气组件的一部分。

[0037] 根据本发明的第二方案,提供一种电气组件,包括:

[0038] 第一功率变换器,包括第一端子和第二端子,所述第一功率变换器的所述第一端子和所述第二端子中的一个可连接至第一电网;

[0039] 第二功率变换器,包括第一端子和第二端子,所述第二功率变换器的所述第一端子和所述第二端子中的一个可连接至第二电网;以及

[0040] 传输链路,用于操作性地互连所述第一功率变换器的所述第一端子和所述第二端子中的另一个以及所述第二功率变换器的所述第一端子和所述第二端子中的另一个;

[0041] 其中所述第一功率变换器和所述第二功率变换器中的至少一个为根据本发明的第一方案的任一实施例的模块化功率变换器。

[0042] 可以通过所述或每个模块化功率变换器抑制第一电网或第二电网或者连接至所述或每个模块化功率变换器的第一端子和第二端子中的一个的传输链路中的功率流的调制对对应的第一端子和第二端子中的另一个处的功率流的改变,从而减少了由功率流的调制导致的对流入、来自电气组件或电气组件内的功率流的任何不良影响。

[0043] 与每个功率变换器能够在对应的第一端子和第二端子处单独地对各功率流去耦的功率流的调制的范围相比,将多个功率变换器中的每个配置为模块化功率变换器导致更高的、组合的能量储存容量,其允许多个功率变换器的组合操作在大范围功率流的调制中对电网的各功率流去耦。

[0044] 当第一功率变换器和第二功率变换器中的一个为根据本发明的第一方案的任一实施例的模块化功率变换器时,另一个功率变换器可包括控制单元,其被配置为选择性地操作该功率变换器,以在对应的第一端子和第二端子中的一个处进行功率流的调制。

[0045] 模块化功率变换器的控制单元可以被配置为选择性地控制所述或每个对应的模块中的所述或每个开关元件的切换,以储存来自对应的第一端子和第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的第一端子和第二端子中的任何一个或两者,以便对对应的第一端子和第二端子处的各功率流去耦,从而当所述另一个功率变换器被操作为在对应的第一端子和第二端子中的一个处进行功率流的调制时,抑制在对应的第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制对对应的第一端子和第二端子中的另一个处的功率流的改变。在模块化功率变换器与另一个功率变换器之间的这样的协调确保了可靠地抑制在另一个功率变换器的第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制对未连接至另一个功率变换器的模块化功率变换器的端子处的功率流的改变。

[0046] 电气组件可包括多个功率变换器和多个传输链路。每个功率变换器的第一端子和第二端子中的一个可连接至各个电网。每个功率变换器的第一端子和第二端子中的另一个可经由多个传输链路中的对应的一个连接到至少另一个功率变换器的第一端子和第二端子中的另一个。多个功率变换器中的至少一个可以是根据本发明的第一方案的任一实施例的模块化功率变换器。

[0047] 这样的电气组件可以是或形成例如AC电网或DC电网的一部分。

[0048] 如前所述,将多个功率变换器中的每个配置为模块化功率变换器导致更高的、组

合的能量储存容量,其使得多个功率变换器的组合操作能够在与每个功率变换器能够在对应的第一端子和第二端子处单独地对各功率流去耦的功率流的调制的范围相比的更大范围功率流的调制中对电网的各功率流去耦。

[0049] 电气组件中的所述或每个模块化功率变换器可以相对于另一个功率变换器布置,使得所述或每个模块化功率变换器可以被选择性地操作,以对对应的第一端子和第二端子处的各功率流去耦,以便抑制在电气组件的一个或多个部分中或者在一个或多个电网中的功率流的调制对电气组件的一个或多个其它部分中或者一个或多个其它电网中的功率流的改变。

[0050] 响应于功率流的调制,特别地,当电气组件包括导致电气组件内的功率流的复杂布局的复杂的组件互连时,电气组件中包括所述或每个模块化功率变换器因此使其更简单地调制电气组件中的功率流。

[0051] 电气组件的每个功率变换器可以是根据本发明的模块化功率变换器。用这种方式配置电气组件进一步提高了调整电气组件中的功率流的能力。

[0052] 当多个功率变换器中的至少一个为根据本发明的第一方案的任一实施例的模块化功率变换器时,至少另一个功率变换器可包括控制单元,其被配置为选择性地操作该另一个功率变换器,以在对应的第一端子和第二端子中的一个处进行功率流的调制。

