



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103283140 B

(45) 授权公告日 2015. 07. 29

(21) 申请号 201080070958. 8

(22) 申请日 2010. 10. 27

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2013. 06. 26

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2010/066278 2010. 10. 27

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02012/055435 EN 2012. 05. 03

(73) 专利权人 阿尔斯通技术有限公司  
地址 瑞士巴登

(72) 发明人 蒂莫西·查尔斯·格林  
迈克尔·马克·克劳德·梅林  
纳姆迪·奥卡密  
戴维·雷金纳德·特雷纳

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有限公司 11270

代理人 徐川 武晨燕

(51) Int. Cl.  
H02M 7/49(2006. 01)

(56) 对比文件  
WO 2007/028350 A1, 2007. 03. 15, 全文。  
CN 101268607 A, 2008. 09. 17, 全文。  
CN 101548458 A, 2009. 09. 30, 全文。  
WO 2010/088969 A1, 2010. 08. 12, 全文。

审查员 汤场

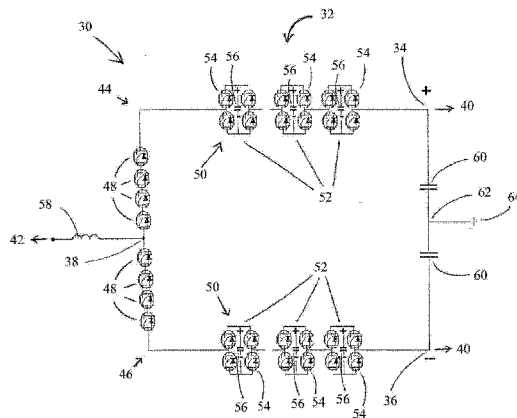
权利要求书2页 说明书9页 附图8页

(54) 发明名称

模块化多电平变换器

(57) 摘要

本发明提出一种电力电子变换器 (30), 其用于高压直流电力传输以及无功功率补偿, 所述电力电子变换器 (30) 包括至少一条变换器支路 (32)。所述或每条变换器支路 (32) 包括在使用时连接到 DC 网络 (40) 的第一 DC 端子和第二 DC 端子 (34, 36) 以及在使用时连接到 AC 网络 (42) 的 AC 端子 (38)。所述或每条变换器支路 (32) 限定串联连接在所述 AC 端子 (38) 和所述第一 DC 端子和第二 DC 端子 (34, 36) 的相应一个端子之间的第一支路部分和第二支路部分 (44, 46)。每个支路部分 (44, 46) 包括与至少一个初级开关元件 (48) 串联连接的链连式变换器 (50)。每个链连式变换器 (50) 包括串联连接的多个模块 (52), 且每个模块包括连接到至少一个储能器件 (56) 的至少一个次级开关元件 (54)。相应变换器支路的每个支路部分中的所述或每个初级开关元件 (48) 选择性地限定流通路径, 所述流通路径输送 DC 流通电流以调整相应的链连式变换器 (50) 中的至少一个储能器件 (56) 的能量水平。



1. 一种电力电子变换器,其用于高压直流电力传输以及无功功率补偿,所述电力电子变换器包括至少一条变换器支路,所述至少一条变换器支路包括在使用时连接到 DC 网络的第一 DC 端子和第二 DC 端子以及在使用时连接到 AC 网络的 AC 端子,每条变换器支路限定串联连接在所述 AC 端子和所述第一 DC 端子和第二 DC 端子的相应一个端子之间的第一支路部分和第二支路部分,每个支路部分包括与至少一个初级开关元件串联连接的链连式变换器,每个链连式变换器包括串联连接的多个模块,每个模块包括连接到至少一个储能器件的至少一个次级开关元件,相应变换器支路的每个支路部分中的每个初级开关元件选择性地限定流通过程,所述流通过程输送 DC 流通电流以调整相应的链连式变换器中的至少一个储能器件的能量水平,

其特征在于:每个初级开关元件被控制为将两支路部分同时切换入电路中以限定所述流通过程,每个支路部分的每个初级开关元件选择性地限定针对预先确定的时段的所述流通过程,以控制所述 DC 流通电流流动的持续时间。

2. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,其中,所述流通过程包括至少一个 DC 电流调节器,以调节所述 DC 流通电流的大小。

3. 根据权利要求 2 所述的电力电子变换器,其中,每个 DC 电流调节器对所述 DC 流通电流的大小进行调节,以使得每个储能器件的电压与预先确定的电压电平的任何偏离最小化。

4. 根据权利要求 2 或 3 所述的电力电子变换器,其中,所述 DC 电流调节器包括所述链连式变换器中的至少一个和与每个链连式变换器串联连接的至少一个初级电感器,每个链连式变换器操作以改变其电压,以改变每个初级电感器两端的电压,从而调节所述 DC 流通电流的大小。

5. 根据权利要求 2 至 3 中任一项所述的电力电子变换器,进一步包括:至少一个 DC 链电容器,所述至少一个 DC 链电容器串联连接在每条变换器支路的所述第一 DC 端子和第二 DC 端子之间,且与每条变换器支路并联连接。

6. 根据权利要求 5 所述的电力电子变换器,进一步包括:至少一个第三级电感器,所述至少一个第三级电感器与每条变换器支路的所述第一 DC 端子和第二 DC 端子之间的每个 DC 链电容器串联连接。

7. 根据权利要求 2 或 3 所述的电力电子变换器,其中,所述 DC 电流调节器包括至少一个可变初级电感器,每个可变初级电感器被控制以改变其自身的电感,以调节所述 DC 流通电流。

8. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,其中,所述链连式变换器操作以在所述 AC 端子处产生电压波形。

9. 根据权利要求 8 所述的电力电子变换器,其中,每个链连式变换器操作以改变其自身电压,以在流通过程被限定时产生流经相应的 AC 端子和所述 AC 网络之间的 AC 电流波形。

10. 根据权利要求 9 所述的电力电子变换器,其中,每个链连式变换器的每个模块的每个次级开关元件受控以对相应的所述链连式变换器进行配置,以提供阶梯式可变电压源。

11. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,进一步包括:与每条变换器支路的所述 AC 端子串联连接的至少一个次级电感器,所述至少一个次级电感器在使用时连接到相应的所

述 AC 端子和所述 AC 网络之间。

12. 根据权利要求 11 所述的电力电子变换器,其中,每个次级电感器被控制以改变其自身的电感,以在相应的流通过程被限定时产生流经相应的所述 AC 端子和所述 AC 网络之间的 AC 电流波形。

13. 根据权利要求 9 所述的电力电子变换器,其中,所述 AC 电流波形为正弦波形的近似逼近。

14. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,其中,至少一个模块包括与相应的储能器件并联连接的多个串联连接的次级开关元件。

15. 根据权利要求 14 所述的电力电子变换器,其中,所述多个串联连接的次级开关元件与所述相应的储能器件并联连接成半桥结构,以限定能够提供零电压或正电压且能够双向传导电流的二象限单极性模块。

16. 根据权利要求 14 所述的电力电子变换器,其中,所述多个串联连接的次级开关元件与所述相应的储能器件并联连接成全桥结构,以限定能够提供零电压、正电压或负电压且能够双向传导电流的四象限双极性模块。

17. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,其中,至少一个初级或次级开关元件包括至少一个半导体器件。

18. 根据权利要求 17 所述的电力电子变换器,其中,所述至少一个半导体器件是绝缘栅双极晶体管、栅关断晶闸管、场效应晶体管、绝缘栅换向晶闸管或集成栅换向晶体管。

19. 根据权利要求 17 所述的电力电子变换器,其中,至少一个初级或次级开关元件进一步包括:与每个对应的半导体器件并联连接的反并联二极管。

20. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,其中,至少一个储能器件包括电容器、燃料电池、光伏电池、蓄电池或具有关联整流器的 AC 辅助发生器。

21. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,其中,每个支路部分的所述链连式变换器被控制以改变其自身电压,以能够在零电流附近和 / 或零电压附近对相应支路部分的每个初级开关元件进行切换。

22. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器,包括:多条变换器支路,每条变换器支路包括用于在使用时连接到 AC 网络的相应相的 AC 端子。

## 模块化多电平变换器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于高压直流 (HVDC) 电力传输和无功功率补偿的电压源变换器。

### 背景技术

[0002] 在电力传输网络中,为了经由架空线路和 / 或海底电缆进行传输,通常将交流 (AC) 电变换为直流 (DC) 电。这一变换免除了对由传输线路或电缆造成的 AC 电容性负载效应进行补偿的需要,从而降低了线路和 / 或电缆的每公里成本。因此,当需要长距离地传输功率时,由 AC 到 DC 的变换是符合成本效益的。

