(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103190070 B
(45)授权公告日 2015.08.19

(21)申请号 201080068732.4
(22)申请日 2010.08.24
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.02.22
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2010/062316 2010.08.24
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2012/025142 EN 2012.03.01
(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
纳姆迪·奥卡密
(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 武晨燕 张颖玲
(51)Int.Cl.
H02M 7/797(2006.01)
H02M 1/32(2006.01)
(56)对比文件
WO 2010/088969 A1,2010.08.12,
DE 102008045247 A1,2010.03.04,
CN 101253677 A,2008.08.27,
CN 101258670 A,2008.09.03,
CN 101102085 A,2008.01.09,
审查员 刘侠

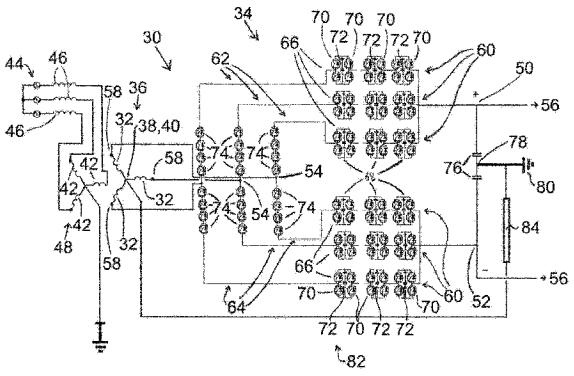
权利要求书2页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

具有连接到中性点的零序移能电阻器的HVDC变换器

(57)摘要

一种用于高压直流电力传输以及无功功率补偿的电力电子变换器(30),所述电力电子变换器(30)包括定义星形连接(36)的三个相元件(32)和变换器单元(34),变换器单元(34)包括三个交流端子(54)以及用于在使用时连接到直流网络(56)的第一直流端子(50)和第二直流端子(52),所述变换器单元(34)包括在使用时可在控制之下促成交流网络(44)和直流网络(56)间的电力变换的多个开关元件(70、74),电力电子变换器(30)进一步包括连接于第一直流端子(50)与第二直流端子(52)之间的第三直流端子(78),所述第三直流端子(78)连接于星形连接(36)的公共结点(40)来定义辅助连接(82),所述辅助连接(82)包括连接于公共结点(40)和第三直流端子(78)之间的至少一个移能电阻器(84),其中变换器单元(34)的开关元件(70、74)在使用时可在控制之下将各交流端子(54)的相电压改为包括三倍数次谐波电压分量,以耗散所述或每个移能电阻(84)在三倍数次谐波频率处的实际功率。



CN 103190070 B

1. 一种电力电子变换器 (30)，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 (30) 包括定义星形连接的三个相元件 (32)，在该星形连接中，每个相元件的第一端 (38) 均连接于公共结点 (40)，所述电力电子变换器 (30) 进一步包括变换器单元 (34)，该变换器单元 (34) 包括三个交流端子 (54) 以及在使用时连接到直流网络 (56) 的第一直流端子 (50) 和第二直流端子 (52)，每个交流端子 (54) 与所述星形连接 (36) 中相应的相元件 (32) 的第二端 (58) 串联连接，所述变换器单元包括多个开关元件 (70、74)，所述多个开关元件 (70、74) 在使用时可在控制之下促成所述交流网络 (44) 和所述直流网络 (56) 之间的电力变换，所述电力电子变换器进一步包括连接于所述第一直流端子 (50) 和所述第二直流端子 (52) 之间的第三直流端子 (78)，所述第三直流端子 (78) 连接于所述星形连接 (36) 的所述公共结点 (40) 以定义辅助连接 (82)，所述辅助连接包括连接于所述公共结点 (40) 和所述第三直流端子 (78) 之间的至少一个移能电阻器 (84)，其中所述变换器单元 (34) 的所述开关元件 (70、74) 在使用时可在控制之下将每个交流端子处的相电压改为包括三倍数次谐波电压分量，从而耗散所述至少一个移能电阻器在三倍数次谐波频率处的实际功率。

2. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器 (30)，其中，所述变换器单元的所述开关元件在使用时可在控制之下将每个交流端子处的相电压改为同时包括基波电压分量和三倍数次谐波电压分量。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个三倍数次谐波电压分量具有相同的幅值。

4. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器 (30)，进一步包括串联连接于所述第一直流端子和所述第二直流端子中的每一个与所述第三直流端子之间的至少一个直流链电容器 (16)。

5. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个相元件包括变压器绕组。

6. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器 (30)，其中，所述变换器单元进一步包括三条变换器支路 (60)，每条变换器支路包括所述交流端子中的相应一个交流端子，每条变换器支路定义第一支路部分 (62) 和第二支路部分 (64)，第一支路部分 (62) 串联连接于所述交流端子和所述第一直流端子之间，第二支路部分 (64) 串联连接于所述交流端子和所述第二直流端子之间，每个支路部分包括链式变换器 (66)，每个链式变换器 (66) 包括串联连接的多个模块，每个模块包括连接于至少一个储能器件的至少一个主开关元件 (70)，每个链式变换器的所述至少一个主开关元件 (70) 在使用时可操作为使得所述串联连接的多个模块定义阶梯可变的电压源。

7. 根据权利要求 6 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个支路部分进一步包括与相应的链式变换器串联连接的至少一个辅开关元件 (74)，每个支路部分的所述至少一个辅开关元件 (74) 在使用时可在控制之下将相应的链式变换器切入或切出电路。

8. 根据权利要求 6 或 7 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个链式变换器 (66) 的每个模块包括一组串联连接的主开关元件，该组串联连接的主开关元件与储能器件并联连接以定义能够提供零电压或正电压且能双向传导电流的二象限单极性模块。

9. 根据权利要求 6 或 7 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个链式变换器 (66) 的每个模块包括两组串联连接的主开关元件，所述两组串联连接的主开关元件与储能器件并联

连接以定义能够提供负电压、零电压或正电压且能双向传导电流的四象限双极性模块。

10. 根据权利要求 6 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个模块的所述至少一个储能器件为电容器、燃料电池、光伏电池、蓄电池或具有关联整流器的交流辅助发电机。

11. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个开关元件包括至少一个半导体器件。

12. 根据权利要求 11 所述的电力电子变换器 (30)，其中，所述至少一个半导体器件为绝缘栅双极型晶体管、栅关断晶闸管、场效应晶体管、绝缘栅换向晶闸管、注入增强栅晶体管或集成栅换向晶闸管。

13. 根据权利要求 11 所述的电力电子变换器 (30)，其中，每个开关元件进一步包括与相应的半导体器件并联连接的反并联二极管。

14. 根据权利要求 1 所述的电力电子变换器 (30)，进一步包括三个初级绕组，其中所述星形连接的每个相元件与所述初级绕组中的相应一个初级绕组相互耦合，每个初级绕组的第一端连接于另一初级绕组的第二端，使得所述初级绕组的互连定义一闭合回路，且每两个初级绕组之间的结点用于在使用时连接于三相交流网络的相应相。

具有连接到中性点的零序移能电阻器的 HVDC 变换器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种用于高压直流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交流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，交流到直流的变换会具成本效率。

[0003] 交流到直流的电力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。

[0004] 在任一这样的电力传输网络中，交流和直流电力间的每个接口均需要变换器 10，以实现所需的变换，如图 1 所示。

[0005] 在交流到直流电力变换期间，变换器 10 从交流网络 12 输入功率，再将功率输出于直流网络 14，这样变换器 10 中的功率变化通常为 0。然而，变换器 10 的直流侧出现故障会导致直流网络 14 的功率需求突然下降，从而导致输出至直流网络 14 的功率降低。然而，由于交流网络 12 中的发电源（如风力发电厂）不会立即关闭，变换器继续从交流网络 10 输入功率。这就导致变换器 10 中累积过量实际功率，而这一过量实际功率无法完全存储于直流链电容器 16 或变换器 10 的其他容性部件内，因为它们具有有限的储能性能。

[0006] 变换器 10 中存在过量实际功率不仅可使得变换器硬件部件过压，而且可导致交流网络 12 的发电机加速，从而引起交流电压频率增高。这两种情况可能会对变换器硬件以及与其相连的交流网络 12 和直流网络 14 造成损害。