[0053] 所述或每个模块化功率变换器的控制单元可以被配置为选择性地控制所述或每个对应的模块中的所述或每个开关元件的切换,以储存来自对应的第一端子和第二端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的第一端子和第二端子中的任何一个或两者,以便对对应的第一端子和第二端子中的一个处的各功率流去耦,从而当所述或每个其它功率变换器被操作为在第一端子和第二端子处进行功率流的调制时,抑制在对应的第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制对对应的第一端子和第二端子中的另一个处的功率流的改变。在所述或每个模块化功率变换器与所述或每个其它功率变换器之间的这样的协调确保了可靠地抑制在所述或每个其它功率变换器的第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制对未连接至其它功率变换器的所述或每个模块化功率变换器的端子处的功率流的改变。

[0054] 在根据本发明的电气组件的实施例中,在第一端子和第二端子中的一个处的功率流的调制可包括衰减至少一个功率振荡。

## 附图说明

[0055] 现将参照附图,通过非限制性示例的方式来描述本发明的优选实施例,在附图中:

[0056] 图1以示意图的形式示出根据本发明的第一实施例的模块化功率变换器;

[0057] 图2以示意图的形式示出2象限单极模块的结构;

[0058] 图3以示意图的形式示出根据本发明的第二实施例的电气组件;以及

[0059] 图4以示意图的形式示出根据本发明的第三实施例的电气组件。

## 具体实施方式

[0060] 图1示出本发明的第一实施例的模块化功率变换器10。

[0061] 模块化功率变换器10包括第一DC端子12和第二DC端子14,以及多个变换器臂16。

[0062] 每个变换器臂16在第一DC端子12与第二DC端子14之间延伸。每个变换器臂16具有由相应的AC端子18分隔开的第一臂部20和第二臂部22。

[0063] 在使用中,第一端子12和第二DC端子14分别连接至DC电网24的正极和负极,而每个AC端子18连接至三相AC电网26的相应的相。

[0064] 每个臂部20、22包括多个串联连接的模块28。每个模块28包括一对开关元件30和以电容器的形式的能量储存器件32。所述一对开关元件30以半桥布置与电容器32并联连接,如图2所示。

[0065] 每个开关元件30包括与无源电流逆止元件反向并联连接的有源开关器件。

[0066] 每个有源开关器件为绝缘栅双极型晶体管(insulated gate bipolar transistor, IGBT)的形式。可以设想,在本发明的其它实施例中,每个IGBT可以由栅极可关断晶闸管、场效应晶体管、注入增强栅晶体管、集成门极换向晶闸管或任何其它自换向开关器件来替代。每个开关元件30中的有源开关器件的数量可以取决于该开关元件30所需的额定电压而变化。

[0067] 每个无源电流逆止元件包括以二极管的形式的无源电流逆止器件。可以设想,在其它实施例中,每个二极管可以由能够限制电流仅在一个方向上流动的任何其它器件来替代。每个无源电流逆止元件中的无源电流逆止器件的数量可以取决于该无源电流逆止元件所需的额定电压而变化。

[0068] 可以设想,在本发明的其它实施例中,每个电容器可以由能够储存和释放能量的另一种类型的能量储存器件(例如超级电容器、双电层电容器、蓄电池或燃料电池)来替代。

[0069] 还可以设想,在本发明的其它实施例中,至少一个模块可包括诸如上述类型的不同能量储存器件的组合。模块化功率变换器10的模块化布置使得很容易使用不同类型的能量储存器件或能量储存器件的组合来改变至少一个模块28的能量储存容量以满足特定的电力要求。

[0070] 在每个臂部20、22中,多个串联连接的模块28限定链环式变换器,并且对每个链环式变换器中的每个模块28的操作进行如下描述。

[0071] 模块28的电容器32通过改变IGBT的状态被选择性地旁路或插入到链环式变换器中。这选择性地引导电流通过电容器32或使得电流旁路电容器32,从而模块28提供零电压或正电压。

[0072] 当IGBT被配置为在模块28中形成短路时,模块28的电容器32被旁路。这使得链环式变换器中的电流通过短路且旁路电容器32,因此模块28提供零电压,即模块28被配置为旁路模式。

