



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103620942 B

(45)授权公告日 2017.06.13

(21)申请号 201180071925.X

(22)申请日 2011.06.29

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103620942 A

(43)申请公布日 2014.03.05

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2013.12.26

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2011/060907 2011.06.29

(87)PCT国际申请的公布数据

W02013/000510 EN 2013.01.03

(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 戴维·雷金纳德·特雷纳

蒂莫西·查尔斯·格林

迈克尔·马克·克劳德·梅林

迭戈·索托-桑切斯

(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 孟桂超 张颖玲

(51)Int.Cl.

H02M 7/49(2006.01)

H02J 3/18(2006.01)

(56)对比文件

WO 2010145705 A1, 2010.12.23,

CN 103283140 A, 2013.09.04,

审查员 王萌

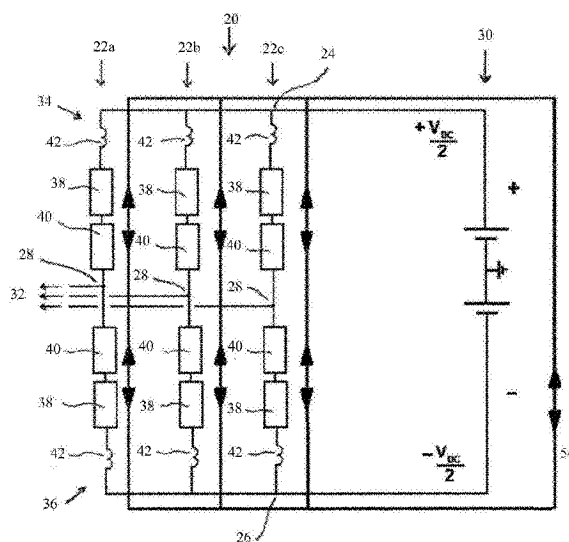
权利要求书2页 说明书10页 附图6页

(54)发明名称

变换器

(57)摘要

一种电力电子变换器(20),用于高压直流电力传输和无功功率补偿。该电力电子变换器(20)包括至少一条变换器支路(22a,22b,22c),该至少一条变换器支路(22a,22b,22c)包括连接到DC网络(30)的第一端子和第二端子(24,26)、以及第三端子(28),所述或每条变换器支路(22a,22b,22c)限定串联连接的、位于所述第三端子(28)与该第一端子和第二端子(24,26)中每个端子之间的第一支路部分和第二支路部分(34,36),每个支路部分(34,36)包括链式变换器(38),每个链式变换器(38)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初级开关元件,每条变换器支路(22a,22b,22c)可受控以选择性地限定承载AC流通电流(54)的流电路径,该AC流通电流(54)被提供至所述DC网络(30)以将提供至所述DC网络(30)的DC电压中的DC纹波最小化。



1. 一种电力电子变换器(20), 用于高压直流电力传输和无功功率补偿, 所述电力电子变换器(20)包括至少一条变换器支路(22a, 22b, 22c), 所述至少一条变换器支路(22a, 22b, 22c)包括连接到DC网络(30)的第一端子和第二端子(24, 26)、以及第三端子(28), 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)限定串联连接的、位于所述第三端子(28)与所述第一端子和第二端子(24, 26)中每个端子之间的第一支路部分和第二支路部分(34, 36), 每个支路部分(34, 36)包括链式变换器(38), 每个链式变换器(38)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初级开关元件, 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)受控以选择性地限定承载AC流通电流(54)的流通过程, 该AC流通电流(54)被提供至所述DC网络(30)以将提供至所述DC网络(30)的DC电压中的DC纹波最小化, 其中, 至少两条变换器支路(22a, 22b, 22c)同时受控以将相应的两个所述支路部分(34, 36)同时切入电路以限定所述流通过程。

2. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个支路部分(34, 36)进一步包括与所述链式变换器(38)串联连接的至少一个次级开关元件, 所述至少一个次级开关元件受控以选择性地将相应的支路部分切入或切出电路。

3. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 所述至少两条变换器支路(22a, 22b, 22c)相继受控以将相应的两个所述支路部分(34, 36)同时切入电路以限定所述流通过程。

4. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)受控以在一预定重叠时段选择性地限定所述流通过程, 以控制所述AC流通电流流动的持续时间。

5. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 所述流通过程包括用于调节所述AC流通电流的至少一个电流调节器。

6. 根据权利要求5所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个电流调节器包括所述链式变换器中的至少一个链式变换器和与每个链式变换器串联连接的至少一个初级电感器, 每个链式变换器被操作为改变自身电压, 以改变每个初级电感器两端的电压, 从而调节所述AC流通电流的大小。

7. 根据权利要求5所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个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受控以改变自身的电感, 以调节所述AC流通电流。

8. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个链式变换器(38)中每个模块的每个初级开关元件受控以配置相应的链式变换器来提供步进式可变电压源。

9. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)的所述第三端子(28)被连接到AC网络的相应相上。

10. 根据权利要求9所述的电力电子变换器(20), 其中, 所述链式变换器(38)受控以在相应的第三端子处产生AC电压波形。

11. 根据权利要求10所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个链式变换器(38)被操作为改变自身电压, 以在流通过程被限定时在所述相应的第三端子(28)处产生AC电压波形。

12. 根据权利要求10所述的电力电子变换器(20), 其中, 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)受控以在所述AC电压波形的部分或整个周期限定所述流通过程。

13. 根据权利要求10所述的电力电子变换器(20), 其中, 所述AC电压波形为正弦波形的

近似逼近。

14. 根据权利要求10所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个链式变换器(38)受控以将一个或多个零相序三倍数次谐波分量注入至所述AC电压波形。

15. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 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初级开关元件。

16. 根据权利要求15所述的电力电子变换器(20), 其中, 所述多个串联连接的初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。

17. 根据权利要求15所述的电力电子变换器(20), 其中, 所述多个串联连接的初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。

18. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 至少一个开关元件包括至少一个半导体器件。

19. 根据权利要求18所述的电力电子变换器(20), 其中, 至少一个半导体器件为绝缘栅双极晶体管、栅关断晶闸管、场效应晶体管、注入增强栅晶闸管或集成栅换向晶体管。

20. 根据权利要求18所述的电力电子变换器(20), 其中, 至少一个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。

21. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 至少一个储能器件包括电容器、燃料电池或蓄电池。

22. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 其中, 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)的每个支路部分(34, 36)受控以选择性地限定承载DC流通电流的流通路径, 以调节相应的链式变换器中至少一个储能器件的能量水平。

23. 根据权利要求5所述的电力电子变换器(20), 其中, 每条变换器支路(22a, 22b, 22c)的每个支路部分(34, 36)受控以选择性地限定承载DC流通电流的流通路径, 以调节相应的链式变换器中至少一个储能器件的能量水平。

24. 根据权利要求23所述的电力电子变换器(20), 其中, 每个电流调节器受控以对所述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定电压水平的任何偏差最小化。

25. 根据权利要求22所述的电力电子变换器(20), 其中, 每条变换器支路的每个支路部分受控以选择性地限定承载所述AC流通电流和所述DC流通电流的组的流通路径。

26. 根据权利要求1所述的电力电子变换器(20), 所述电力电子变换器(20)包括多条变换器支路。

变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于高压直流 (HVDC) 电力传输及无功功率补偿的电力电子变换器。

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。这种变换免除了对由传输线或电缆引入的AC电容性负载影响进行补偿的需要,从而降低了线路和/或电缆的每公里成本。因此,当需要长距离传输电力时,AC到DC的变换会具成本效率。

[0003] AC电到DC电的变换也用于需将在不同频率下工作的AC网络进行互连的电力传输网络。在任一这样的电力传输网络中,AC和DC电之间的每个接口处均需要变换器,以产生所需的变换,且一种该形式的变换器为电压源变换器 (VSC)。