[0007] 一种最小化变换器 10 中的过量实际功率的不利影响的解决方案是使用如下形式的附加硬件 :将串联连接的移能电阻器 (dump resistor)18 和 IGBT20，与变换器 10 的直流链电容器 16 并联连接，如图 2 所示。在变换器 10 内的过量实际功率增高期间，直流链电容器 16 开始吸收过量实际功率。在此期间，IGBT20 被导通，以将移能电阻器 18 切入电路，这使得电流流经移能电阻 18，由此使得过量实际功率通过移能电阻器 18 得以耗散。

[0008] 由于串联连接的移能电阻器 18 和 IGBT20 与直流链电容器 16 并联连接，移能电阻器 18 和 IGBT20 中的每一者均需具备匹配或超过直流链电压的额定电压以确保变换器 10 可靠运行。为了获得所需的额定电压，可能需要增大移能电阻器 18 的尺寸及重量和 / 或 IGBT20 的数量，这导致变换器硬件尺寸、重量和成本总体增加。

发明内容

[0009] 根据本发明的一个方面，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，所述电力电子变换器包括定义星形连接的三个相元件，在该星形连接中，每个相元件的第一端均连接于公共结点，所述电力电子变换器进一步包括变换器单元，该变换器单元包括三个交流端子以及在使用时连接到直流网络的第一直流端子和第二直流端

子，每个交流端子与所述星形连接中相应的相元件的第二端串联连接，所述变换器单元包括多个开关元件，所述多个开关元件在使用时可在控制之下促成所述交流网络和所述直流网络之间的电力变换，所述电力电子变换器进一步包括连接于所述第一直流端子和所述第二直流端子之间的第三直流端子，所述第三直流端子连接于所述星形连接的所述公共结点以定义辅助连接，所述辅助连接包括连接于所述公共结点和所述第三直流端子之间的至少一个移能电阻器，其中所述变换器单元的所述开关元件在使用时可在控制之下将每个交流端子处的相电压改为包括三倍数次谐波电压分量，从而耗散所述或每个移能电阻在三倍数次谐波频率处的实际功率。

[0010] 移能电阻器相对于上述变换器单元的布置能够使电力电子变换器通过向每个交流端子处的相电压引入三倍数次谐波电压分量来移除过量实际功率。由于星形连接的公共结点处的电压等于各相电压的平均值，相电压的任意非三倍数次谐波电压分量在公共结点处相抵消，即公共结点处出现的电压的幅值与三倍数次谐波电压分量的幅值相等。这样，在移能电阻器两端出现三倍数次谐波电压分量，这使得在对应的三倍数次谐波频率处的过量实际功率能够在移能电阻器中耗散。

[0011] 使用变换器单元中的开关元件来启动电力变换和过量实际功率移除可简化或消除为了从电力电子变换器中移除过量实际功率而对独立的开关硬件的需要。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 的操作程序和控制方案。

[0012] 另外，所述或每个移能电阻器仅需被额定为在星形连接的公共结点处的三倍数次谐波电压分量的幅值，与要求移能电阻器的额定电压匹配或超过直流链电压的全额幅值的常规电力电子变换器相比，这使得硬件尺寸、重量和成本降低。

[0013] 因此，在电力电子变换器的辅助连接中提供至少一个移能电阻器得到一种更具成本效率的从电力电子变换器（其具有能够产生同时含基波和三倍数次谐波分量的交流相电压的拓扑结构）移除过量实际功率的方式。

[0014] 在本发明的实施例中，所述变换器单元的所述开关元件在使用时可在控制之下将每个交流端子处的相电压改为同时包括基波电压分量和三倍数次谐波电压分量。

[0015] 变换器单元以这种方法的工作使得过量实际功率移除程序很容易被集成于电力变换过程，以使电力电子变换器能够连续工作。否则在启动过量实际功率移除程序之前可能需要中断电力电子变换器的正常工作。

[0016] 优选地，每个三倍数次谐波电压分量具有相同的幅值。

[0017] 在每个交流端子处产生相同幅值的三倍数次谐波电压分量使变换器单元的开关元件能够针对每个交流端子执行标准开关操作，由此简化电力电子变换器的控制方案。

[0018] 优选地，电力电子变换器进一步包括串联连接于所述第一直流端子和所述第二直流端子中的每一个与所述第三直流端子之间的至少一个直流链电容器。

[0019] 包括直流链电容器使电力电子变换器能够通过最小化直流纹波的出现来调整呈给直流网络的直流电压。

[0020] 在其他实施例中，每个相元件可包括变压器绕组。

[0021] 星形连接可定义变压器的二次侧，在变压器中，星形连接中的每个变压器绕组与变压器的一次侧处相应的初级绕组相互耦合，每个初级绕组经由线电感器连接于三相交流网络的相应相。这使得每个相元件能够在使用时与三相交流网络的相应相可操作地相关