[0073] 当IGBT被配置为允许链环式变换器中的电流流入和流出电容器32时,模块28的电容器32被插入到链环式变换器中。然后,电容器32对其储存的能量进行充电或放电,以便提供非零电压,即模块28被配置为非旁路模式。

[0074] 用这种方式,IGBT以半桥布置与电容器32并联连接,以限定能够提供零电压或正电压并且能够在两个方向上传导电流的2象限单极模块28,因此每个模块28能够选择性地提供电压源。

[0075] 通过将每个提供器自身电压的多个模块28的电容器插入到链环式变换器中,能够在链环式变换器两端建立组合电压,该组合电压高于从每个其单个模块28可获得的电压。

用这种方式,每个模块28中的IGBT的切换使得链环式变换器提供步阶式可变电压源,这允许使用步进式近似以在链环式变换器两端产生电压波形。因此,链环式变换器能够提供大范围的复杂电压波形。

[0076] 可以设想,在本发明的其它实施例中,每个模块可以由包括至少一个开关元件和至少一个能量储存器件的另一种类型的模块来替代,所述或每个模块中的所述或每个开关元件和所述或每个能量储存器件组合以选择性地提供电压源。

[0077] 模块化功率变换器10还包括控制单元34,被配置为选择性地切换每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30,如下所述。

[0078] 首先,控制单元34被配置为选择性地控制每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在AC端子18与相应的DC端子12、14之间选择性地提供电压源,以便在DC端子12、14与AC端子18之间传输电力,从而在AC电网26与DC电网24之间传输电力。

[0079] 其次,控制单元34被配置为选择性地控制每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在DC端子12、14和AC端子18中的一个处进行功率流的调制。

[0080] 再次,控制单元34被配置为选择性地控制每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以储存来自DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者,以便对DC端子12、14和AC端子18处(并因此在AC电网26和DC电网24中)的各功率流去耦。

[0081] 如前所述,由于在AC电网26的各电力系统部件之间的未衰减的相互作用,在AC电网26中可能出现功率振荡。

[0082] 如果AC电网26中出现功率振荡,则控制单元34控制每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在AC端子18处进行功率流的调制,从而衰减AC电网26中的功率振荡。同时,控制单元34控制每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以储存来自DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者,以便对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦。

[0083] 在操作模块化功率变换器10以在DC端子12、14与AC端子18之间传输电力期间,每个电容器32将会有例如1.8kV的平均DC电压。在用于给定电压的给定电容器32中的储存能量计算如下:

$$[0084] \quad Q = \frac{1}{2} \cdot C V^2$$

[0085] 其中Q为给定电容器32的储存能量;

[0086] C为给定电容器32的电容;

[0087] V为给定电容器32的电压。

[0088] 每个模块28被设计为在其控制以使得模块化功率变换器10能够在AC电网26与DC电网24之间传输电力的过程中使用小于其最大能量储存容量。这意味着每个模块28的任何未使用的能量储存容量在模块化功率变换器10的操作期间可用于临时能量储存,以对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦。因此,每个电容器32的电压可以在模块化功率变换器10的操作期间变化。电压的变化表示在给定电容器32中的储存能量的变化,其计算如下:

$$[0089] \quad \Delta Q = \frac{1}{2} \cdot C (V_1^2 - V_2^2)$$

[0090] 其中 $V_1$ 和 $V_2$ 表示用于给定电容器32的不同的电压。

[0091] 例如,7mF电容器的电压从1.8kV到2.0kV的变化使储存能量从11.34kJ变为14.00kJ,即2660J的储存能量的变化。

[0092] 模块化功率变换器10的储存能量的变化范围取决于模块化功率变换器10中的模块28的数量。例如,当模块化功率变换器10为具有2000个模块28的1000MW,640kV模块化功率变换器时,模块化功率变换器10的储存能量的变化范围为5.32MJ。由于每个模块28能够将能量释放到DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者中,则每个电容器32上的电压可以暂时低于1.8kV的平均电压。因此,模块化功率变换器10能够在 $\pm 5.32$ MW的范围内在AC端子18处进行功率流的调制,同时对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦。

[0093] 除了每个模块中的电容器32之外或者替代每个模块中的电容器32,每个模块28可包括另一个能量储存器件(诸如双电层电容器、超级电容器或蓄电池),以便增加模块化功率变换器10能够在AC端子18处进行功率流的调制的范围,同时对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦。