[0004] AC电通常根据AC相的数量,以一个或多个正弦波的形式进行传输。但电压源变换器的AC侧存在正弦AC波会导致电压源变换器的DC侧和相关DC网络中的高水平DC电压纹波。DC电压纹波通常为AC系统频率的倍数,例如,6次谐波、12次谐波等等。

[0005] DC网络中存在DC纹波是不利的,这是由于该DC纹波不仅在电力传输上无任何增加的前提下消耗DC传输线路的电压、电流和热容量,而且还妨碍通常不容交流电压应力的低成本电缆的使用,从而提高了DC电力传输线路的安装成本。

[0006] 此外,来自分别连接到在不同频率下工作的AC网络的变换器站的DC纹波分量之间的相互作用导致在相关的AC和DC网络中产生复杂的交叉调制。此外,DC纹波的交变属性在DC电力传输线路和测量换能器、用于稳定变换器控制的控制系统之间,以及在DC电力传输线路和邻近的电话线路之间引起不良干扰,这就增加了对DC电力传输线路的布局进行设计的复杂度。

[0007] 通常,电力站在电压源变换器的DC侧使用DC滤波设备(如无源电感性和电容性元件)来最小化DC纹波。并联电容和串联电感分别与电压源变换器结合使用使电压和电流波纹减小。但电力传输的高压特性意味着采用大型无源电感性和电容性元件是必要的。这不仅增加了正常运行中的电力损耗,而且增加了相关电力站的尺寸、重量和成本,这在具有有限空间包络的位置(如海边风力发电厂)处是非常不利的。

[0008] 此外,无源滤波器针对频率特性具有固定阻抗,因此无法适应DC侧波纹频率中的变化。在需要变换器站临时工作在异常操作模式时或若更多的VSC站以网格方式连接以形成DC电网时,这种变化会自然出现。

发明内容

[0009] 本发明的一个方面,提供一种电力电子变换器,用于高压直流电力传输以及无功功率补偿,该电力电子变换器包括至少一个变换器支路,该至少一个变换器支路包括连接到DC网络的第一端子和第二端子、以及第三端子,所述或每条变换器支路限定串联连接的、

位于第三端子和第一端子之间的第一支路部分和位于第三端子和第二端子之间的第二支路部分,每个支路部分包括链式变换器,每个链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初级开关元件,每条变换器支路可受控以选择性地限定承载AC流通电流的流通路径,该AC流通电流被提供至DC网络以将提供至DC网络的DC电压中的DC纹波最小化。

[0010] 能够选择性地限定承载AC流通电流的流通路径的一个或多个变换器支路将提供至DC网络的DC电压中的DC纹波最小化的设置免除了在电力电子变换器的DC侧上对单独DC滤波设备的需求。因此,本发明的电力电子变换器比一般的电力变换器成本更低、体积更小、更轻便、更易操作和控制且更为高效。

[0011] 因此,限定承载AC流通电流的流通路径的能力使得电力电子变换器具有兼容于大范围的有功功率和无功功率工作条件的有源滤波能力。

[0012] 优选地,每个支路部分进一步包括与所述链式变换器串联连接的至少一个次级开关元件,所述至少一个次级开关元件可受控以选择性地将相应的支路部分切入或切出电路。

[0013] 与每个支路部分中的链式变换器串联连接的一个或多个次级开关元件的串联组合,以将支路部分切入与切出第三端子与第一端子或第二端子之间的电路,由于这种方式降低了每个链式变换器所需产生的电压范围,因此是有利的。进而可使每个链式变换器中的组件数量最少化。

[0014] 在本发明的实施例中,所述或每条变换器支路可受控以将两个所述支路部分同时切入电路以限定流通路径。

[0015] 这种流通路径的创建提供了将提供至DC网络的DC电压中的DC纹波最小化的选择。

[0016] 在这些实施例中,至少两条变换器支路可同时受控以将相应的两个所述支路部分同时切入电路以限定所述流通路径。

[0017] 以这种方式控制两条或多条变换器支路来限定流通路径,增加了各变换器支路电流的平滑度,从而更易控制。

[0018] 在其他实施例中,变换器支路可相继受控以将相应的两个所述支路部分同时切入电路来限定所述流通路径。

[0019] 该特性使得电力电子变换器在该电力电子变换器的工作期间连续地或周期性地限定流通路径。

[0020] 优选地,每条变换器支路可受控以在一预定重叠时段选择性地限定所述流通路径,以控制所述AC流通电流流动的持续时间。该重叠时段的范围可根据电力电子变换器的设计要求和DC网络中DC纹波的形状而改变。

[0021] 在本发明的其他实施例中,流通路径可包括用于调节AC流通电流的至少一个电流调节器。

[0022] 一个或多个电流调节器的包含在无需单独的DC滤波设备的情况下提供对将DC纹波最小化程度进行控制的进一步选择。

[0023] 电流调节器可调节AC流通电流的大小,以将提供至DC网络的DC电压中的DC纹波最小化。

[0024] 在这些实施例中,所述或每个电流调节器可以为或可包括所述链式变换器中的至

少一个链式变换器和与所述或每个链式变换器串联连接的至少一个初级电感器,所述或每个链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AC流通电流的大小。

[0025] 这种结构在无需单独的DC滤波设备的情况下,易使得DC网络中的DC纹波最小化。

[0026] 在其他实施例中,所述或每个电流调节器可以为或可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AC流通电流。

[0027] 一个或多个可变初级电感器可用于在DC滤波过程中提供有源控制。

[0028] 每个链式变换器的每个模块的所述或每个初级开关元件可受控以配置相应的链式变换器来提供步进式(steppled)可变电电压源。

[0029] 该链式变换器的结构使得每个链式变换器可通过将更多模块插入至该链中提供可以递增的阶跃增大的电压,以提供一电压使该电压大于每个单独模块提供的电压。因此,这一结构可使得由每个支路部分的链式变换器所提供的电压改变,从而使链式变换器能够产生复杂电压波形。

[0030] 在进一步的实施例中,所述或每条变换器支路的第三端子可连接到AC网络的相应相上。在这些实施例中,链式变换器可受控以在相应的第三端子处产生AC电压波形。

[0031] 这种特性使得电力电子变换器可进行整流和逆变处理,以便于AC网络和DC网络之间的电力变换。

[0032] 优选地,每个链式变换器可操作以改变自身电压,以在流通过程被限定时在相应的第三端子处产生AC电压波形。

[0033] 实践证明本发明的电力电子变换器能够最小化DC网络中的DC纹波,同时便于AC网络和DC网络之间的电力变换。

[0034] 优选地,每条变换器支路可受控以在所述AC电压波形的部分或整个周期限定所述流通过程。

[0035] 在AC电压波形的单个周期期间的流通过程的持续时间可根据电力电子变换器的设计要求和DC纹波的特定可接受极限而改变。

[0036] 优选地,所述AC电压波形为正弦波形的近似逼近。

[0037] 具有最小谐波失真的近乎完美的正弦波形式的AC电流的产生意味着在电力电子变换器的AC侧上无需谐波滤波器来控制电力质量。

[0038] 在本发明的实施例中,每个链式变换器可受控以将一个或多个零相序三倍数次谐波分量注入至所述AC电压波形中。

[0039] 零相序三倍数次谐波分量注入至AC电压波形中降低了使所述或每条变换器支路能够限定流通过程所需的每个链式变换器的额定电压。该零相序三倍数次谐波分量的注入并不影响出现在AC网络中的线间电压。

[0040] 在本发明的其他实施例中,至少一个模块可包括与相应的储能器件并联连接的多个串联连接的初级开关元件。

[0041] 为了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,多个串联连接的初级开关元件可与所述相应的储能器件并联连接成半桥结构。

[0042] 为了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,多个串联连接的初级开关元件可与所述相应的储能器件并联连接成全桥结构。