联。

[0022] 在更多的实施例中，所述变换器单元进一步包括三条变换器支路，每个变换器支路包括所述交流端子中的相应一个交流端子，每个变换器支路定义第一支路部分和第二支路部分，第一支路部分串联连接于所述交流端子和所述第一直流端子之间，第二支路部分串联连接于所述交流端子和所述第二直流端子之间，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，每个模块包括连接于至少一个储能器件的至少一个主开关元件，每个链式变换器的所述或每个主开关元件在使用时可操作为使得所述串联连接的多个模块定义阶梯可变的电压源。

[0023] 通过将多个模块（其中每个模块提供一电压）插入至链式变换器，链式变换器的结构能够累积形成比单个模块所提供的电压高的组合电压。通过改变组合电压的值，链式变换器可操作为产生振幅和相角可变的电压波形。这样，每个支路部分的链式变换器能够将相应的相元件的相电压改为包括三倍数次谐波电压分量和 / 或基波电压分量。

[0024] 在使用链式变换器的实施例中，每个支路部分可进一步包括与相应的链式变换器串联连接的至少一个辅开关元件，每个支路部分的所述或每个辅开关元件在使用时可在控制之下将相应的链式变换器切入或切出电路。

[0025] 每个支路部分的所述或每个辅开关元件和链式变换器以这种方式工作，使得电力电子变换器能够实现整流与逆变过程，从而促成交流网络与直流网络之间的电力变换。

[0026] 在每个支路部分中，一个或多个开关元件与链式变换器串联连接以将支路部分切入或切出相应的直流端子和交流端子之间的电路的串联组合，是很有益的，因为这样减小了每个链式变换器被要求产生的电压范围。这也相应地使得每个链式变换器中的部件数量得以最小化，从而在尺寸、重量和成本方面得到节省。

[0027] 在使用链式变换器的其它实施例中，每个链式变换器的每个模块包括一组串联连接的主开关元件，该组串联连接的主开关元件与储能器件并联连接以定义能够提供零电压或正电压且能双向传导电流的二象限单极性模块。

[0028] 在使用链式变换器的其它实施例中，每个链式变换器的每个模块可包括两组串联连接的主开关元件，所述两组串联连接的主开关元件与储能器件并联连接以定义能够提供负电压、零电压或正电压且能双向传导电流的四象限单极性模块。

[0029] 在使用储能器件的实施例中，每个模块的所述或每个储能器件可以是电容器、燃料电池、光伏电池、蓄电池或具有关联整流器的辅助交流发电机。

[0030] 每个储能器件可以是能够储存和释放电能以提供电压的任何器件。这一灵活性有助于在不同的位置设计变换器站，其中装备的可用性可能会由于地点或传输困难而在不同的位置处各不相同。例如，在近海的风力发电场，储能器件可以是与风力涡轮机相连接的辅助交流发电机。

[0031] 本发明的实施例中，每个开关元件可包括至少一个半导体器件。在这些实施例中，所述或至少一个半导体器件可以是绝缘栅双极型晶体管、栅关断晶闸管、场效应晶体管、绝缘栅换向晶闸管、注入增强栅晶体管或集成栅换向晶闸管。

[0032] 在使用至少一个半导体器件的实施例中，每个开关元件可进一步包括并与相应的半导体器件并联连接的反并联二极管。

[0033] 利用半导体器件是很有益的，因为这种器件尺寸及重量都很小，且具有相对低的

功耗，故而使对冷却设备的需求最小化。因此，极大地降低了电力变换器成本、尺寸及重量。

[0034] 这种半导体器件的快速开关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。此外，包括这种半导体器件使得电力电子变换器能够对电力电子变换器内的过量实际功率的增长快速作出响应，从而提高电力电子变换器的可靠性。