[0094] 对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦使得模块化功率变换器10能够抑制在AC端子18处的功率流的调制对在DC端子12、14处的功率流的改变,从而防止DC电网24中的功率流的任何不期望的变化。

[0095] 同时在AC端子18处进行功率流的调制并对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦的能力使得能够在AC端子18处同步功率流的调制和对AC电网26和DC电网24中的各功率流的去耦。

[0096] 由于在AC电网26与DC电网24之间传输电力和能够在AC电网26和DC电网24中对各功率流去耦的功能均涉及每个模块28中的开关元件30的切换,因此不仅不需要改变每个模块28以使得模块化功率变换器10能够执行这两种功能,而且用于执行这两种功能的每个模块28中的开关元件30的这种切换可以在相同的控制单元34内实现,而无需显著的添加控制硬件以适应这两种功能。

[0097] 与此相反,省略模块化功率变换器10中的控制单元34意味着需要使用与模块化功率变换器10分离的大型能量储存系统,以将电网24、26与功率流的调制的影响隔离。大型能量储存系统的使用不仅为相关的电网24、26增加尺寸、重量和成本,而且还存在许多其它问题(诸如维修中的经营损失、维护和可靠性和可用性方面的考虑),从而导致低效率和低可靠性的替代方案。

[0098] 根据本发明的模块化功率变换器10的配置因此能够实现具有成本效率并且节省空间的模块化功率变换器10,其不仅能够在AC电网26与DC电网24之间传输电力,而且还能够选择性地实现对AC电网26和DC电网24中的各功率流的去耦,以便抑制在AC电网26和DC电网24中的一个处的功率流的调制对AC电网26和DC电网24中的另一个处的功率流的改变。

[0099] 应理解,控制单元34可以如上所述的类似方式控制模块化功率变换器10,以对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦,以便抑制在DC端子12、14处(并因此在DC电网24中)的功率流的调制对AC端子18处(并因此在AC电网26中)的功率流的改变。

[0100] 还应理解,可以通过另一个功率变换器或其它功率流调制硬件来进行在DC端子12、14和AC端子18中的一个处的功率流的调制,并且当在DC端子12、14和AC端子18中的一个处的功率流的调制通过另一个功率变换器或其它功率流调制硬件进行时,控制单元34可以控制模块化功率变换器10,以对AC电网26和DC电网24中的各功率流去耦,以便抑制功率流

的调制对DC端子12、14和AC端子18中的另一个处的功率流的改变。

[0101] 图3示出根据本发明的第二实施例的电气组件。

[0102] 电气组件包括第一模块化功率变换器110和第二模块化功率变换器210。第一模块化功率变换器110和第二模块化功率变换器210中的每个在结构和操作上与图1的模块化功率变换器10类似,并且类似地特征共用相同的附图标记。

[0103] 在使用中,第一模块化功率变换器110的每个AC端子18连接至第一多相AC电网126的相应的相,而第二模块化功率变换器210的每个AC端子18连接至第二多相AC电网226的相应的相。

[0104] 电气组件还包括DC传输链路36,用于操作性地互连第一模块化功率变换器110和第二模块化功率变换器210的DC端子12、14。

[0105] 如果第一AC电网126中出现功率振荡,则第一功率模块化功率变换器110的控制单元34控制第一功率模块化功率变换器110的每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在对应的AC端子18处进行功率流的调制,从而衰减第一AC电网126中的功率振荡。同时,第一功率模块化功率变换器110的控制单元34控制第一功率模块化功率变换器110中的每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以储存来自对应的DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者,以便对第一AC电网126和DC传输链路36中的各功率流去耦。

[0106] 对第一AC电网126和DC传输链路36中的各功率流去耦使得第一模块化功率变换器110能够抑制在AC端子18处的功率流的调制对DC传输链路36中的功率流的改变,从而防止DC传输链路36中的功率流的任何不期望的变化。

[0107] 如果用于衰减第一AC电网126中的功率振荡所需的调制程度大于第一模块化功率变换器110中的储存能量的允许变化,则第一模块化功率变换器110可以从DC传输链路36抽取额外的能量,这导致DC传输链路36中的功率流的调制。同时,第二功率模块化功率变换器210的控制单元34控制第二功率模块化功率变换器210的每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以储存来自对应的DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者,以便对第二AC电网226和DC传输链路36中的各功率流去耦。