[0003] 由 AC 到 DC 的变换还用于需要将在不同频率下工作的 AC 网络进行互连的电力传输网络。

[0004] 在任何这样的电力传输网络中, AC 和 DC 电之间的每个接口均需要变换器以实现所需的变换,且一种这样形式的变换器为电压源变换器 (VSC)。

[0005] 已知电压源变换器的一种形式如图 1 所示,该电压源变换器包括六组串联连接的绝缘栅双极晶体管 (insulated gate bipolar transistor, IGBT) 10 和反并联二极管 12。IGBT10 串联连接并同时切换,以实现 10 到 100MW 的较高额定功率。

[0006] 但是,这种方法可能需要复杂且有源的 IGBT 驱动器,而且还可能需要大型无源缓冲组件以确保串联 IGBT10 两端的高压在变换器切换期间的合理共用。此外,在 AC 电源频率的每个周期中的高电压处需要将 IGBT10 接通和关断几次,以对馈送到 AC 网络 14 的谐波电流进行控制。这些因素导致了高损耗、高电磁干扰水平以及复杂的设计。

[0007] 另一已知电压源变换器如图 2 所示,该电压源变换器包括多电平变换器装置。该多电平变换器装置包括串联连接的单元 18 的变换器桥 16,每个变换器单元 18 包括与电容器 22 并联连接的一对串联连接的 IGBT20。每个变换器单元 18 可在不同时间切换,这样由于各变换器单元 18 不同时切换且变换电压阶跃相对较小,该装置消除了与对串联连接的 IGBT 进行直接切换相关的问题。

[0008] 但是,每个变换器单元 18 的电容器 22 必须具有高电容值,以对多电平变换器装置中电容器端的电压变化进行抑制。还需要六个 DC 侧电抗器 (reactor) 24,以实现变换器支路 26 的并联与操作,且主要用于限制变换器支路 26 之间的瞬态电流。

[0009] 这些因素导致具有大量存储能量的设备价格昂贵、尺寸大且重量大,使得该设备的预先装配、测试以及运输变得困难。

### 发明内容

[0010] 根据本发明的一个方面,提供一种电力电子变换器,其用于高压直流电力传输以及无功功率补偿,所述电力电子变换器包括至少一条变换器支路,所述变换器支路包括在使用时连接到 DC 网络的第一 DC 端子和第二 DC 端子以及在使用时连接到 AC 网络的 AC 端子,所述或每条变换器支路限定串联连接在所述 AC 端子和所述第一 DC 端子和第二 DC 端子

的相应一个端子之间的第一支路部分和第二支路部分,每个支路部分包括与至少一个初级开关元件串联连接的链连式(chain-link)变换器,每个链连式变换器包括串联连接的多个模块,每个模块包括连接到至少一个储能器件的至少一个次级开关元件,相应变换器支路的每个支路部分中的所述或每个初级开关元件选择性地限定流通过程,所述流通过程输送 DC 流通电流以调整相应的链连式变换器中的至少一个储能器件的能量水平。

[0011] 对流通过程(该流通过程传导 DC 流通电流以调整至少一个储能器件的能量水平)进行选择性地限定的一个或多个初级开关元件的提供,免除了单独的能量平衡设备的需求。因此,本发明的电力电子变换器价格更低廉、尺寸更小且较之传统的电力变换器更为轻便且操作和控制更为简单。

[0012] 这种电力电子变换器还可与广范围的有功功率和无功功率操作条件相兼容。

[0013] 优选地,所述或每个初级开关元件可受控以将两支路部分同时切换入电路中,以限定所述流通过程。这种流通过程的产生提供了对每个链连式变换器中所有储能器件的能量水平进行调整的选择。

[0014] 可选地,每个支路部分的所述或每个初级开关元件选择性地限定针对预先确定的重叠时段的所述流通过程,以控制所述 DC 流通电流流动的持续时间。

[0015] 控制所述 DC 流通电流的持续时间的能力允许在能量从给定的储能器件中消除或恢复到给定储能器件中的范围之内的变化,从而在无需单独的能量平衡设备的情况下,允许所需量的能量从给定的储能器件中移除或恢复到该给定的储能器件中。

[0016] 在本发明的优选实施例中,所述流通过程包括至少一个 DC 电流调节器,以调节所述 DC 流通电流的大小。

[0017] 一个或多个 DC 电流调节器的包含提供了在无需单独的能量平衡设备的情况下,对控制能量从给定的储能器件中移除或恢复到该给定的储能器件中的范围的进一步选择。

[0018] 所述 DC 电流调节器可对所述 DC 流通电流的大小进行调节,以使得所述或每个储能器件的电压与预先确定的电压电平的任何偏离最小化。

[0019] 一个或多个储能器件的电压电平的调整提供了平衡相应模块的电压电平的选择。这是有利的,因为这意味着任一特定模块的电压可保持约等于平均模块电压,有助于确保模块组件可在其设计电压的限制范围内操作,且经组合的模块能够产生变换器路端电压的适当范围以满足稳定状态的操作和故障响应。

[0020] 在本发明的另一优选实施例中,所述 DC 电流调节器是或包括所述链连式变换器中的至少一个和与所述或每个链连式变换器串联连接的至少一个初级电感器,所述或每个链连式变换器可操作以改变其电压,以改变所述或每个初级电感器两端的电压,从而调节所述 DC 流通电流的大小。

[0021] 这种装置很容易使得所需量的能量在无需单独的能量平衡设备的情况下,从给定储能器件中消除或恢复到给定储能器件中。

[0022] 该电力电子变换器可进一步包括至少一个 DC 链电容器,所述至少一个 DC 链电容器串联连接在所述或每条变换器支路的所述第一 DC 端子和第二 DC 端子之间,且与所述或每条变换器支路并联连接。

[0023] 所述或每个 DC 链电容器不仅作用于通过最小化 DC 纹波来调整出现在 DC 网络中的 DC 电压,而且还包含在所述或每条流通过程中。

[0024] 优选地,电力电子变换器进一步包括至少一个三级电感器,所述至少一个三级电感器与所述或每条变换器支路的所述第一 DC 端子和第二 DC 端子之间的所述或每个 DC 链电容器串联连接。

[0025] 至少一个三级电感器的包含改善了该电力电子变换器中的电流流动控制,从而提高了电力电子变换器的可靠性。

[0026] 可选地,所述 DC 电流调节器是或包括至少一个可变初级电感器,所述或每个可变初级电感器可受控以改变其自身的电感,以调节所述 DC 流通电流。

[0027] 一个或多个这种初级电感器可用于在能量调整过程中提供主动控制。

[0028] 在本发明的另一实施例中,所述链连式变换器可操作以在所述 AC 端子处产生电压波形。

[0029] 每个链连式变换器的每个模块的所述或每个次级开关元件可受控以对所述相应的链连式变换器进行配置,以提供阶梯式可变电压源。

[0030] 这些特征使得电力电子变换器执行整流和逆变过程,以便于所述 AC 网络和 DC 网络之间的电力变换。

[0031] 优选地,电力电子变换器进一步包括与所述或每条变换器支路的所述 AC 端子串联连接的至少一个次级电感器,所述至少一个次级电感器在使用时连接到所述相应的 AC 端子和所述 AC 网络之间。

[0032] 一个或多个次级电感器的包含有助于调整所述电力电子变换器 AC 侧上的 AC 电流。

[0033] 优选地,所述或每个次级电感器可受控以改变其自身的电感,以在相应的流通过程中被限定时产生流经所述相应的 AC 端子和所述 AC 网络之间的 AC 电流波形。

[0034] 这种次级电感器在能量调整过程期间对 AC 电流的特性进行控制,因此在对已连接的 AC 网络不造成显著影响的情况下,可调节所述 DC 流通电流以遵循各种波形形状,如方波、三角波和锯齿波形。

[0035] 优选地,所述 AC 电流波形为正弦波形的近似逼近。

[0036] 以具有最小谐波失真的近似理想的正弦波形形式的 AC 电流的产生,意味着在所述电力电子变换器的 AC 侧无需谐波滤波器来控制电能质量。

[0037] 在本发明的另一优选实施例中,至少一个模块包括与相应的储能器件并联连接的多个串联连接的次级开关元件。

[0038] 优选地,所述多个串联连接的次级开关元件与所述相应的储能器件并联连接成半桥结构,以限定能够提供零电压或正电压且能够双向传导电流的二象限单极性模块。

[0039] 优选地,所述多个串联连接的次级开关元件与所述相应的储能器件并联连接成全桥结构,以限定能够提供零电压、正电压或负电压且能够双向传导电流的四象限双极性模块。

[0040] 优选地,至少一个初级或次级开关元件包括至少一个半导体器件。

[0041] 所述或至少一个半导体器件可以是绝缘栅双极晶体管、栅关断晶闸管、场效应晶体管、绝缘栅换向晶闸管或集成栅换向晶体管。

[0042] 所述或至少一个初级或次级开关元件可进一步包括与所述或每个对应的半导体器件并联连接的反并联二极管。

[0043] 半导体器件的使用是有利的,这是因为这些器件在尺寸和重量上很小,且具有相对较低的功耗,这就最小化了对冷却设备的需求。因此,它们的使用使得电力变换器成本、尺寸和重量明显降低。