[0043] 至少一个开关元件优选地包括至少一个半导体器件。

[0044] 所述或至少一个半导体器件可为例如绝缘栅双极晶体管、栅关断晶闸管、场效应晶体管、注入增强栅晶闸管或集成栅换向晶体管。

[0045] 至少一个开关元件优选地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。

[0046] 使用半导体器件是有利的,因为这种器件尺寸小、重量轻且具有相对较低的功耗,这就最大限度地降低了冷却设备的需求。因此,使用这些半导体器件使电力变换器在成本、尺寸和重量上显著降低。

[0047] 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可合成复杂波形以注入至该电力电子变换器的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力电子变换器相关联的谐波失真水平最小化。

[0048] 优选地,至少一个储能器件是或包括电容器、燃料电池、蓄电池或能够存储并释放自身电能以提供电压的任何器件。

[0049] 这种灵活性在设备的可用性可由于位置或运输困难而改变的不同场所中在电力电子变换器的设计上是很有用的。例如,在海边风力发电厂,储能器件可为连接到风力涡轮机的辅助AC发电机。

[0050] 在本发明的其他实施例中,相应变换器支路的每个支路部分可受控以选择性地限定承载DC流通电流的流通电路,以调节相应的链式变换器中至少一个储能器件的能量水平。

[0051] 这种流通过程的创建提供用于调节每个链式变换器中所有或部分储能器件的能量水平的选择。

[0052] 在这些实施例中,采用至少一个电流调节器,所述或每个电流调节器可受控以对所述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定电压水平的任何偏差最小化。

[0053] 一个或多个储能器件的电压水平的调节提供用于平衡相应模块电压水平的选择。这是有利的,因为其意味着任何特定模块的电压可保持为近似等于平均模块电压,以有助于确保模块组件工作在其设计电压范围内且组合模块能够产生适当范围的变换器端电压来满足稳态运行和故障响应。

[0054] 相应变换器支路的每个支路部分可受控以选择性地限定承载所述AC流通电流和所述DC流通电流的组的流通过程。

[0055] 限定承载AC流通电流和DC流通电流组的流通过程的能力增大了电力电子变换器的有功-无功功率包络的大小。

[0056] 优选地,电力电子变换器包括多条变换器支路。

[0057] 多条变换器支路的设置使得电力电子变换器可与多相AC网络兼容使用。

附图说明

[0058] 现参照附图,通过非限制性示例对本发明的优选实施例进行描述。

[0059] 图1以示意性方式示出了本发明第一实施例的电力电子变换器;

[0060] 图2示出了将DC网络与三相AC网络互连的电力电子变换器中支路部分电流的变

化,DC网络中对应的DC电流和DC纹波和重叠时段,在该重叠时段期间,相应的变换器支路可受控以限定承载AC流通电流的流通过程;

[0061] 图3示出了支路部分电流的调节以最小化DC纹波;

[0062] 图4示出了同时对两条变换器支路进行控制,以将其对应的两个支路部分同时切入电路来限定流通过程;

[0063] 图5示出了当两条变换器支路被同时控制以将其对应的两个支路部分同时切入电路来限定流通过程时的支路部分电流的调节;

[0064] 图6示出了调节后的支路部分电流和DC网络的对应DC电流的形状;

[0065] 图7示出了调节后的支路部分电流的形状和第三端子处的AC电流波形;

[0066] 图8示出了对流通程进行限定时,链式变换器的额定电压需求的提高;

[0067] 图9示出了当零相序三次谐波分量注入到AC电压波形中时,链式变换器的额定电压需求的降低;

[0068] 图10示出了当零相序较高的三倍数次谐波分量注入到AC电压波形中时,链式变换器的额定电压需求的降低;以及

[0069] 图11示出了本发明第二实施例的一种电力电子变换器。

具体实施方式

[0070] 本发明第一实施例的电力电子变换器20如图1所示。

[0071] 电力电子变换器20包括第一变换器支路22a、第二变换器支路22b和第三变换器支路22c。每条变换器支路22a、22b、22c包括第一端子24、第二端子26和第三端子28。

[0072] 在使用中,每条变换器支路22a、22b、22c的第一端子24和第二端子26分别连接到DC网络30的正极端子和负极端子上,正极端子和负极端子分别承载有 $+V_{dc}/2$ 和 $-V_{dc}/2$ 的电压,每条变换器支路22a、22b、22c的第三端子28连接到三相AC网络32的对应相上。

[0073] 每条变换器支路22a、22b、22c限定第一支路部分34和第二支路部分36。在每条变换器支路22a、22b、22c中,第一支路部分34串联连接在第三端子28和第一端子24之间,第二支路部分36串联连接在第三端子28和第二端子26之间。

[0074] 每个支路部分34、36进一步包括链式变换器38。每个链式变换器38包括串联连接的一连串模块(未示出)。每个链式变换器38中的模块数量取决于相应支路部分34、36所需的额定电压。

[0075] 每个链式变换器38的每个模块包括两对初级开关元件,该两对初级开关元件与电容器并联连接以限定能够提供负电压、零电压或正电压并能够双向传导电流的四象限双极性模块。

[0076] 每个支路部分34、36进一步包括与相应的链式变换器38串联连接的次级开关元件40。在其他实施例中,可设想的是,每个支路部分中次级开关元件的数量可根据该每个支路部分的所需额定电压改变。

[0077] 在本发明的其他实施例中,第一支路部分34和第二支路部分36中每个支路部分的次级开关元件40和链式变换器38之间的串联连接可允许次级开关元件40和链式变换器38以相反的次序连接在第三端子28与第一端子24或第二端子26之间。

[0078] 每个支路部分34、36进一步包括与链式变换器38和次级开关元件40串联连接的初

级电感器42。每个支路部分34、36的初级电感器42有助于限制每个链式变换器38的模块中的电容器和任何其他并联连接的电容器之间的瞬态电流,从而最小化能量损耗。

[0079] 电力电子变换器20进一步包括与变换器支路22a、22b、22c中每个第三端子28串联连接的次级电感器或变压器(未示出),该次级电感器或变压器在使用时连接在每个第三端子28和AC网络32之间。次级电感器或变压器对流经每个第三端子28和AC网络32之间电流进行调节。

[0080] 每个链式变换器38的模块中的初级开关元件可操作为对每个链式变换器38进行配置以提供步进式可变电压源。初级开关元件还在AC网络32的基频附近进行切换。

[0081] 通过改变初级开关元件的状态,每个模块的电容器可被旁路或插入至相应的链式变换器38中。

[0082] 当初级开关元件对被配置为在模块中形成短路时,每个模块的电容器被旁路。这使电力电子变换器20中的电流流经该短路并旁路掉电容器,因此模块能够提供零电压。

[0083] 当初级开关元件对被配置为使变换器电流流入并流出电容器时,每个模块的电容器被插入至相应的链式变换器38中。进而,该电容器能够充电或者释放其存储的能量以提供电压。四象限双极性模块的双向特性意味着该电容器可被正向或反向地插入至模块中以提供正电压或负电压。

[0084] 因此,通过多个模块的电容器的插入,每个模块提供其自身的电压至链式变换器38,可在每个链式变换器38两端形成组合电压,该组合电压大于从各单个模块获得的电压。

[0085] 四象限双极性模块提供正电压或负电压的能力意味着每个链式变换器38两端的电压可通过提供正电压或负电压的模块组合而形成。因此,通过将模块控制为交替提供正电压和负电压,各个电容器中的能量水平可保持在最佳水平。

[0086] 在本发明的其他实施例中(未示出),可设想的是,每个链式变换器的每个模块可包括一组串联连接的初级开关元件,该组串联连接的初级开关元件与相应的电容器并联连接成半桥结构,以限定可提供零电压或正电压并可双向传导电流的二象限单极性模块。