[0108] 对第二AC电网226和DC传输链路36中的各功率流去耦使得第二模块化功率变换器210能够抑制DC传输链路36中的功率流的调制对第二模块化功率变换器210的AC端子18处的功率流的改变,从而防止第二AC电网226中的任何不期望的变化。

[0109] 可选地,第二模块化功率变换器210的控制单元34可以控制第二功率模块化功率变换器210的每个臂部20、22的每个模块28的开关元件30的切换,以与第一模块化功率变换器110一同在对应的DC端子12、14处(并因此在DC传输链路36中)进行功率流的调制,从而衰减第一AC电网126中的功率振荡。

[0110] 将第一模块化功率变换器和第二模块化功率变换器中的每个配置为在结构和操作上与图1的模块化功率变换器10类似,实现了更高的、组合的能量储存容量,与每个模块化功率变换器110、210能够在对应的DC端子12、14和AC端子18处单独地对各功率流去耦的调制的功率流的范围相比,这个更高的、组合的能量储存容量允许第一模块化功率变换器和第二模块化功率变换器的组合操作在更大范围功率流的调制中对第一AC电网126和第二

AC电网226的各功率流去耦。基于5.32MJ的每个模块化功率变换器110、210的储存能量的示例性变化范围,用于衰减第一AC电网126和第二AC电网226中的一个的功率振荡而不会改变第一AC电网126和第二AC电网226中的另一个的功率流的功率流的调制的适用范围为10.64MW。

[0111] 进一步可选地,第二模块化功率变换器210的控制单元34可以控制第二电力模块化功率变换器210的每个臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在DC端子12、14处(并因此在DC传输链路36中)进行功率流的调制,从而衰减第一AC电网126中的功率振荡,而第一模块化功率变换器110不操作为在对应的DC端子12、14处(并因此在DC传输链路36中)进行功率流的调制来衰减第一AC电网126中的功率振荡。

[0112] 上述第一模块化功率变换器110和第二模块化功率变换器210的操作对第一模块化功率变换器110和第二模块化功率变换器210的操作进行了少许修改,以防止在第二AC电网226中出现功率振荡的情况下DC传输链路36和/或第一AC电网126中的功率流中的任何不期望的变化。

[0113] 可以设想,在本发明的其它实施例中,电气组件可包括第一功率变换器和第二功率变换器,其中第一功率变换器和第二功率变换器中仅有一个在功能和操作上与图1的模块化功率变换器10类似。

[0114] 在这样的实施例中,当第一功率变换器和第二功率变换器中只有一个在功能和操作上与图1的模块化功率变换器类似时,另一个功率变换器可包括控制单元,被配置为选择性地操作该另一个功率变换器,以在对应的DC端子和AC端子处进行功率流的调制。模块化功率变换器的控制单元可以被配置为选择性地控制每个臂部的每个模块中的开关元件的切换,以储存来自对应的DC端子和AC端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的DC端子和AC端子中的任何一个或两者,以便当所述另一个功率变换器被操作为在对应的DC端子和AC端子中的一个处进行功率流的调制时,抑制在对应的DC端子处的功率流的调制对对应的AC端子处的功率流的改变。在模块化功率变换器与所述另一个功率变换器之间的这样的协调确保了可靠地抑制在所述另一个功率变换器的DC端子和AC端子中的一个处的功率流的调制对模块化功率变换器的AC端子处的功率流的改变。

[0115] 图4示出根据本发明的第三实施例的电气组件。

[0116] 电气组件包括多个模块化功率变换器310、410、510、610。在示出的实施例中,电气组件包括三个模块化功率变换器310、410、510、610。每个模块化功率变换器310、410、510、610在结构和操作上与图1的模块化功率变换器10类似,并且类似地特征共用相同的附图标记。

[0117] 电气组件还包括多个传输链路136。每个模块化功率变换器310、410、510、610的DC端子12、14经由多个传输链路36中的相应的一个连接到至少另一个模块化功率变换器310、410、510、610的DC端子12、14。

[0118] 在使用中,每个模块化功率变换器310、410、510、610中的每个AC端子连接至相应的多相AC电网326、426、526、626的相应的相。

[0119] 在一个或多个AC电网326、426、526、626中出现功率振荡的情况下,对应的功率模块化功率变换器310、410、510、610的控制单元34控制每个对应的臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在对应的DC端子12、14处(并因此在对应的DC传输链路或链路36