[0044] 此外,这些半导体器件的快速切换能力使得电力电子变换器能够合成复杂波形以注入到电力电子变换器的 AC 侧和 / 或 DC 侧。这种复杂波形的注入可用于例如将通常与基于线换向晶闸管的电压源变换器相关联的谐波失真水平最小化。

[0045] 在本发明另一优选实施例中,至少一个储能器件是电容器、燃料电池、光伏电池、蓄电池或具有关联整流器的 AC 辅助发生器。

[0046] 每个储能器件可以是能够存储和释放其电能以提供电压的任何器件。这一灵活性在不同场所的电力电子变换器设计中是有用的,在不同场所设备的可利用性可根据场所或运输困难而改变。例如,在海上风力发电站上,储能器件可以是连接到风力涡轮机的 AC 辅助发生器。

[0047] 在本发明的其他实施例中,每个支路部分的所述链连式变换器可受控以改变其自身电压,以能够在零电流附近和 / 或零电压附近对相应支路部分的所述或每个初级开关元件进行切换。

[0048] 在低或零电流和 / 或低或零电压处对所述或每个初级开关元件的这种切换最小化了在相应初级开关元件中的切换损耗,从而提高了电力电子变换器的整体效率。

[0049] 可选地,该电力电子变换器包括多条变换器支路,每条变换器支路包括用于在使用时连接到 AC 网络的相应相的 AC 端子。

[0050] 在这种电力电子变换器中,所述初级开关元件和每条变换器支路的链连式变换器的串联连接独立操作于其他变换器支路,从而仅对连接在相应 AC 端子的相位产生直接影响。因此,一条变换器支路的操作对连接在其他变换器支路的 AC 端子的相位具有最小限度的影响。

## 附图说明

[0051] 下面将参照附图,通过非限制性示例的方式对本发明的优选实施例进行描述,其中:

[0052] 图 1 和图 2 以示意图的方式示出了现有技术的电压源变换器;

[0053] 图 3 示出了根据本发明第一实施例的电力电子变换器;

[0054] 图 4 示出了使用链连式变换器合成的 50Hz 正弦波形;

[0055] 图 5a 和 5b 分别示出了 AC 电压波形的正半周期和负半周期的产生;

[0056] 图 6 示出了 AC 电压波形的步进式逼近法;

[0057] 图 7a 和 7b 分别示出了在输入有功功率并输出有功功率的链连式变换器中能量随时间的变化;

[0058] 图 7c 示出了经过净零能量的链连式变换器的功率特性随时间的变化;

[0059] 图 8 示出了在图 3 示出的所述电力电子变换器中创建流电路径;

[0060] 图 9 示出了图 8 中示出的所述流电路径的放大图;

[0061] 图 10a 示出了在限定了所述流电路径的情况下图 3 中示出的所述电力电子变换器中 AC 电压的变化;

[0062] 图 10b 示出了未限定流电路径的情况下图 3 中示出的所述电力电子变换器中 AC 电压的变化;以及

[0063] 图 11 示出了根据本发明第二实施例的电力电子变换器。

### 具体实施方式

[0064] 根据本发明第一实施例的电力电子变换器 30 如图 3 所示。

[0065] 电力电子变换器 30 包括变换器支路 32,所述变换器支路 32 包括第一 DC 和第二 DC 端子 34、36 和 AC 端子 38。

[0066] 在使用时,第一 DC 端子和第二 DC 端子 34、36 分别连接到 DC 网络 40 的正端子和负端子,所述正端子和负端子分别带有  $+V_{dc}/2$  和  $-V_{dc}/2$  的电压,而 AC 端子 38 在使用时连接到 AC 网络 42。

[0067] 所述变换器支路 32 限定第一支路部分和第二支路部分 44、46。在变换器支路 32 中,第一支路部分 44 串联连接在 AC 端子 38 和第一 DC 端子 34 之间,而第二支路部分 46 串联连接在 AC 端子 38 和第二 DC 端子 36 之间。

[0068] 在示出的实施例中,各支路部分 44、46 包括四个串联连接的初级开关元件 48。在其他实施例中,每个支路部分可包括多于或少于四个的初级开关元件,这取决于各支路部分 44、46 所需的额定电压。

[0069] 各支路部分 44、46 进一步包括与串联连接的初级开关元件 48 串联连接的链连式变换器 50。在示出的实施例中,每个链连式变换器 50 包括串联连接的三个模块 52。每个链连式变换器 50 中模块 52 的数量取决于相应的支路部分 44、46 所需的额定电压,因此该数量可根据额定电压需求多于或少于三个。

[0070] 每个链连式变换器 50 的每个模块 52 包括与电容器 56 并联的两对次级开关元件 54,以限定四象限双极性模块,四象限双极性模块能够提供负电压、零电压或正电压且能够双向传导电流。

[0071] 在本发明的其他实施例中,多个串联连接的初级开关元件 48 和第一支路部分、第二支路部分 44、46 中每个部分的链连式变换器 50 之间的串联连接,使得初级开关元件 48 和链连式变换器 50 能够以相反顺序连接在 AC 端子 38 和相应的 DC 端子 34、36 之间。

[0072] 各支路部分 44、46 进一步包括初级电感器 80,初级电感器 80 与链连式变换器 50 和多个串联连接的初级开关元件 48 串联连接。各支路部分 44、46 的初级电感器有助于限制每个链连式变换器 50 的模块 52 中的电容器 56 和任何其他并联连接的电容器之间的瞬态电流,并且由此将能量损耗最小化。

[0073] 电力电子变换器 30 进一步包括与变换器支路 32 的 AC 端子 38 串联连接的次级电感器 58,所述次级电感器 58 在使用时连接在 AC 端子 38 和 AC 网络 42 之间。次级电感器 58 对流经 AC 端子 38 和 AC 网络 42 之间的 AC 电流进行调节。

[0074] 电力电子变换器 30 还包括一对 DC 链电容器 60,该对 DC 链电容器 60 串联连接在第一 DC 端子和第二 DC 端子 34、36 之间,并且与变换器支路 32 并联连接。在示出的实施例中,该对 DC 链电容器 60 之间的交叉点 62 限定到地 64 的连接。在本发明其他实施例中(未示出),交叉点 62 无需接地。

[0075] 每个链连式变换器 50 的模块 52 中的次级开关元件 54 可操作以对每个链连式变



换器 50 进行配置,以提供阶梯式可变电压源。次级开关元件 54 还在 AC 网络 42 的基频附近进行切换。

[0076] 通过改变次级开关元件 54 的状态,每个模块 52 的电容器 56 可被旁路或插入至相应的链连式变换器 50 中。

[0077] 当次级开关元件对 54 被配置为在所述模块 52 中形成短路时,每个模块 52 的电容器 56 则被旁路掉。这使电力电子变换器 30 中的电流经过所述短路并旁路掉电容器 56,因此模块 52 能够提供零电压。

[0078] 当次级开关元件对 54 被配置为允许变换器电流流入和流出电容器 56 时,每个模块 52 的电容器 56 插入至相应的链连式变换器 50 中。接着所述电容器 56 能够充电或者释放其存储的能量以提供电压。四象限双极性模块 52 的双向特性意味着所述电容器 56 可正向或反向插入至模块 52 中,以提供正电压或负电压。

[0079] 因此,通过将多个模块 52 的电容器 56 (各自提供其自身的电压) 插入至链连式变换器 50 中,有可能在每个链连式变换器 50 两端建立组合电压,该组合电压高于从每个单独的模块 52 可获得的电压。

[0080] 四象限双极性模块 52 提供正负电压的能力意味着每个链连式变换器 50 两端的电压可从提供正负电压的模块 52 的组合而建立。因此,通过将模块 52 控制为交替提供正负电压,各电容器 56 中的能级可保持在最优水平。

[0081] 在本发明的其他实施例中(未示出),可设想的是,每个链连式变换器的每个模块可包括一组串联连接的次级开关元件,该组串联连接的次级开关元件与相应的电容器并联连接成半桥结构,以限定能够提供零电压或正电压且能够双向传导电流的二象限单极性模块。

[0082] 有可能改变针对每个模块 52 的切换操作的定时,使得各模块 52 中的电容器 56 的插入至链连式变换器 50 和 / 或旁路导致电压波形的产生。使用第一实施例中的链连式变换器 50 产生电压波形的实例如图 4 所示。对各模块 52 中的电容器 56 的插入进行交错,以产生 50Hz 正弦波形。通过调整链连式变换器 50 中每个模块 52 的切换操作的定时,可产生其他波形形状。

[0083] 在示出的实施例中,初级开关元件和次级开关元件 48、54 中的每一个为绝缘栅双极晶体管(IGBT)。在本发明的其他实施例中(未示出),初级开关元件和次级开关元件 48、54 中的一个或多个可包括一不同的半导体器件,如场效应晶体管、栅关断晶闸管、绝缘栅换向晶闸管、集成栅换向晶体管或其他强制换向或自换向半导体开关。如图 3 所示,每个初级开关元件和次级开关元件 48、54 均与反并联二极管并联连接。