[0087] 可以改变每个模块的开关操作的时机,这样每个链式变换器38中各个模块的电容器的插入和/或旁路导致电压波形的产生。例如,各个模块的电容器可交错插入以产生正弦波形。通过调节每个链式变换器38中每个模块的开关操作时机,可产生其他波形形状。

[0088] 初级开关元件和次级开关元件40中的每个开关元件为与反并联二极管并联连接的绝缘栅双极性晶体管(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中的一个或多个可包括不同的半导体器件,如场效应晶体管、栅极可关断晶闸管、注入增强栅晶闸管、集成栅换向晶体管或其他强制换向或自换向半导体开关,优选地,半导体器件与反并联二极管并联连接。

[0089] 上述半导体器件的快速切换能力可使电力电子变换器20合成复杂波形以注入至电力电子变换器20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的谐波失真水平最小化。

[0090] 还可设想的是,在本发明的其他实施例中(未示出),每个模块的电容器可由不同的储能器件所取代,如燃料电池、蓄电池或能够储能并释放其自身电能来提供电压的任何其他储能器件。

[0091] 在使用时,每条变换器支路22a、22b、22c的第一支路部分34和第二支路部分36的

次级开关元件40可操作为将每个链式变换器38切入和切出第三端子28与第一端子24或第二端子26之间的电路。链式变换器38还可操作为在相应的第三端子28处产生电压波形以便于AC网络32和DC网络30之间的电力转换。

[0092] 为了在相应的第三端子28处产生AC电压波形的正半周期,第一支路部分34切入电路,第二支路部分36切出电路,且第一支路部分34的链式变换器38被控制以改变其电压。链式变换器的电压改变以抵消第一端子24处的电压,进而在第三端子28处合成正的半正弦波。

[0093] 为了产生AC电压波形的负半周期,第一支路部分34切出电路,第二支路部分36切入电路,且第二支路部分36的链式变换器38被控制以改变其电压。链式变换器的电压再次改变以抵消第二端子26处的电压,进而在第三端子28处合成负的半正弦波。

[0094] 链式变换器38优选地操作为使用步进式逼近法来产生正弦电压波形。链式变换器38由于其提供电压阶跃以提高或降低在相应的第三端子28处的输出电压的能力,适合用于步进式波形的产生。电压波形的步进式逼近法可通过使用具有较低电压水平的数量较多的模块以增加电压阶跃数量的方式来改善。

[0095] 每条变换器支路22a、22b、22c的链式变换器38被控制以产生如上所述的正弦电压波形,该正弦电压波形与其他两条变换器支路22a、22b、22c的链式变换器38所产生的AC电压波形具有120电度的相位差。这使得电力电子变换器20可便于DC网络30和三相AC网络32之间的电力转换。

[0096] 图2示出在DC网络和三相AC网络之间的电力转换期间,每条变换器支路的第一支路部分的电流在AC网络的单个AC周期上的变化。第一变换器支路、第二变换器支路和第三变换器支路的第一支路部分以AC网络的AC周期的0至180电度、120至300电度、240至360电度以及0至60电度分别传导半正弦波电流48a、48b、48c。流经第一支路部分的半正弦波电流的总和使得平均DC电流50在AC网络的AC周期上提供至所连接的DC网络。AC电压波形的正弦形状引起DC电流50中DC纹波52的出现。

[0097] 为了将DC电流中DC纹波最小化,参照图1,电力电子变换器20的变换器支路22a、22b、22c被配置为进行如下操作。

[0098] 在使用时,每条变换器支路22a、22b、22c可受控以将两个支路部分34、36同时切入电路以限定承载AC流通电流54的流通过程,其示例如图1所示。

[0099] 每条变换器支路22a、22b、22c在使用时被控制,以在60电度的重叠时段选择性地限定流通过程,且应用于相应的第一支路部分34中电流过零点处,因此每个重叠时段对应特定的DC纹波分量。如图2所示,第一变换器支路22a被控制,以在从150延至210电度以及从330延至30电度的电力周期的重叠时段56将两个支路部分34、36同时切入电路;第二变换器支路22b被控制,以在从90延至150电度以及从270延至330电度的电力周期的重叠时段58将两个支路部分34、36同时切入电路;第三变换器支路22c被控制,以在从30延至90电度以及从210延至270电度的AC周期的重叠时段60将两个支路部分34、36同时切入电路。变换器支路22a、22b、22c的这种连续控制使得电力电子变换器20不断保持着承载AC流通电流的流通过程。

[0100] 对变换器支路22a、22b、22c进行控制以限定流通过程具有延长每个第一支路部分34从180电度到240电度的传导持续时间的作用。

[0101] 在每个重叠时段期间,流电路径承载流经流电路径内的AC流通电流,AC流通电流包括与对应于相应的重叠时段的特定DC纹波分量反相的AC分量。AC分量又对流经变换器支路22a、22b、22c的第一支路部分34的电流的形状进行调节,这样调节后的第一支路部分电流62的形状为初始的半正弦波分量48b和AC分量60的叠加,如图3所示。流经每个第一支路部分34中的电流的这种调节意味着调节后的流经第一支路部分34中的电流的总和导致DC电流中DC纹波的消除,进而使得恒定DC电流提供给所连接的DC网络30。

[0102] 优选地,AC流通电流的大小通过操作每个链式变换器38以插入其模块或旁路掉其模块来改变,以便改变相应链式变换器38两端的电压,进而改变相关联的初级电感器两端的电压。就此而言,每个链式变换器38和所述或每个相关联的初级电感器42一起充当电流调节器。如上所述,每个链式变换器38产生复杂电压波形的能力使得AC流通电流能够得以准确调节以符合DC纹波滤波过程的要求。

[0103] 作为一种使用至少一个链式变换器38来改变AC流通电流大小的替代方案,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的电流调节器。这种可变初级电感器可操作以改变其电感,以便直接改变该可变初级电感器两端的电压以及流经其中的AC流通电流的大小。

[0104] 重叠时段可根据电力电子变换器20的设计要求和DC网络30的DC电流中DC纹波的性质而改变。

[0105] 例如,如图4所示,第一变换器支路22a和第三变换器支路22c中每个变换器支路在使用时可被控制在60电度的重叠时段56、60限定流电路径,且第二变换器支路22b在使用时可被控制在大于60电度的重叠时段58a限定流电路径。第二变换器支路22b的重叠时段中长度64的增加导致第一变换器支路22a和第二变换器支路22b临时同时将其相应的两条支路部分34、36切入电路。

[0106] 重叠时段58中长度64的增加以限定如上所述的延长的重叠时段58a使得电流62可被调节为在调节后的电流波形62a的两端66处且在AC周期150度和270度点处具有更为平缓的形状,如图5所示。这就改善了流经相应的第一支路部分34中的电流的平滑度,得到更易控制的电流。

[0107] 对于每条变换器支路22a、22b、22c延长重叠时段的效果在如图6中可见,图6示出流经相应的第一支路部分34中的具有较平滑形状的几个电流62a、62b、62c。类似地,可延长每条变换器支路22a、22b、22c的重叠时段,以调节流经相应的第二支路部分36中的电流68以具有较平滑形状。实践证明,为改善电流平滑度而对重叠时段的延长不影响DC电流50b中DC纹波的消除,且不会使流经相应的第三端子28和AC网络32之间的AC电流波形70的形状产生任何畸变。

[0108] 可设想的是,可缩短一条或多条变换器支路22a、22b、22c的重叠时段,以便仅针对AC网络32的AC周期的一部分来限定承载AC流通电流的流电路径。这就导致DC网络30的DC电流中的DC纹波的局部滤波。由于这种局部滤波已被证实可降低电力电子变换器20中的链式变换器38的所需额定电压,因而该局部滤波在DC纹波仅需被最小化至特定的容许极限内的情况下是有利的。