中)进行功率流的调制,以衰减所述或每个相关的AC电网326、426、526、626中的功率振荡。同时,所述至少另一个模块化功率变换器310、410、510、610的控制单元34控制每个对应的臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以储存来自对应的DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的DC端子12、14和AC端子18中的任何一个或两者,以便对对应的AC电网226和DC传输链路或链路36中的各功率流去耦。

[0120] 可选地,几个或全部模块化功率变换器310、410、510、610的每个控制单元34可以控制每个对应的臂部20、22的每个模块28中的开关元件30的切换,以在对应的DC端子12、14处(并因此在DC传输链路或链路36中)进行功率流的调制,从而衰减所述或每个相关的AC电网326、426、526、626中的功率振荡。

[0121] 以与图3所示的本发明的第二实施例类似的方式,将多个模块化功率变换器310、410、510、610中的每个配置为在结构和操作上与图1的模块化功率变换器10类似,实现了允许多个模块化功率变换器310、410、510、610中的至少两个或全部的组合操作的更高的、组合的能量储存容量,以在与每个模块化功率变换器310、410、510、610能够在对应的DC端子12、14和AC端子18处单独地对各功率流去耦的调制的功率流的范围相比的更大范围功率流的调制中对各AC电网326、426、526、626的各功率流去耦。

[0122] 因此,在电气组件中包括模块化功率变换器310、410、510、610使得其能够更容易地响应于功率流的调制,来调制电气组件中的功率流,特别地是当电气组件包括导致电气组件内的功率流的复杂布局的部件的复杂互连时更是如此。

[0123] 可以设想,在本发明的其它实施例中,电气组件可包括多个功率变换器,其中多个功率变换器中的至少一个,但不是全部,在结构和操作上与图1的模块化功率变换器10类似。

[0124] 在这样的实施例中,当多个功率变换器中的至少一个,但不是全部,在结构和操作上与图1的模块化功率变换器类似时,在结构和操作上与图1的模块化功率变换器并不类似的至少另一个功率变换器可包括控制单元,其被配置为选择性地操作该另一个功率变换器,以在对应的DC端子和AC端子中的一个处进行功率流的调制。所述或每个模块化功率变换器的控制单元可以被配置为选择性地控制每个对应的臂部的每个模块中的开关元件的切换,以储存来自对应的DC端子和AC端子中的任何一个或两者的能量或者将能量释放到对应的DC端子和AC端子中的任何一个或两者,以便当所述或每个其它功率变换器被操作为在对应的DC端子和AC端子中的一个处进行功率流的调制时,抑制在对应的DC端子处的功率流的调制对对应的AC端子处的功率流的改变。在所述或每个模块化功率变换器与所述或每个其它功率变换器之间的这种协调确保了可靠地抑制在其它功率变换器的DC端子和AC端子中的一个处的功率流的调制对所述或每个模块化功率变换器的AC端子处的功率流的改变。

[0125] 虽然主要参照用于衰减AC电网26、126、226、336、426、526、626中的功率振荡的功率流的调制的使用描述了图1、图3和图4的每个实施例,但是应理解,可以用于对所述或每个模块化功率变换器10、110、210、310、410、510、610的DC端子12、14和AC端子18处的各功率流去耦的图1、图3和图4的实施例的操作,可进行用于其它目的(诸如优化功率流质量)的功率流的调制。

[0126] 应理解,每个电容器32和每个模块化功率变换器10、110、210、310、410、510、610的性能仅被选择用于帮助说明本发明的操作,并且可以取决于相关联的电力应用的要求而变

化。

[0127] 还应理解,每个模块化功率变换器10、110、210、310、410、510、610和每个电气组件的拓扑结构仅被选择用于帮助说明本发明的操作,并且每个模块化功率变换器10、110、210、310、410、510、610和每个电气组件可以分别由具有不同拓扑结构的另一个模块化功率变换器和具有不同拓扑结构的另一个电气组件来替代。

[0128] 可以设想,在本发明的其它实施例中,模块化功率变换器的端子和模块可以被重新布置以将模块化功率变换器配置为AC-AC或DC-DC模块化功率变换器。

[0129] 每个模块化功率变换器10、110、210、310、410、510、610中的变换器臂的数量可以取决于每个模块化功率变换器10、110、210、310、410、510、610所连接的相应的AC电网26、126、226、336、426、526、626中的相的数量而变化。