[0084] 上述半导体器件的快速切换能力使得电力电子变换器 30 能够合成复杂波形以注入至电力电子变换器 30 的交流侧和 / 或直流侧。这种复杂波形的注入可用于例如将通常与基于线换向晶闸管的电压源变换器相关联的谐波失真水平最小化。

[0085] 还可设想的是,在本发明的其他实施例中(未示出),每个模块 52 中的电容器 56 可由不同的储能器件所取代,如燃料电池、蓄电池、光伏电池或具有关联整流器的辅助 AC 发生器。

[0086] 在使用时,第一支路部分和第二支路部分 44、46 的初级开关元件 48 可操作为将各链连式变换器 50 切入与切出相应的 DC 端子 34、36 和 AC 端子 38 之间的电路。链连式变换

器 50 还可操作以在相应的 AC 端子 38 处产生电压波形,以便于 AC 网络与 DC 网络 42、40 之间的电力变换。

[0087] 图 5a 和 5b 示出了电力电子变换器 30 在变换器支路 32 的 AC 端子 38 处产生 AC 电压波形的正半周期和负半周期的操作。

[0088] 为了产生 AC 电压波形的正半周期 66,第一支路部分 44 被切入电路,而第二支路部分 46 被切出电路,且第一支路部分 44 的链连式变换器 50 被控制为对其电压进行改变。如图 5 所示,链连式变换器 50 的电压被改变,以抵消在第一 DC 端子 34 处的电压,进而在 AC 端子 38 处合成正的半正弦波 66。

[0089] 为了产生 AC 电压波形的负半周期 68,第一支路部分 44 被切出电路,而第二支路部分 46 被切入电路,且第二支路部分 46 的链连式变换器 50 被控制为对其电压进行改变。链连式变换器 50 的电压再次改变以抵消在第二 DC 端子 36 处的电压,进而在 AC 端子 38 处合成负的半正弦波 68。

[0090] 如图 6 所示,优选地,链连式变换器 50 可操作为利用步进式逼近法来产生正弦电压波形 70。链连式变换器由于其提供电压阶跃 72 以提高或降低在相应的 AC 端子处的输出电压的能力而适合用于步进式波形的产生。电压波形 70 的步进式逼近法可通过使用数量较多的具有较低电压电平的模块来增加电压阶跃 72 数目的方式得以改善。

[0091] 如上所述,在电力电子变换器 30 将 AC 电变换为 DC 电或将 DC 电变换为 AC 电的操作期间,电力电子变换器 30 的 AC 侧和 DC 侧的功率电平可根据所连的 AC 和 DC 网络 42、40 的有功和无功功率的需求而改变。

[0092] 当电力电子变换器 30 的 AC 侧和 DC 侧的功率电平不等时,每个链连式变换器 50 在电力变换过程中则将有功功率输入或输出。这会导致每个链连式变换器 50 的能量水平 76a、76b 随时间而升高或降低,如图 7a 和 7b 所示。能量水平的这些变化可导致每个模块 52 完全放电或由过高的电压电平损坏。这些变化还可导致链连式变换器 50 在相应的 AC 端子 38 处对特定的电压波形进行合成的失败。

[0093] 因此,期望的是,如图 7c 所示,在每个链连式变换器中保持随时间的净零能量变化 76c。为了达到净零能量变化,电力电子变换器 30 被配置为进行如下操作。

[0094] 在从所述 AC 电压波形的正半周期过渡到负半周期之前的很短时间内,每个支路部分 44、46 的初级开关元件 48 均接通以将支路部分 44、46 同时切换至电路中,如图 8 中间的示意图和图 9 所示。两组初级开关元件 48 均在预设时间(即,重叠时段 82)内接通。如图 8 和图 9 所示,初级开关元件 48 的同步接通使包括变换器支路 32 的每个支路部分 44、46 和 DC 链电容器 60 的流电路径 78 得以限定。

[0095] 为了简单起见,在图 8 和图 9 中,DC 链电容器对 60 示为单一的 DC 链电容器。

[0096] 在重叠时段 82 内,流电路径 78 对可在流电路径 78 中流经任一方向的 DC 流通电流进行传导。DC 流通电流可用于恢复耗尽的电荷或从具有偏离期望值的能量水平的每个链连式变换器 50 的相应模块 52 的任一电容器 56 中消除过量的电荷。这样,DC 流通电流能够在每个链连式变换器 50 中保持净零能量变化。

[0097] 特别地,在重叠时段 82 内,每个链连式变换器 50 被控制为插入具有偏离期望平均值(或落在所需操作范围之外)的电压的模块 52 的一个或多个。每个模块 52 可根据每个模块 52 的电压电平进行正向或反向地插入,该模块 52 的插入使得 DC 流通电流能够流经被

插入的模块 52, 以便根据需要在相应的电容器 56 中恢复耗尽的能量或从相应的电容器 56 中消除过量的能量。

[0098] 在给定的链连式变换器 50 中已处于所需能量水平的任何电容器 56 可被旁路。

[0099] 在本发明优选的实施例中, 电容器能量调节, 即电容器电荷消除或恢复, 通过改变重叠时段 82 的持续时间和 / 或 DC 流通电流的大小来控制。例如, 重叠时段 82 的持续时间越长, 给定程度的能量消除或恢复所需的 DC 流通电流越小。

[0100] 在本发明优选的实施例中, 重叠时段 82 跨越由正半周期 66 的产生到负半周期 68 的产生的过渡, 最优选地均等延伸至每个产生部分。这一操作使得电容器能量调节步骤能够很容易地集成到功率变换过程中, 以允许电力电子变换器 30 进行连续操作。

[0101] 优选地, DC 流通电流的大小通过操作每个链连式变换器 50 来对其自身的模块 52 进行插入或旁路而改变, 以改变相应的链连式变换器 50 两端的电压 51, 进而改变相关联的初级电感器 80 两端的电压。在这点上, 每个链连式变换器 50 和所述或每个相关联的初级电感器 80 共同充当 DC 电流调节器。如上所述, 每个链连式变换器 50 产生复杂电压波形的能力使得 DC 流通电流能够得以精确调整以符合所述电容器能量平衡步骤的要求。

[0102] 在本发明的其他实施例中 (未示出), 电力电子变换器可进一步包括至少一个三级电感器, 所述至少一个三级电感器与所述变换器支路的所述第一 DC 端子和第二 DC 端子之间的 DC 链电容器对串联连接。所述或每个这种三级电感器还形成在重叠时段 82 期间产生的流电路径 78 的一部分, 因此, 如上所述, 改变所述或每个链连式变换器 50 两端的电压也会改变所述或每个三级电感器两端的电压, 从而提供对 DC 流通电流大小的额外控制。

[0103] 在电容器能量调节过程之后, 第一支路部分 44 的初级开关元件 48 被关断以将第一支路部分 44 切出电路, 进而使得电力电子变换器 30 能够在 AC 端子 38 处产生 AC 电压波形的负半周期, 如图 8 中最右边示意图所示。

[0104] 类似的, 在从所述 AC 电压波形的负半周期过渡到正半周期之前的很短时间内, 两个支路部分 44、46 的初级开关元件 48 均再次同时接通以限定流电路径 78, 进而使得电容器能量调节过程得以实现。

[0105] 图 10a 示出了在电容器能量调节过程中在每个半周期产生时, 即在针对相应的重叠时段 82 对流电路径 78 进行限定时, AC 电压随时间的变化。

[0106] 作为使用至少一个链连式变换器 50 以改变 DC 流通电流的大小的一种替代方法, 可设想的是, 本发明的其他实施例 (未示出) 可包括可变初级电感器形式的不同 DC 电流调节器。这种可变初级电感器将可操作为改变其自身的感应系数以直接改变所述可变初级电感器两端的电压 81, 从而改变流经所述可变初级电感器的 DC 流通电流的大小。

[0107] 此外, 在重叠时段 82 期间, 任一或两个链连式变换器 50 可额外地操作为改变流经 AC 端子 38 和 AC 网络 42 之间的 AC 电流 85, 以便 AC 电流 85 遵循正弦波形的近似逼近。以这种方式对 AC 电流进行控制有助于确保 AC 网络 42 最低限度地受到相应的电容器能量调节过程的影响。

[0108] 作为一种替代方法, 可设想的是, 在本发明的其他实施例 (未示出) 中, 次级电感器 58 可操作为改变其自身的感应系数以直接改变所述次级电感器两端的电压 59, 从而改变流经 AC 端子 38 和 AC 网络 42 之间的 AC 电流 85。