[0035] 在其他实施例中，电力电子变换器可进一步包括三个初级绕组，其中第一星形连接的每个相元件与所述初级绕组中的相应一个初级绕组相互耦合，每个初级绕组的第一端连接于另一初级绕组的第二端，这样初级绕组的互连定义一闭合回路，且两个初级绕组间的每个结点在使用时连接于三相交流网络的相应相。

[0036] 按上述方法对初级绕组的布置定义三角形连接 (delta connection)。三角形连接中中线的缺失防止三倍数次谐波电流流入中线。这意味着三倍数次谐波电流被限制在由定义三角形连接的绕组形成的回路中，且无法进入相连的三相交流网络。这样，将每个相电压改为包括三倍数次谐波电压分量对相连的三相交流网络的影响是可忽略的。

附图说明

[0037] 下面将参照附图，以举出非限制性示例的方式描述本发明的优选实施例，其中 ：

[0038] 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 ；

[0039] 图 3 示出了根据本发明一个实施例的电力电子变换器 ；

[0040] 图 4 示出了利用链式变换器合成的 50Hz 正弦电压波形 ；

[0041] 图 5a 和 5b 分别示出了在各条变换器支路的交流端子处产生的交流电压波形的正半周期和负半周期 ；

[0042] 图 6 示出了交流电压波形的阶梯逼近法 ；

[0043] 图 7 示出了在过量实际功率移除程序中电力电子变换器内的功率变化 ；以及

[0044] 图 8 示出了在交流相电压和电流中引入三倍数次谐波分量期间的交流相电压和电流变化。

具体实施方式

[0045] 图 3 示出了根据本发明一个实施例的电力电子变换器 30。

[0046] 所述电力电子变换器 30 包括三个相元件 32 和一个变换器单元 34。

[0047] 每个相元件 32 包括一个变压器绕组。所述三个相元件 32 定义第一星形连接 36，在该第一星形连接 36 中各相元件 32 的第一端 38 被连接于第一星形连接 36 的公共结点 40。第一星形连接 36 定义变压器的二次侧，其中第一星形连接 36 的每个变压器绕组与变压器的一次侧 42 处的相应初级绕组 42 相互耦合，每个初级绕组经由一个线电感器 46 被连接于三相交流网络 44 的相应相。这使得各相元件 32 能够在使用时关联于三相交流网络 44 中相应的相。变压器的一次侧处的初级绕组 42 以与电力电子变换器 30 的第一星形连接 36 相似的方式，定义第二星形连接 48。

[0048] 变换器单元 34 包括第一直流端子 50、第二直流端子 52 和第三交流端子 54。

[0049] 所述第一直流端子 50 和第二直流端子 52 在使用时分别连接于直流网络 56 的正

端子和负端子，而各交流端子 54 与第一星形连接 36 的相应相元件 32 的第二端 58 串联连接。

[0050] 变换器单元 34 进一步包括三条变换器支路 60。每条变换器支路 60 包括相应的一个交流端子 54、第一支路部分 62 和第二支路部分 64。在每条变换器支路 60 中，第一支路部分 62 串联连接于交流端子 54 和第一直流端子 50 之间，第二支路部分 64 串联于交流端子 54 和第二直流端子 52 之间。

[0051] 每条支路部分 62、64 包括一个链式变换器 66。每个链式变换器 66 包括多个串联连接的模块 68。每个链式变换器 66 中模块 68 的数量取决于相应的支路部分 62、64 所需的额定电压。每个链式变换器 66 的各模块 68 包括两对主开关元件 70，这两对主开关元件 70 与电容器 72 并联连接以定义可提供负电压、零电压或正电压且可双向传导电流的四象限双极性模块。

[0052] 每条支路部分 62、64 进一步包括多个串联连接的辅开关元件 74，辅开关元件 74 与相应的链式变换器 66 串联连接。在其他实施例中，每条支路部分可包括单个辅开关元件或任意数量的串联连接的辅开关元件，这取决于每条支路部分所需的额定电压。

[0053] 第一支路部分 62 和第二支路部分 64 中的每一个中的多个串联连接的辅开关元件 74 和链式变换器 66 之间的串联连接意味着，在其他实施例中，它们可以以相反的次序连接于交流端子 54 和相应的直流端子 50、52 之间。