[0109] 由180电度到240电度的每个支路部分34、36传导持续时间的延长已被证实可提高链式变换器38的所需额定电压。这是由于,在图8中,相应的第一支路部分34此时在重叠时

段72期间切入电路中,而不是在AC电压波形76a的负半周期74的产生期间切出电路。类似地,相应的第二支路部分36此时切入电路中,而不是在AC电压波形的正半周期的产生期间切出电路。因此,每个支路部分34、36的链式变换器38需具有提高的额定电压以抵消第三端子28与第一端子24或第二端子26之间的较大的电压差78a,如图8所示。

[0110] 在使用时,控制每个链式变换器38将零相序三次谐波分量注入至相应的第三端子28处的AC电压波形中。这导致经调节的AC电压波形76b,以便减小重叠时段72期间的第三端子28与第一端子24或第二端子26之间的电压差78b,如图9所示。可以将零相序较高的三倍数次谐波分量以相同的方式注入,以调节相应的第三端子28处的AC电压波形76c,这样重叠时段72期间的第三端子28与第一端子24或第二端子26之间的电压差78c是可忽略的,如图10所示。

[0111] 因此,如上所述,第三端子28处的AC电压波形的调制降低了使相应的变换器支路22a、22b、22c能够定义流通路径所需的每个链式变换器38的额定电压。如果第三端子28和AC网络32是互连的,则这种调制不影响出现在AC网络32中的线间电压,以便将AC相电压和DC电压解耦以使得在AC相电流保持不变时,DC电流可改变。

[0112] 在电力电子变换器20将AC电转换为DC电或将DC电转换为AC电的操作期间,电力电子变换器20的AC侧和DC侧上的电力水平可根据所连接的三相AC网络32和DC网络30的有功功率和无功功率需求而改变。

[0113] 当电力电子变换器20的AC侧和DC侧上的电力水平不等时,每个链式变换器38在电力转换过程中输入或输出有功功率。这就导致随着时间推移每个链式变换器38能量水平的提高或降低。能量水平上的这些变化可导致每个模块由于过量的电压水平而完全放电或损坏。这些变化还可导致链式变换器38无法在相应的第三端子28处合成特定的电压波形。

[0114] 因此,期望的是,随着时间推移在每个链式变换器38中保持净零能量变化。为了达到这种净零能量变化,参照图1,电力电子变换器20被配置为进行如下操作。

[0115] 在使用时,每个变换器支路22a、22b、22c可受控以将两支路部分34、36同时切入电路来限定承载DC流通电流的流通路径。

[0116] 在重叠时段期间,流通路径承载在该流通路径内流动的DC流通电流。DC流通电流恢复耗尽电荷或清除每个链式变换器38的相应模块中的任一具有偏离期望值的能量水平的电容器中的过量电荷。这样,DC流通电流能够在每个链式变换器38中保持净零能量变化。

[0117] 特别地,在重叠时段期间,控制每个链式变换器38以插入其一个或多个具有偏离所期望的平均值(或落在期望的工作范围之外)的模块。每个模块可根据每个模块的电压水平正向或反向地插入,该模块的插入使得DC流通电流可流经插入的模块中,以便根据需要恢复相应电容器中的耗尽能量或清除相应电容器中的过量能量。

[0118] 给定链式变换器38中的已达期望能量水平的任何电容器可被旁路掉。

[0119] 在本发明的优选实施例中,电容器能量调节,即,电容器电荷清除或恢复通过改变重叠时段的持续时间和/或DC流通电流的大小进行控制。

[0120] 如上所述,DC流通电流的大小通过将每个链式变换器38和所述或每个相关的初级电感器42用作电流调节器进行调节。作为使用至少一个链式变换器38来改变DC流通电流大小的替代方案,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的电流调节器来调节上述DC流通电流的大小。

[0121] 一个或多个储能器件的电压水平的调节提供用于平衡相应模块的电压水平的选择。这是有利的,因为其意味着任何特定模块的电压可保持为近似等于平均模块电压,以有助于确保模块组件工作在其设计电压范围内且组合模块能够产生适当范围的变换器端电压来满足稳态运行和故障响应。

[0122] 优选地,变换器支路22a、22b、22c的每个支路部分34、36可受控以选择性地限定承载AC流通电流和DC流通电流组合的流通路径。

[0123] 因此,变换器支路22a、22b、22c能够选择性地限定承载AC流通电流和DC流通电流组合的流通路径的设置使得电力电子变换器20不仅将提供至DC网络30的DC电压中的DC纹波最小化,而且能够对相应的链式变换器38中一个或多个储能器件的能量水平进行调节。

[0124] 此外,本发明的电力电子变换器20已被证实能够最小化DC网络30中的DC纹波,同时便于AC网络32和DC网络30之间的电力转换。另外,如上所述,电力电子变换器20对DC纹波进行最小化的操作对于AC相电压和相电流的形状和大小上的影响是可忽略的。

[0125] 这就免除了在电力电子变换器20的DC侧上对单独的DC滤波设备和能量平衡设备的需求。因此,本发明的电力电子变换器20比一般的电力变换器成本更低、体积更小、更轻便、更易操作和控制且更高效。

[0126] 此外,限定承载AC流通电流和DC流通电流组合的流通路径的能力使得电力电子变换器20具有兼容于大范围的有功功率和无功功率工作条件的有源滤波能力。特别地,在电力电子变换器20中采用链式变换器38是有利的,因为链式变换器38能够产生复杂波形,使得电力电子变换器20的有源滤波能力被优化,以应对变化的有功功率情况和无功功率情况。

[0127] 本发明第二实施例的电力电子变换器120如图11所示。图11中的电力电子变换器120在结构和操作上与图1中的电力电子变换器20相似,只是图11中的电力电子变换器的每个第三端子未连接到AC网络。

[0128] 在使用时,每个变换器支路的第一端子24和第二端子26分别连接到正、负DC传输线路80,该正、负DC传输线路分别承载 $+V_{dc}/2$ 和 $-V_{dc}/2$ 的电压。

[0129] 如上所述,参照图1的电力电子变换器,变换器支路可受控以限定承载AC流通电流的流通路径,该AC流通电流包括AC分量,该AC分量与流经DC传输线路80的电流84中已有的谐波纹波电流82反相。这使得电力电子变换器120可消除由连接到DC传输线路80的其他负载或电源86所产生的DC纹波电流82。

[0130] 可设想的是,在其他实施例中,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用于在使用时连接到多相AC网络的相应相的AC端子。