[0109] 使用任一上述方法改变 AC 电流 85, 其结果为, 在重叠时段 82 期间的 AC 电压波形

84a 的形状 (如图 10a 所示) 类似于正常 AC 电压波形 84b 的形状 (如图 10b 所示)。

[0110] AC 电流 85 的特征最低限度地取决于 DC 流通电流, 因此在对已连接的 AC 网络 42 不造成显著影响的情况下, 可改变 DC 流通电流以遵循不同的波形形状 (如方波、三角波和锯齿波形)。DC 流通电流的形成使得能够通过降低模块切换频率以及将出现于 DC 网络 40 的 DC 电压中的 DC 纹波最小化来实现电力电子变换器 30 的进一步优化。

[0111] 可控制为在电力电子变换器 30 中选择地限定流电路径 78 的支路部分 44、46 的设置, 实现了链连式变换器 50 中模块 52 的电压平衡, 即, 模块 52 中的电容器能量平衡, 从而带来兼容于大范围的有功和无功功率操作条件的灵活的电力电子变换器装置。

[0112] 使用链连式变换器 50 来改变 DC 流通电流大小的能力是有利的, 这是因为其允许电力电子变换器 30 在大范围内的有功和无功功率操作条件内进行操作, 其中, 与链连式变换器 50 的有功功率交换在不同情况下的变化很大。

[0113] 此外, 平衡各模块 52 间的电压电平的能力, 即平衡电容器能量水平的能力, 是很有益的, 这是因为该能力意味着任一特定模块 52 的电压可保持约等于平均模块电压。这有助于确保模块组件可在其设计电压的限制范围内操作, 且经组合的模块能够产生变换器路端电压的适当范围以满足稳定状态的操作和故障响应。

[0114] 使用链连式变换器 50 来实现功率变化和 DC 流通电流的控制, 不需要单独的电压平衡设备。这不仅降低了变换器硬件的成本、尺寸和重量, 而且简化了电力电子变换器 30 的操作过程和控制方案。

[0115] 此外, 链连式变换器 50 在重叠时段期间的切换可控制为允许每个支路部分 44、46 中的初级开关元件 48 在零电流和 / 或电压的附近进行切换。每个初级开关元件 48 在低电流和 / 或电压或零电流和 / 或电压处的这一切换, 最小化了在相应初级开关元件 48 中的切换损耗, 从而提高了电力电子变换器 30 的整体效率。

[0116] 图 11 示出了根据本发明第二实施例的电力电子变换器 130。第二电力电子变换器 130 与第一电力电子变换器 30 共用很多特征, 且这些共用的特征被指定使用相同的参考标记。

[0117] 第二电力电子变换器 130 包括三条变换器支路 32。除了第二电力电子变换器 130 中的每条变换器支路 32 的 AC 端子 38 在使用时连接到三相 AC 网络 42 的相应相之外, 每条变换器支路 32 在结构和操作上与第一电力电子变换器 30 的变换器支路 32 类似。

[0118] 此外, 第二电力电子变换器 130 包括单个的 DC 链电容器 60 来取代一对 DC 链电容器 60。单个的 DC 链电容器 60 串联连接在第一 DC 端子和第二 DC 端子 34、36 之间, 且与每条变换器支路 32 并联连接。

[0119] 在本发明的更多实施例中 (未示出), 分相电容器 (split capacitor) 可包含在第一 DC 端子和第二 DC 端子 34、36 之间, 其中, 该分相电容器的中点接地。

[0120] 在第二电力电子变换器 130 中, 初级开关元件 48 和每条变换器支路 32 的链连式变换器 50 的串联连接在操作上独立于初级开关元件 48 和其他变换器支路 32 的链连式变换器 50 的串联连接。这样, 这一操作仅对连接在相应 AC 端子 38 的相位产生直接影响, 而对连接在其他变换器支路 32 的 AC 端子 38 的相位具有最小限度的影响。

[0121] 可设想的是, 在其他实施例中, 所述电力电子变换器可包括任何数量的变换器支路, 每条变换器支路包括在使用时连接到多相 AC 网络的相应相的 AC 端子。