[0054] 每个主开关元件 70 和辅开关元件 74 包括与反并联二级管并联连接的绝缘栅双极型晶体管。

[0055] 电力电子变换器 30 进一步包括一对直流链电容器 76 和第三直流端子 78。该对直流链电容器 76 串联连接于所述第一直流端子 50 和第二直流端子 52 之间，且与各条变换器支路 66 并联连接。该对直流电容器 76 之间的结点定义接地 80 的第三直流端子 78。

[0056] 第三直流端子 78 连接于第一星形连接 36 的公共结点 40 以定义辅助连接 82，该辅助连接 82 进一步包括串联连接于第三直流端子 78 和第一星形连接 36 的公共结点 40 之间的移能电阻器 84。

[0057] 可设想到的是，在其他实施例中，所述移能电阻器可为以不同结构连接的多个移能电阻器所取代以便提供所需的总移能电阻。

[0058] 还可设想到的是，在其他实施例中，第三直流端子 78 不直接接地 80，取而代之的是，第三直流端子 78 经由移能电阻器 84 接地。

[0059] 每个链式变换器 66 的模块 68 的主开关元件 70 在使用时可操作为使得各链式变换器 66 提供阶梯可变电压源，且在交流网络 44 的基频附近进行切换。

[0060] 在每个模块 68 中，通过改变主开关元件 70 的状态，该模块 68 中的电容器 72 可被旁路或插入至相应的链式变换器 66。

[0061] 在每个模块 68 中，当主开关元件 70 对被配置为在该模块 68 中形成短路时，该模块 68 中的电容器 72 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 72。这使得模块 68 能够提供零电压。

[0062] 在每个模块 68 中，当主开关元件 70 对被配置为允许变换器电流流入和流出电容器 72 时，电容器 72 被插入至相应的链式变换器 66，随后该电容器 72 能够充电或者释放其存储的能量并提供电压。四象限双极性模块 68 的双向特性意味着所述电容器 72 可被正向

或反向插入至模块 68 以提供正电压或负电压。

[0063] 因此，通过将多个模块 68 中的电容器 72（各自提供自身的电压）插入至链式变换器 66，在链式变换器 66 两端累积形成一组合电压，该组合电压高于从各独立的模块 68 中可获得的电压值。

[0064] 四象限双极性模块 68 提供正负电压的能力意味着各链式变换器 66 两端的电压可根据提供正负电压的模块 68 的组合累积而成。因此，通过将模块 68 控制为交替提供正负电压，每个电容器 72 中的能级可被保持在最优水平。

[0065] 在其他实施例中，可设想到的是，每个链式变换器的每个模块可包括一组串联连接的主开关元件，该组串联连接的主开关元件与相应的电容器并联连接成半桥结构，以定义可提供零电压或正电压且双向传导电流的二象限单极性模块。

[0066] 也可能改变针对每个模块 68 的开关操作的时机，以致每个模块 68 中的电容器 72 的插入至链式变换器 66 和 / 或旁路导致电压波形的产生。图 4 中示出利用图 3 中的链式变换器产生的电压波形的示例，其中每个模块中的电容器交错插入以产生 50Hz 正弦波形。通过调整链式变换器 66 中各模块 68 的开关操作时机，可产生其他波形形状。

[0067] 可设想到的是，在其他实施例中，每个开关元件可包括一不同的半导体器件，如栅关断晶闸管、场效应晶体管、绝缘栅换向晶闸管、注入增强栅晶体管、集成栅换向晶闸管或其他强制换向或自换向半导体开关，优选地与反并联二极管并联连接。

[0068] 这种半导体器件的快速开关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。

[0069] 还可设想到的是，在其他实施例中，每个模块中的电容器可为一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交流辅助发电机。

[0070] 在使用时，第一支路部分 62 和第二支路部分 64 中的辅开关元件 74 可操作为将各链式变换器 66 切入与切出相应的直流端子 50、52 和交流端子 54 之间的电路。当切入电路时，各链式变换器 66 在使用时可操作为在相应的交流端子 54 处产生电压波形以促成交流网络 44 与直流网络 56 之间的电力变换。

[0071] 图 5a 和 5b 示出了图 3 中的电力电子变换器 30 在各条变换器支路 60 的交流端子 54 处产生交流电压波形的正半周期和负半周期的操作。