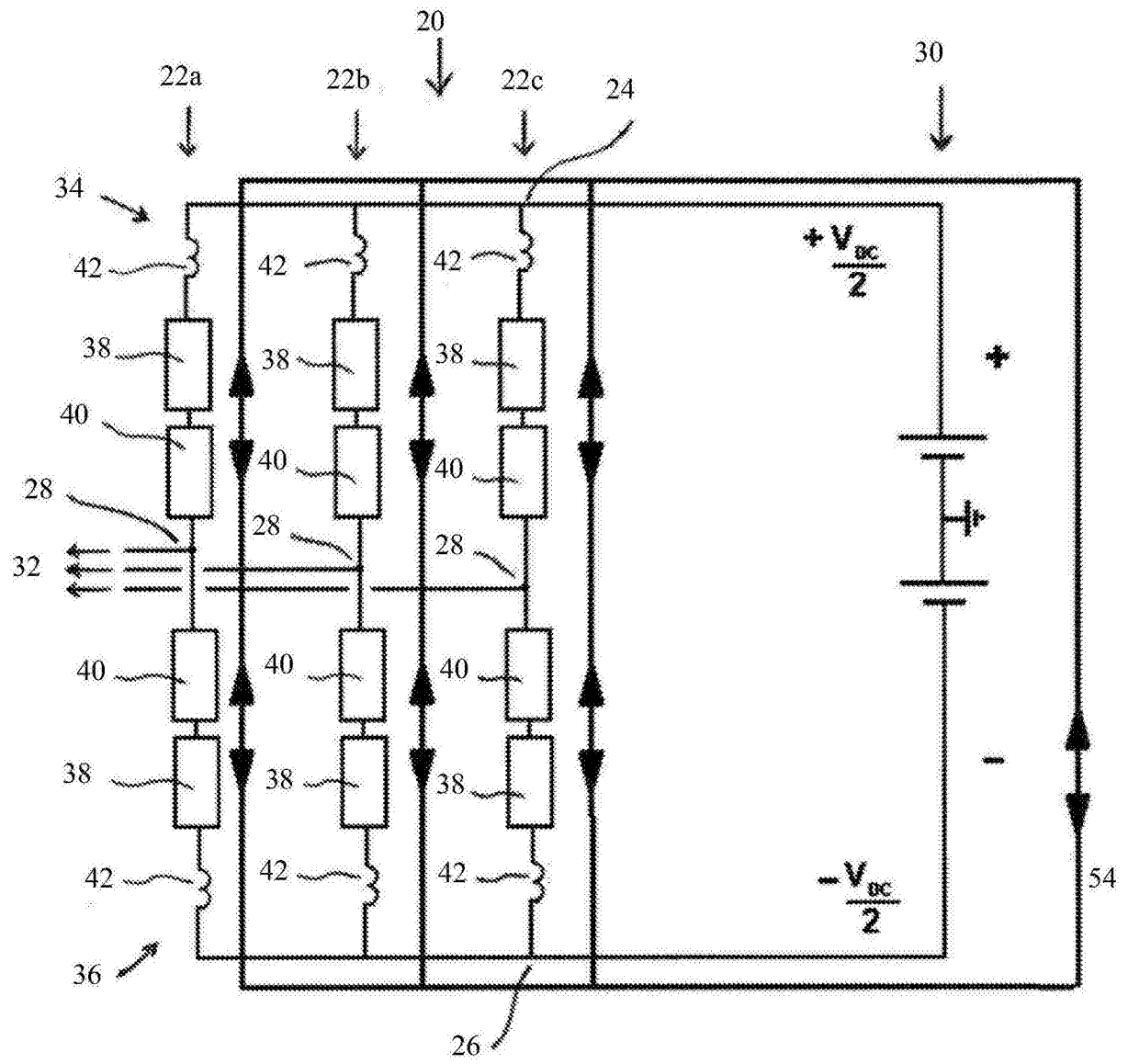


图1

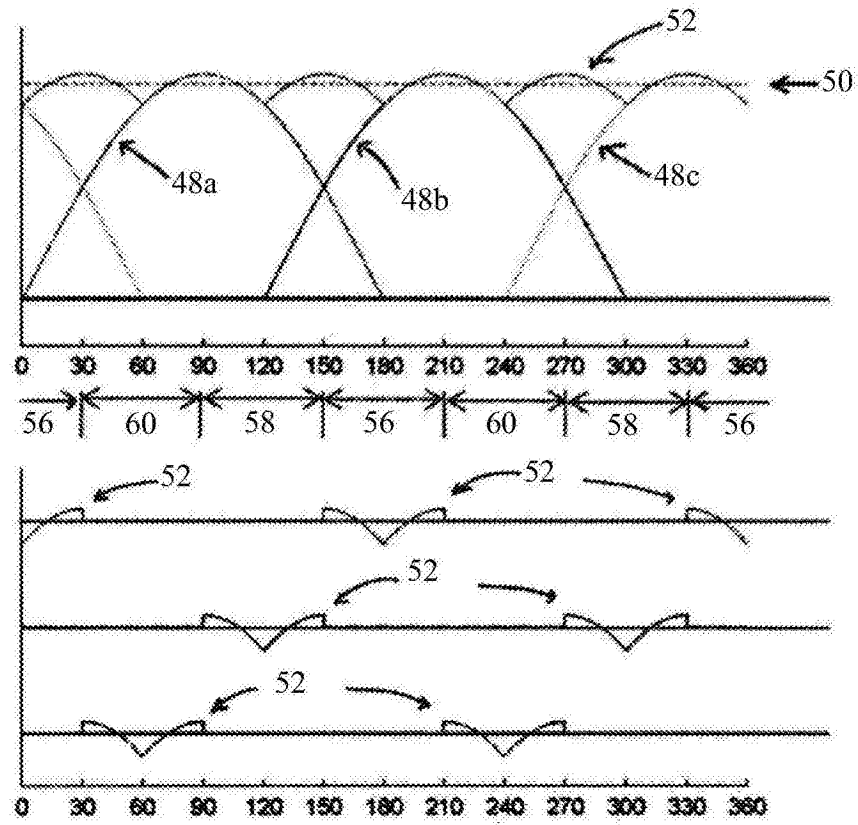


图2

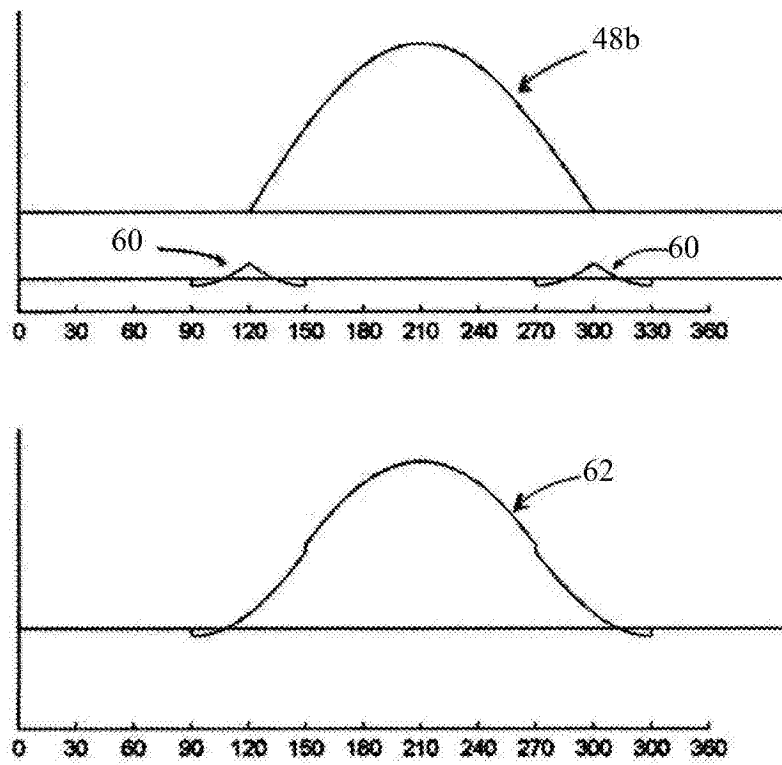


图3

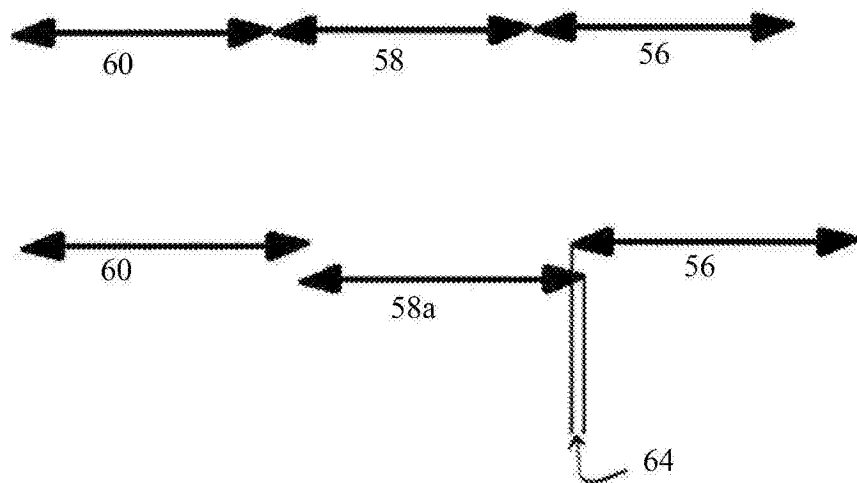