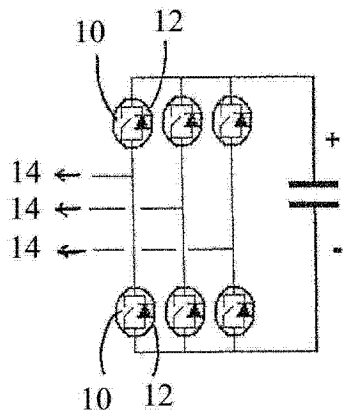


图 1

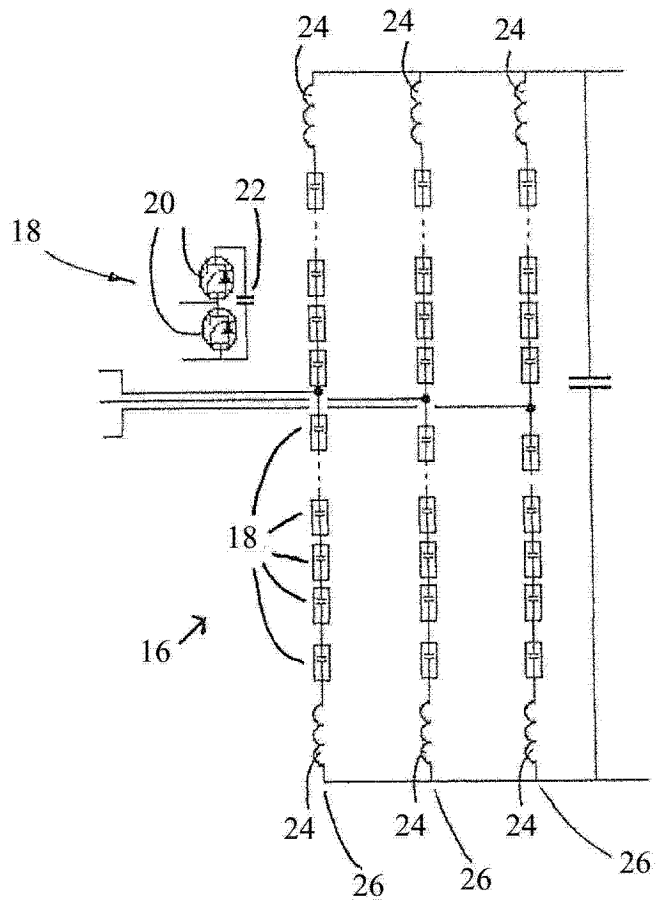


图 2

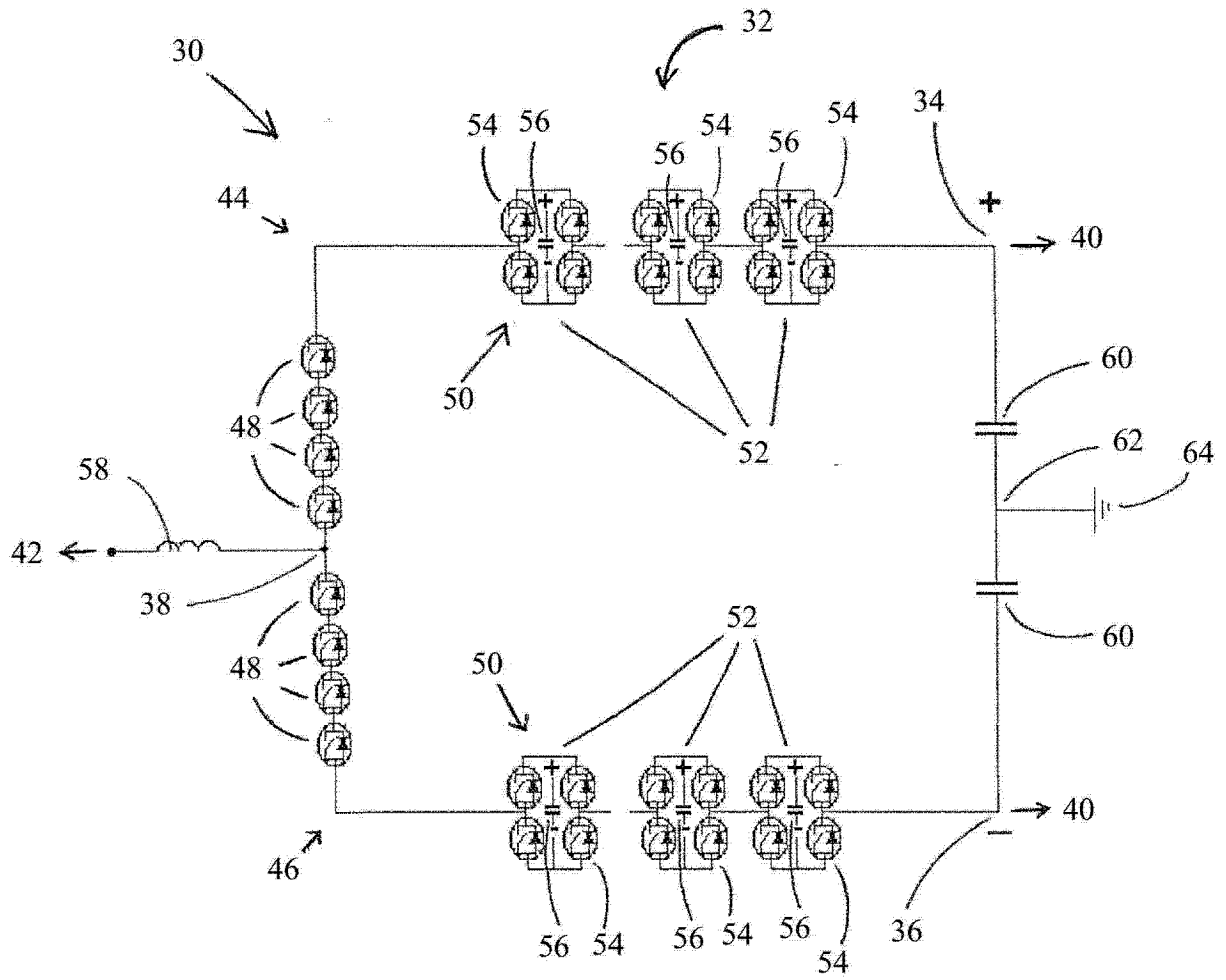


图 3

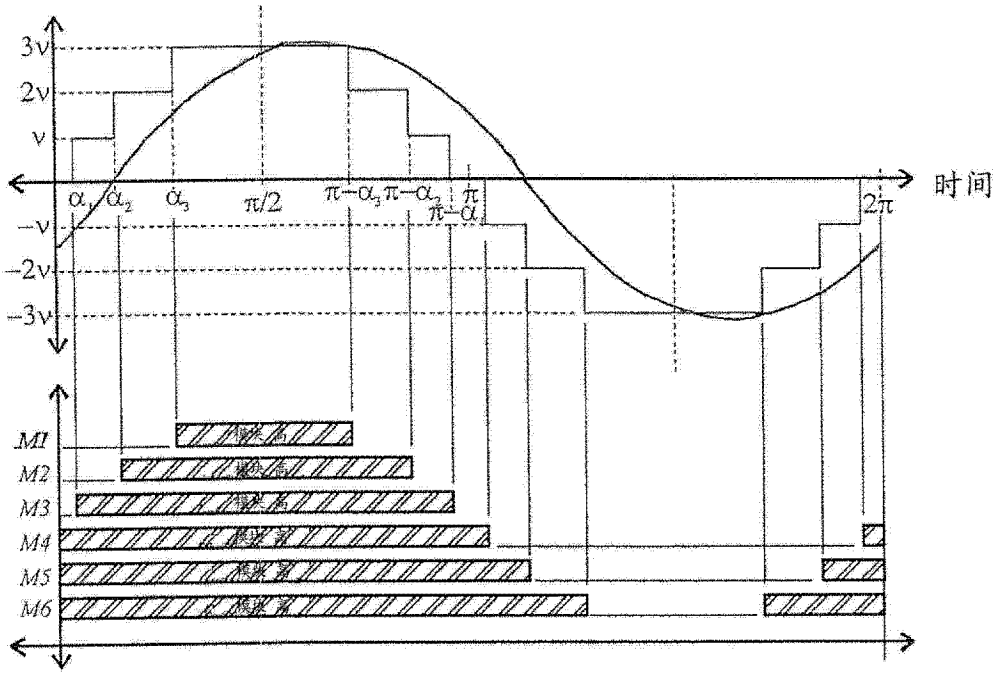


图 4

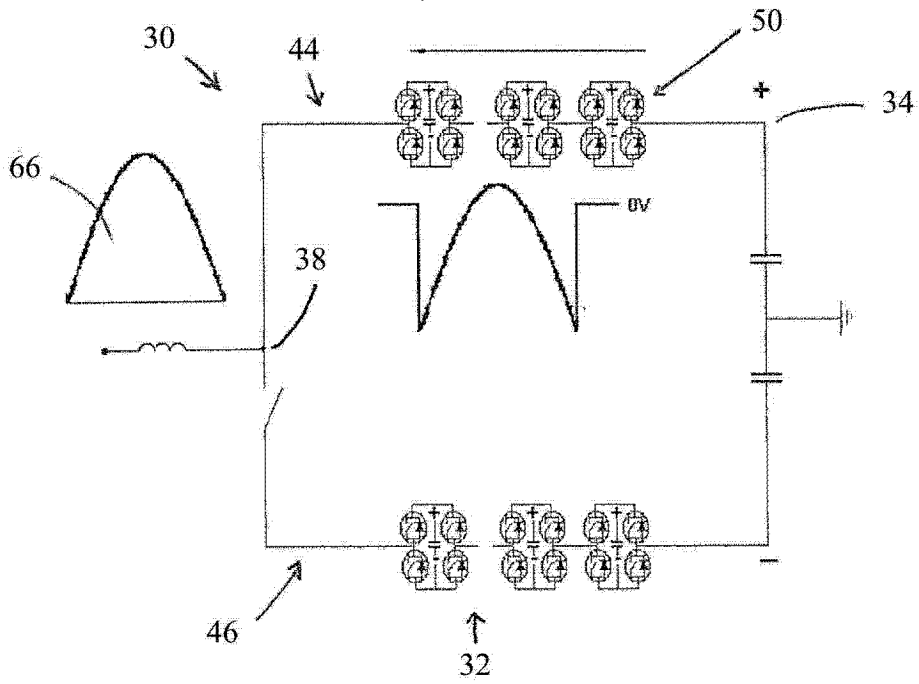


图 5a