[0072] 为了利用变换器支路 60 产生交流电压波形的正半周期，如图 5a 所示，所述第一支路部分 62 被切入电路，而所述第二支路部分 64 被切出电路，且所述第一支路部分 62 的链式变换器 66 被控制为改变其电压来抵消所述第一直流端子 50 处的电压，以便在所述交流端子 54 处合成正的半正弦波 86。

[0073] 为了利用变换器支路 60 产生交流电压波形的负半周期，如图 5b 所示，所述第一支路部分 62 被切出电路，而所述第二支路部分 64 被切入电路，且所述第二支路部分 64 的链式变换器 66 被控制为改变其电压来抵消所述第二直流端子 52 处的电压，以便在所述交流端子 54 合成负的半正弦波 88。

[0074] 重新返回图 3，每条变换器支路 60 的第一支路部分 62 和第二支路部分 64 以这种方式的操作导致在各变换器支路 60 的交流端子 54 产生交流相电压，从而允许连接于三相交流网络 44。在交流网络 44 的基频附近进行链式变换器 66 的开关使得在各交流端子 54

处产生基波交流电压波形。

[0075] 如图 6 所示，优选地，链式变换器可操作为利用阶梯逼近法来产生正弦电压波形 90。链式变换器由于其提供电压阶梯 92 以提高或降低在相应的交流端子处的输出电压的能力而适合用于阶梯式波形的产生。电压波形 90 的阶梯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梯 92 的数目的方式得以改善。

[0076] 在第一星形连接 36 中，其公共结点 40 处的电压等于各相电压的平均值。由于每个相电压仅包括基波交流电压分量，这些基波交流电压分量在公共结点 40 处相互抵消，以致在第一星形连接 36 的公共结点 40 处出现零电压。移能电阻器 84 两端的电压等于第一星形连接 36 的公共结点 40 与接地的第三直流端子 78 间的电压差。因此，移能电阻器 84 两端的电压等于零电压，这导致零电流流入移能电阻 84 且零功率耗散于移能电阻器 84。

[0077] 倘若直流网络 56 中的故障导致电力电子变换器 30 中的过量实际功率，各条支路部分 62、64 的链式变换器 66 在使用时可控制为改变其电压以便在相应的交流端子 54 处产生交流相电压，该交流相电压包括基波电压分量和零相序及三倍数次谐波电压分量，每个交流端子 54 处的交流相电压的三倍数次谐波电压分量具有相同的幅值。每个交流相电压的产生均包括基波和三倍数次谐波电压分量，这使得每个链式变换器 66 具备合成复杂电压波形的能力。

[0078] 优选地，三倍数次谐波电压分量为 3 次、9 次或 15 次谐波电压分量，以便允许电力电子变换器 30 准确地遵循复杂电压波形。

[0079] 如上概述，相电压的基波交流电压分量在第一星形连接 36 的公共结点 40 处相抵消。但是，三倍数次谐波电压分量由于其零相序特性而不会在所述公共结点 40 处抵消。这就导致在第一星形连接 36 的公共结点 40 处出现一电压，所述电压幅值等于所述三倍数次谐波电压分量。

[0080] 这样，移能电阻器 84 两端的电压的幅值等于三倍数次谐波电压分量，导致电流流经移能电阻器 84，且移能电阻器 84 在相应的三倍数次谐波频率处有功率耗散。

[0081] 移能电阻器 84 中的功率耗散率随移能电阻器 84 的电阻值而变。优选地，移能电阻器 84 的电阻值大到足以耗散功率，从而降低在持续从交流网络 44 输入功率的电力电子变换器 30 内的过量实际功率的量。

[0082] 图 7 示出了在过量实际功率移除程序期间电力电子变换器内的功率变化。在基频 50Hz 处从交流网络输入的功率 96 和在三倍数次谐波频率 150Hz 处在移能电阻器内耗散的功率 98 之间存在极小的差别 94。这样，有可能彻底耗散电力电子变换器从交流网络输入的过量实际功率。

[0083] 这样，可通过移能电阻器 84 在三倍数次谐波频率处的功率耗散，从图 3 的电力电子变换器 30 持续地移除过量实际功率，直到交流网络 44 中的所述或每个发电源被关闭以停止从交流网络 44 到电力电子变换器 30 的电力传输。