图4

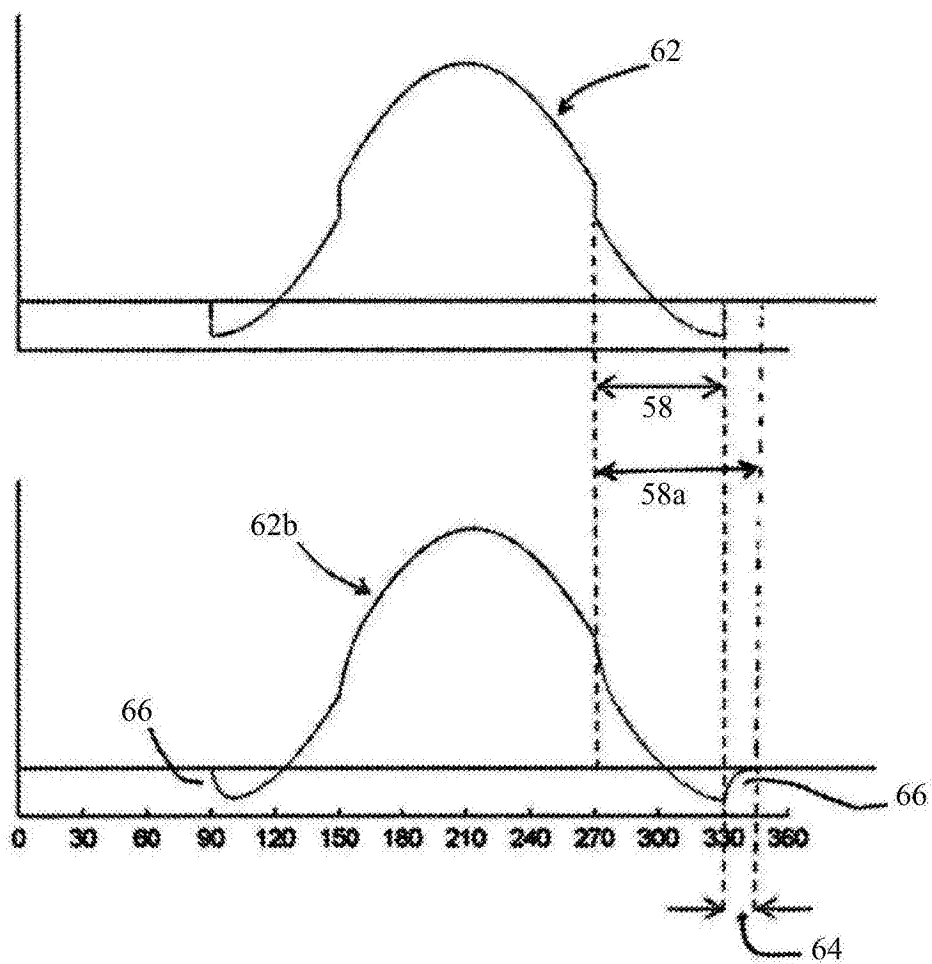


图5

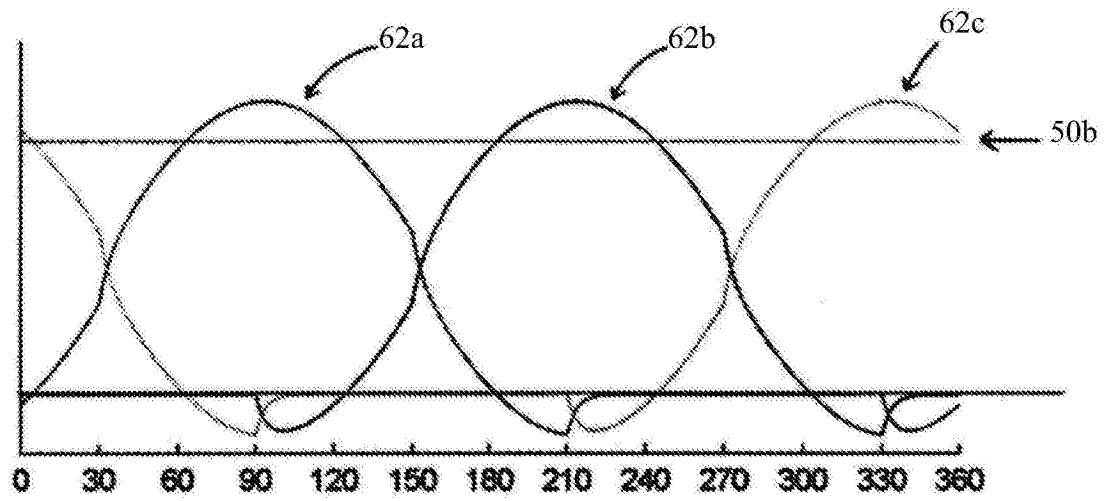


图6

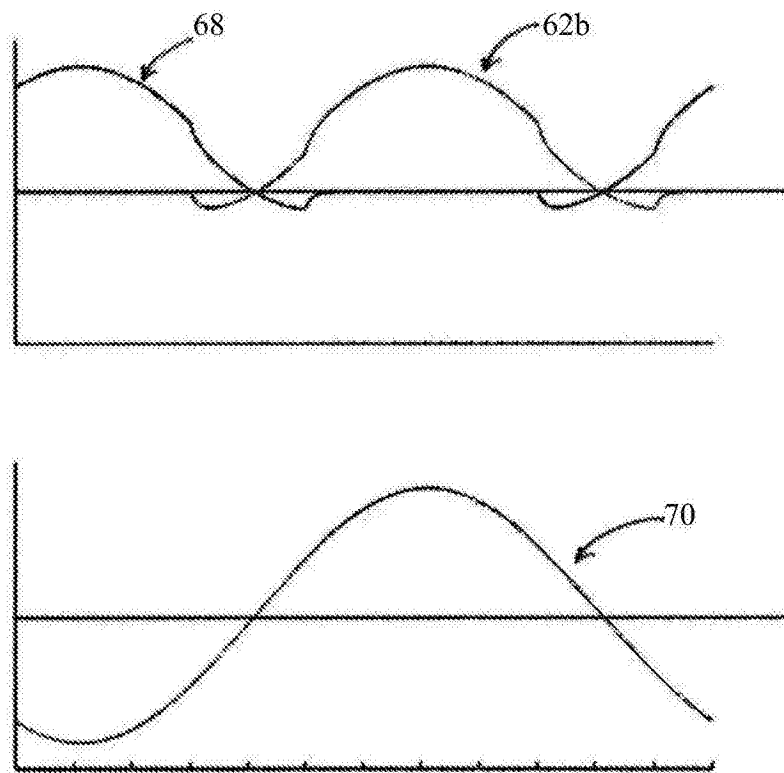


图7