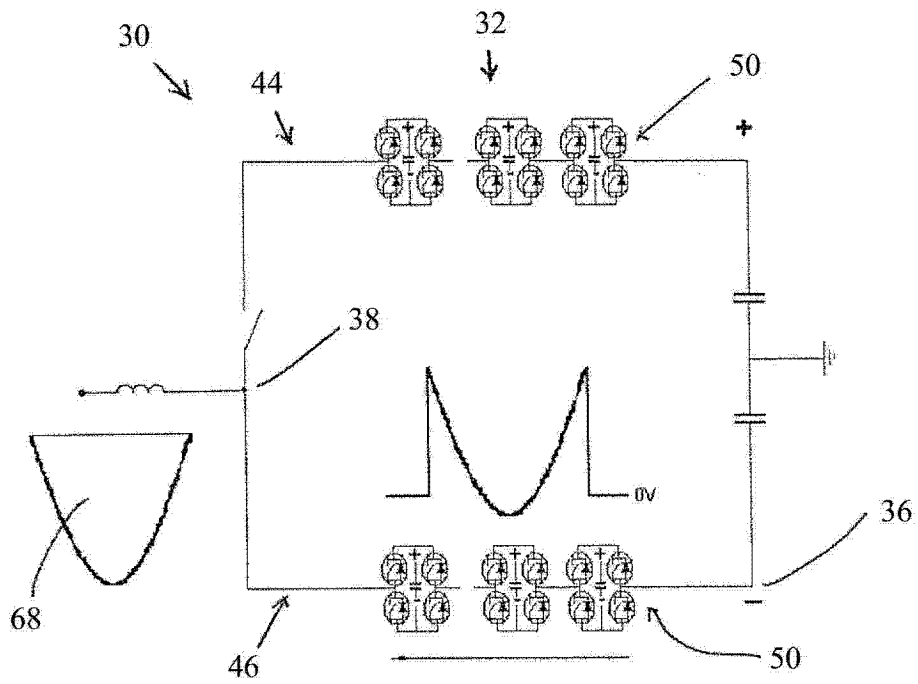


图 5b

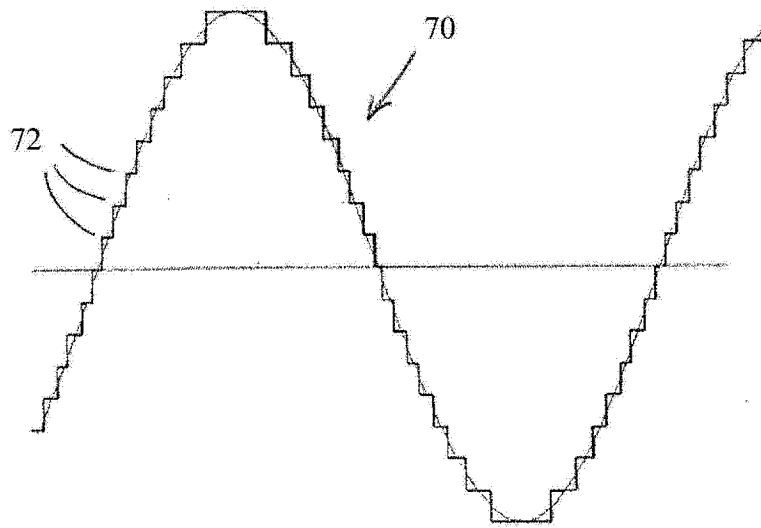


图 6



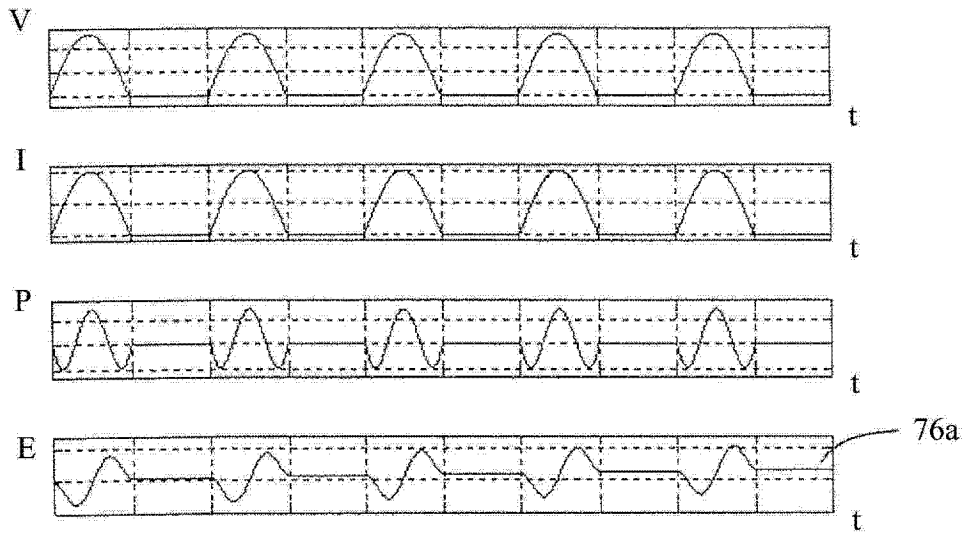


图 7a

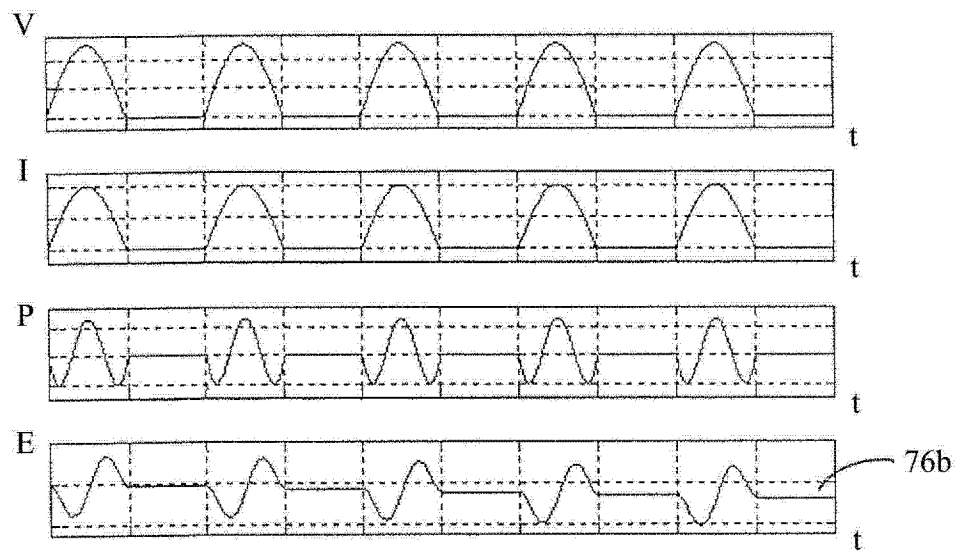


图 7b

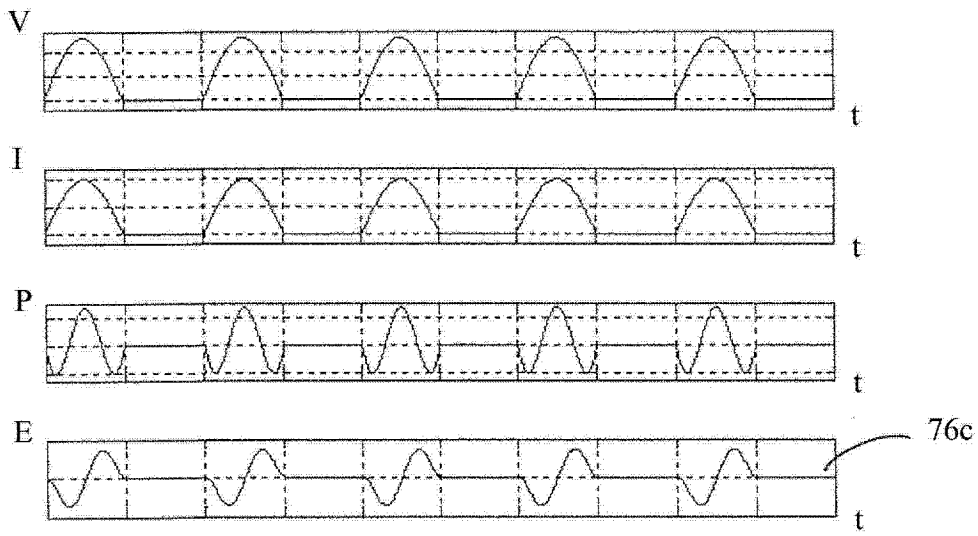


图 7c