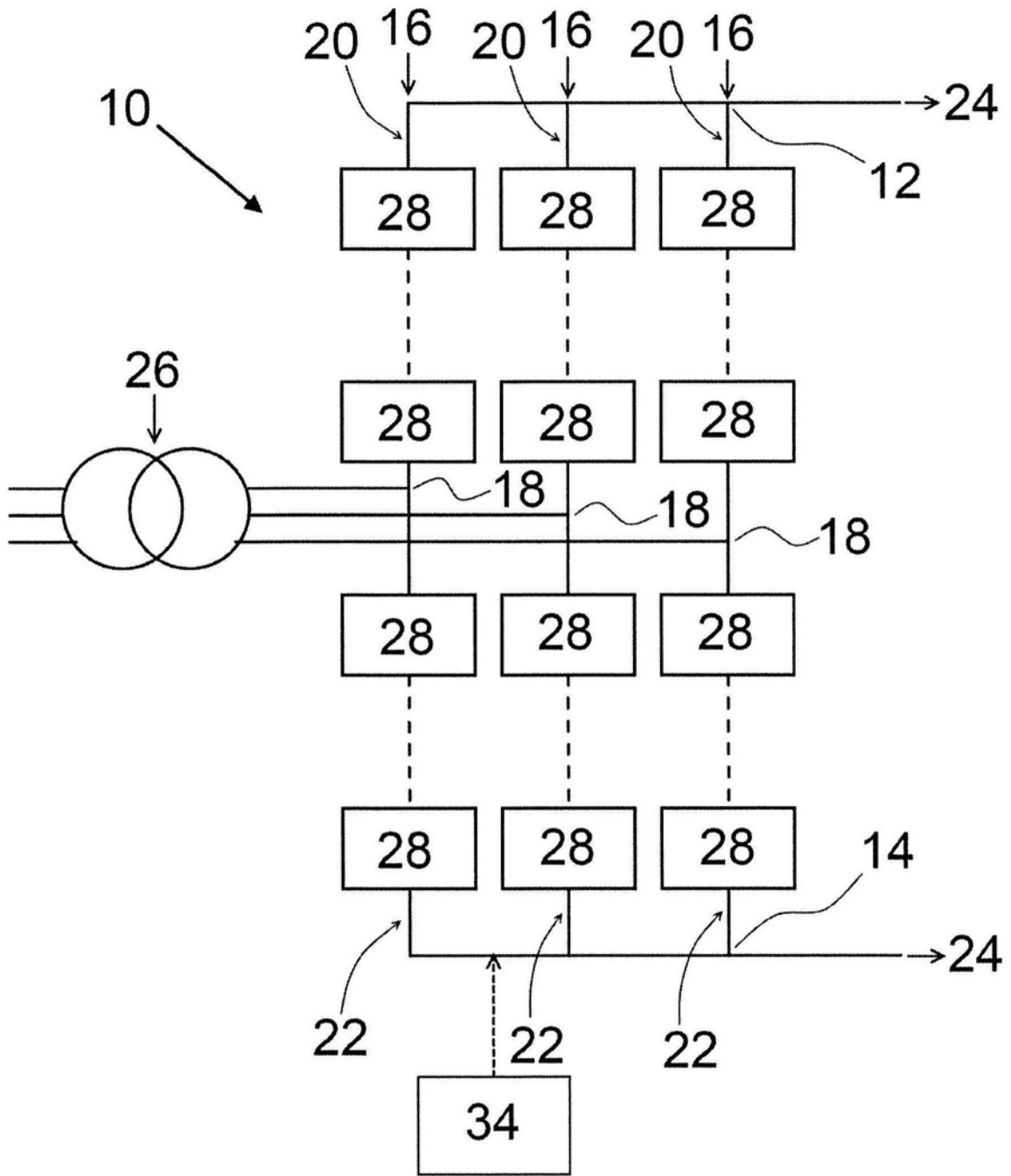


图1

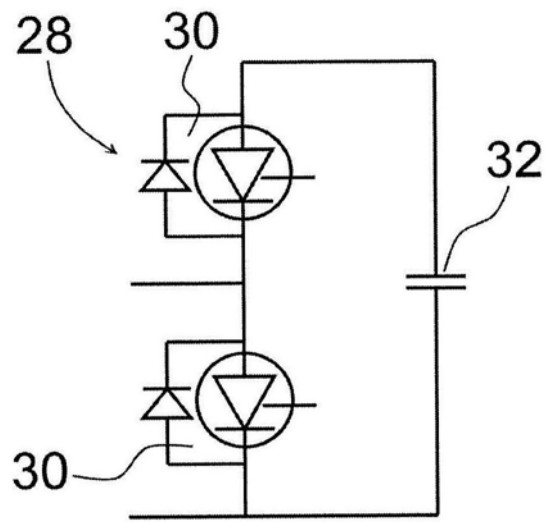


图2