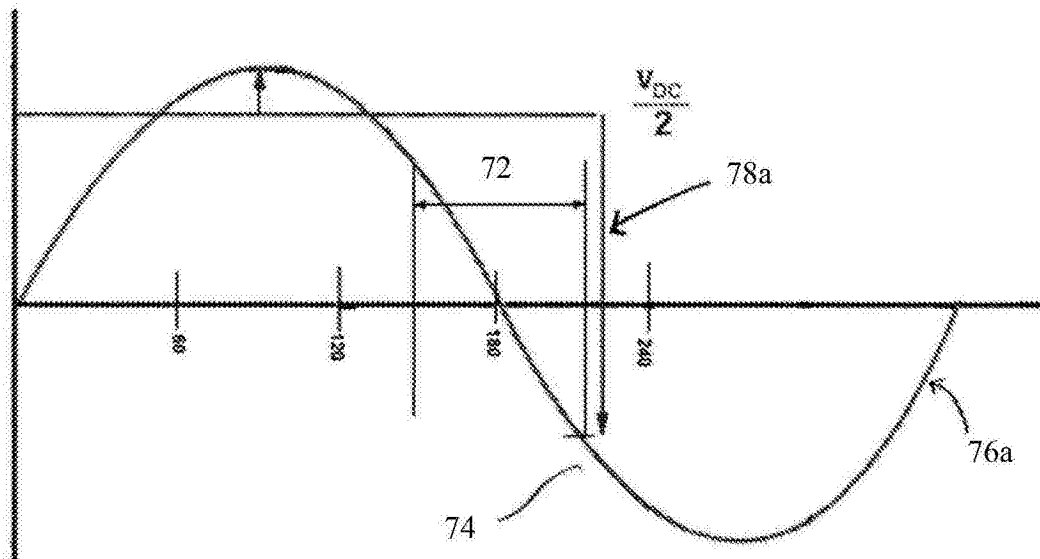


图8

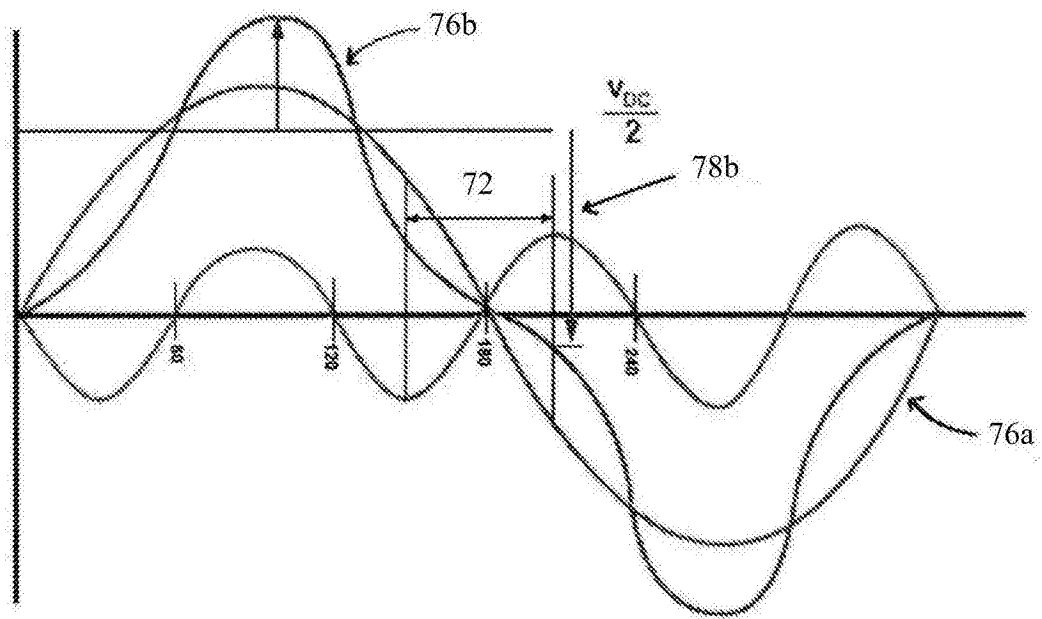


图9

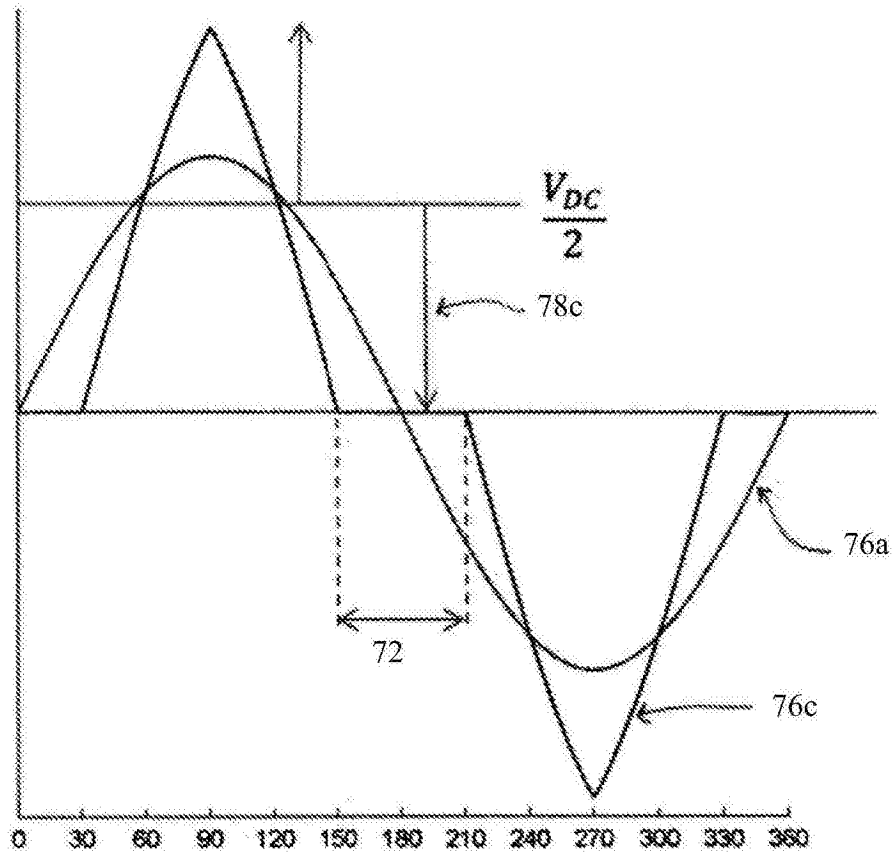


图10

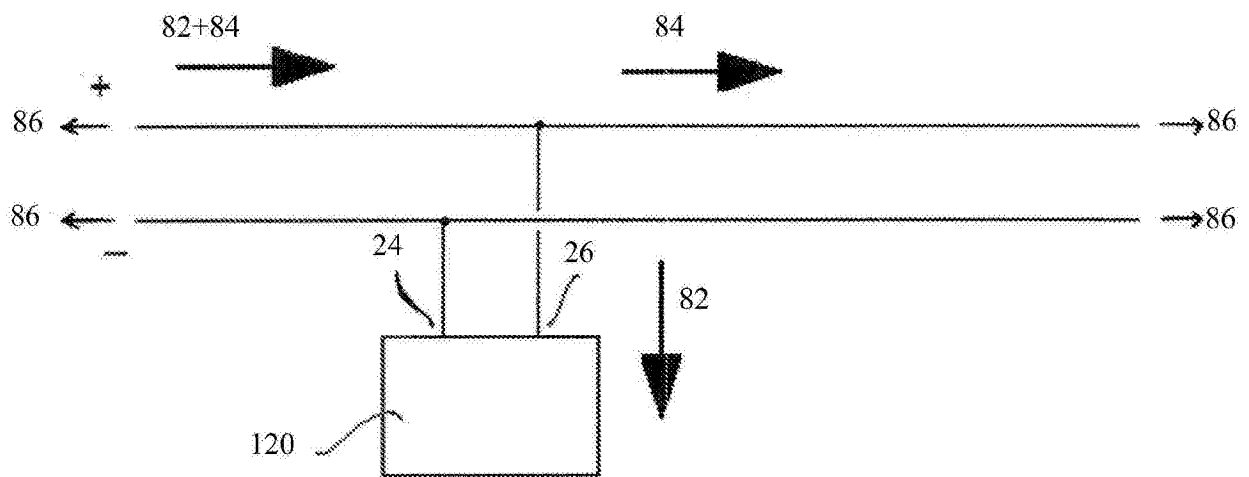


图11