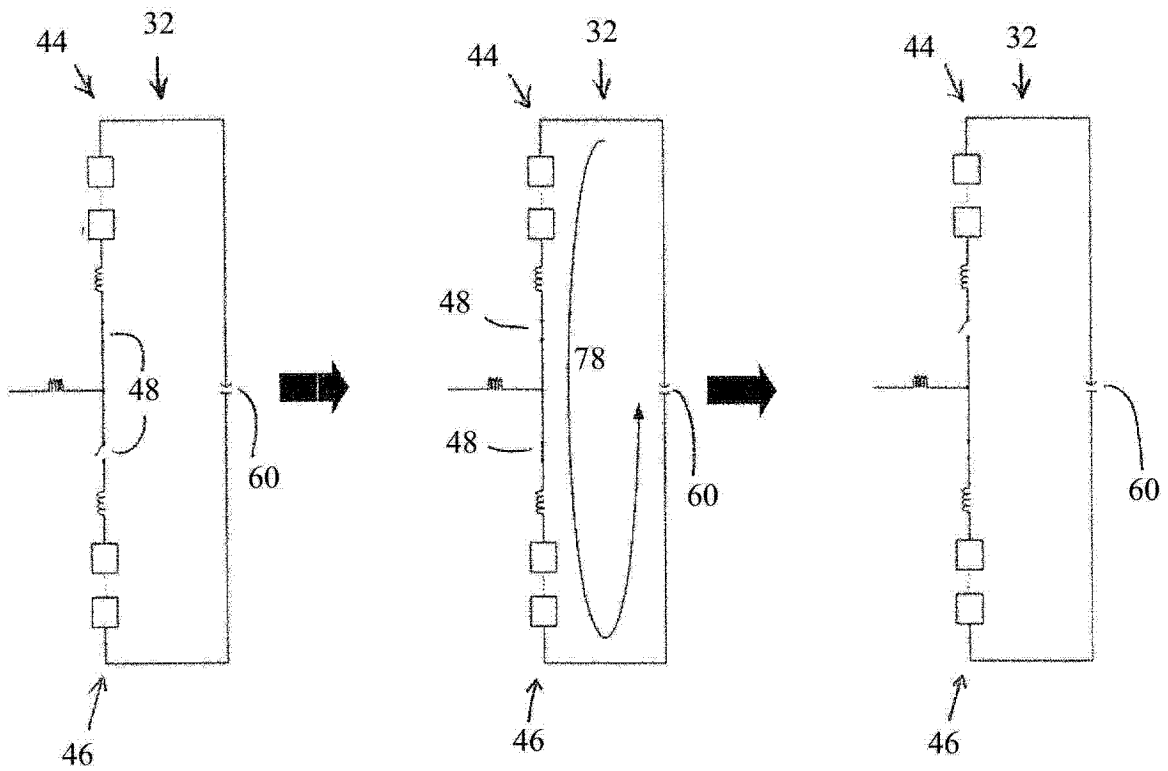


图 8

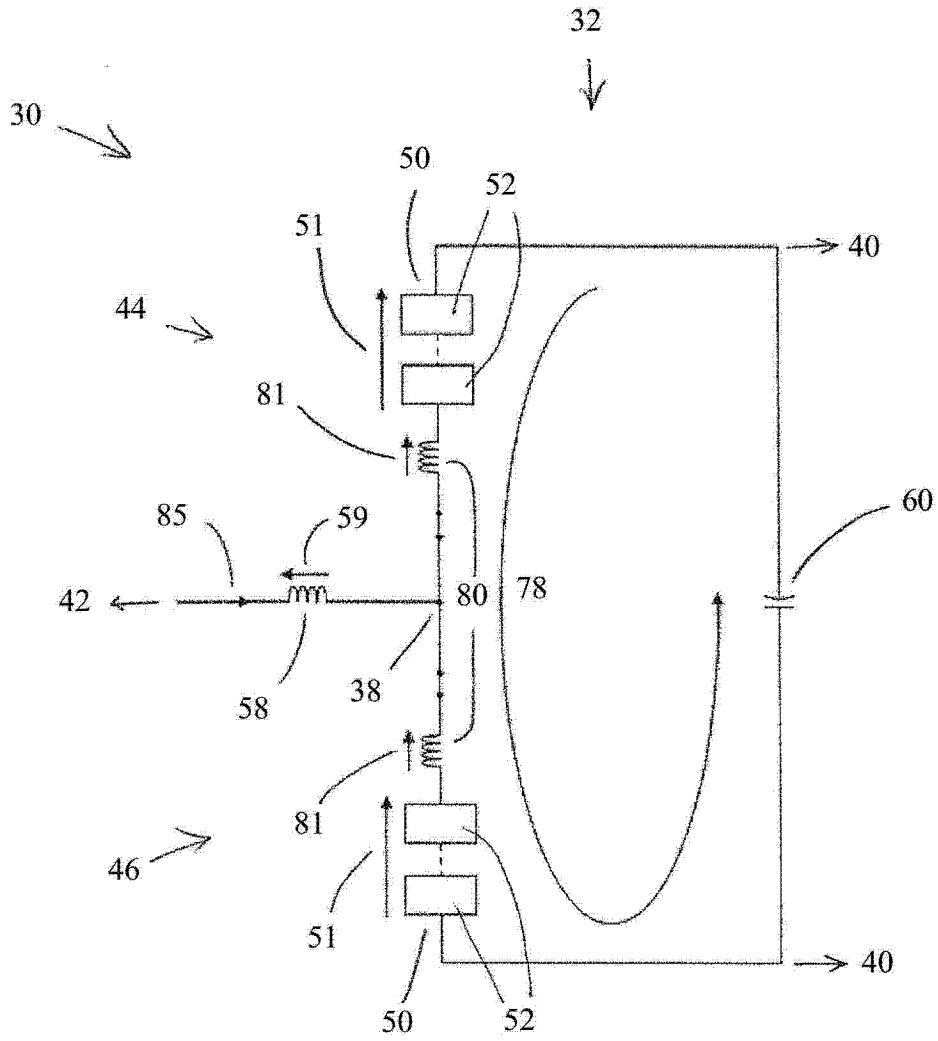


图 9

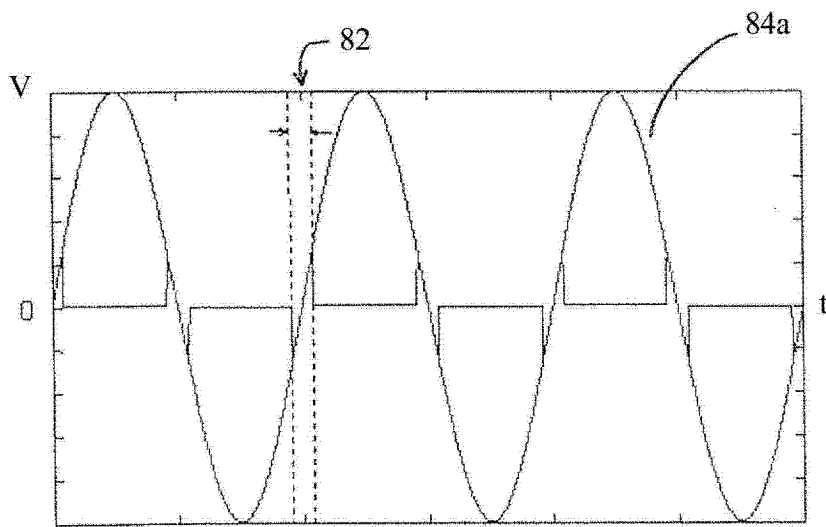


图 10a

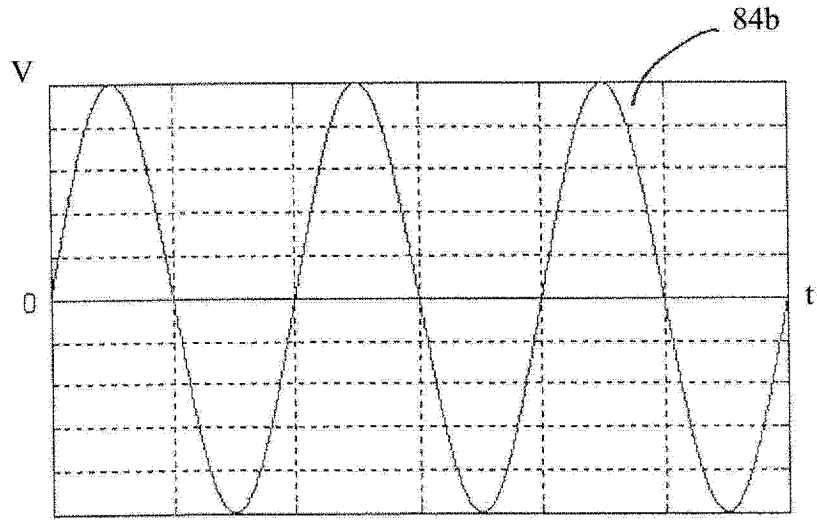


图 10b

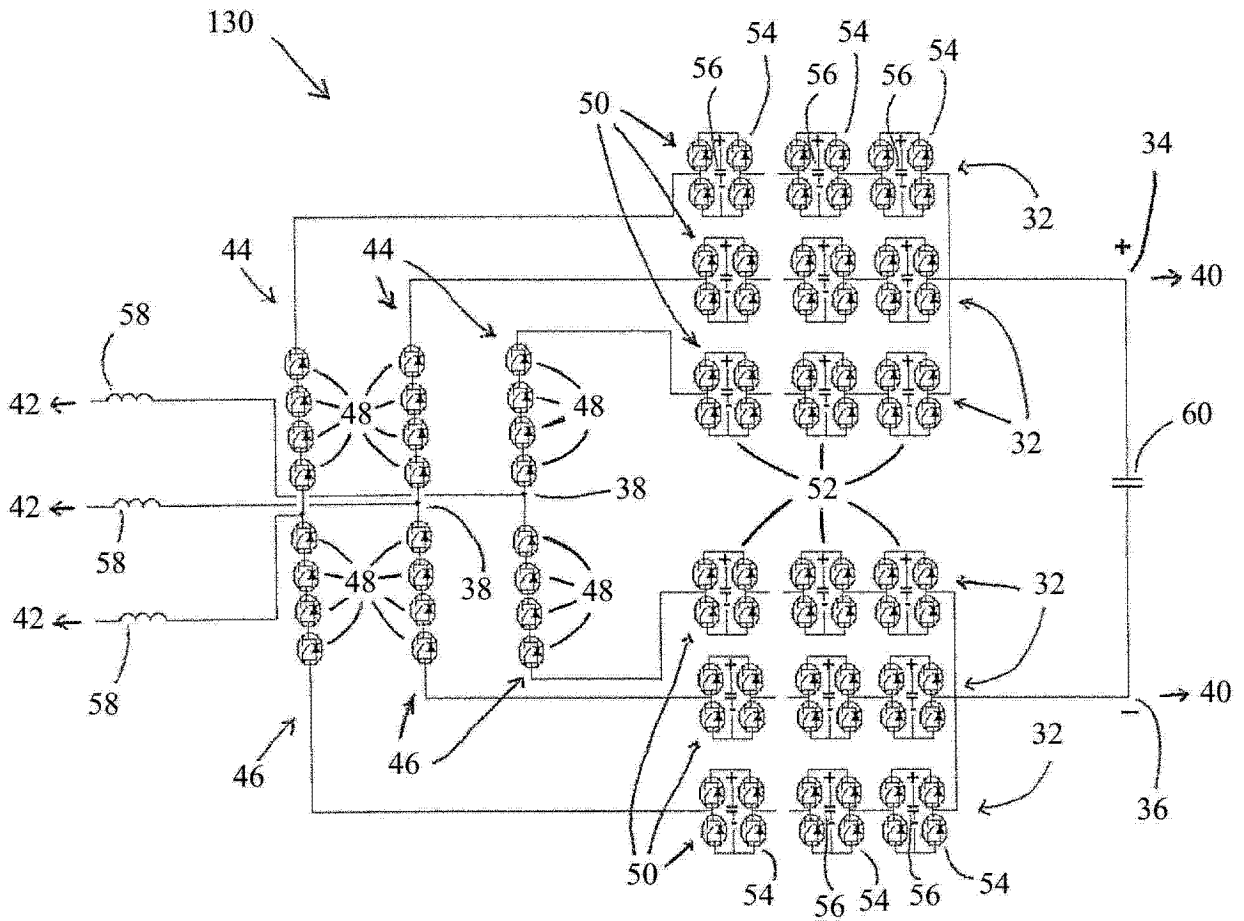


图 11