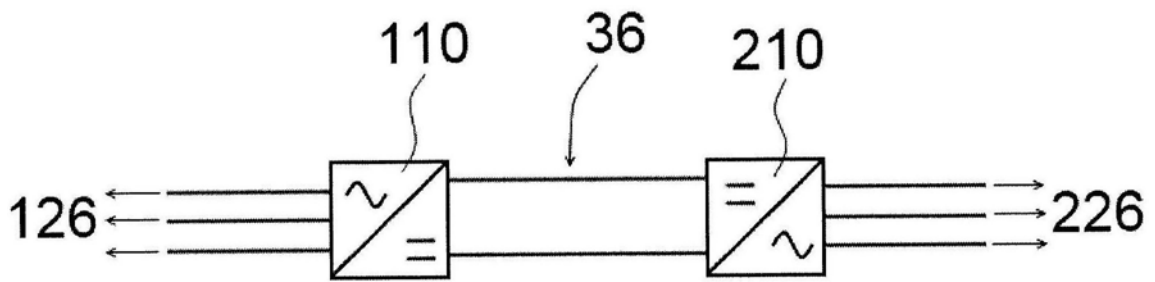


图3

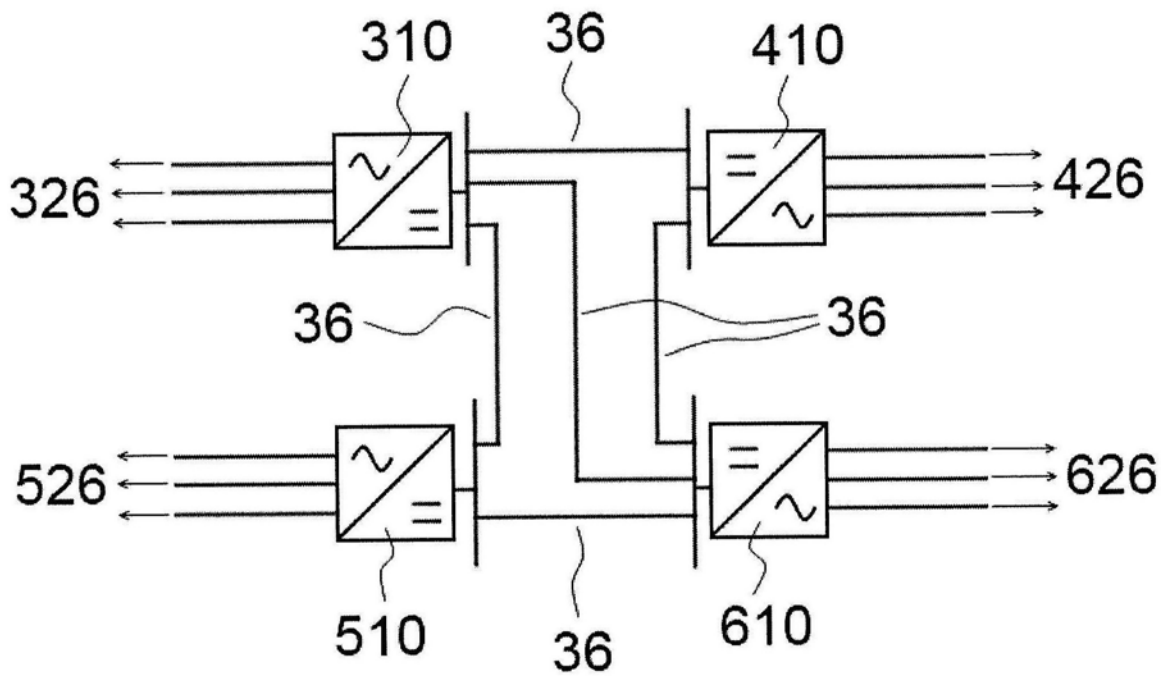


图4