[0084] 也可通过对电力电子变换器电压跟踪信号添加受控量的零相序三倍数次谐波来启动过量实际功率移除程序，从而控制电力电子变换器 30 的直流侧上的直流电压。

[0085] 链式变换器 66 同时产生基波和三倍数次谐波电压分量的能力使得过量实际功率移除程序很容易被集成于所述电力变换过程，以使电力电子变换器 30 能够连续工作。否则在启动过量实际功率移除程序之前可能需要中断电力电子变换器 30 的正常工作。

[0086] 在每条变换器支路 60 的开关元件 70、74 中使用绝缘栅双极性晶体管使得电力电子变换器 30 能够对电力电子变换器 30 内的过量实际功率的增长快速作出响应，从而提高电力电子变换器 30 的可靠性。此外，绝缘栅双极性晶体管的快速开关特性也使得电力电子变换器 30 能够在产生仅包括基波电压波形的相电压和产生同时包括基波与三倍数次谐波电压分量的相电压之间无缝切换。

[0087] 使用变换器支路 60 中的开关元件 70、74 来启动电力变换和过量实际功率移除可简化或消除为了从电力电子变换器 30 中移除过量实际功率而对独立的开关硬件的需要。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 的操作程序和控制方案。

[0088] 另外，移能电阻器 84 仅需被额定为在第一星形连接 36 的公共结点 40 处的三倍数次谐波电压分量的幅值，与需要移能电阻器的额定电压来匹配或超过直流链电压的全额幅值的常规电力电子变换器相比，这使得硬件尺寸、重量和成本降低。

[0089] 因此，在电力电子变换器 30 的辅助连接 82 中提供移能电阻器 84 得到一种更具成本效率的从电力电子变换器移除过量实际功率的方式。

[0090] 可设想到的是，在其他实施例中，电力电子变换器的变换器单元可具备不同的拓扑结构，其中具有三个交流相端子且能够产生同时有基波和三倍数次谐波分量的交流相电压，使得当变换器单元与上述第一星形连接和辅助连接结合使用时能够移除过量实际功率。

[0091] 由图 8 可见，与仅包括基波交流分量的原始形状的交流相电压 100 和电流 102 相比较，将三次谐波分量引入交流相电压 100 和电流 102 导致失真的交流相电压 104 和电流 106。三次谐波电压分量的引入也影响变换器和变压器电流的峰值幅值。

[0092] 可对移能电阻器的适当值及三倍数次谐波电压（相对于交流网络的基波频率）的峰值幅值和相作出选择，以减小交流相电压和电流的失真，进而优化电力电子变换器的操作。这就确保可通过移能电阻器在三次谐波频率处的功率耗散来从电力电子变换器中移除过量实际功率，而无需提高相关发电厂的额定值。

[0093] 在其他实施例中，可设想到的是，电力电子变换器可进一步包括三个初级绕组，其中第一星形连接的各相元件与所述初级绕组中的相应一个初级绕组相互耦合，每个初级绕组的第一端连接于另一初级绕组的第二端，这样初级绕组的互连定义一闭合回路，且两个初级绕组间的每个结点在使用时连接于三相交流网络的相应相。

[0094] 按上述方法对初级绕组的布置定义三角形连接 (delta connection)。三角形连接中中线的缺失防止三倍数次谐波电流流入中线。这意味着三倍数次谐波电流被限制在由定义三角形连接的绕组形成的回路中，且无法进入相连的三相交流网络。这样，将每个相电压改为包括三倍数次谐波电压分量对相连的三相交流网络的影响是可忽略的。

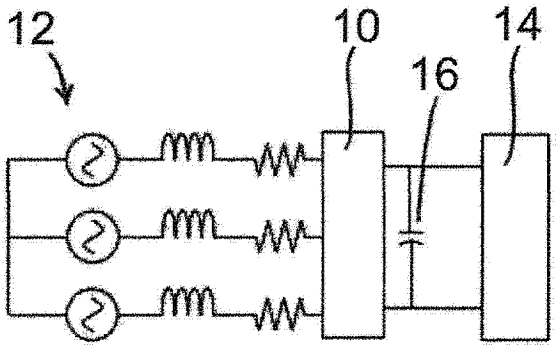


图 1

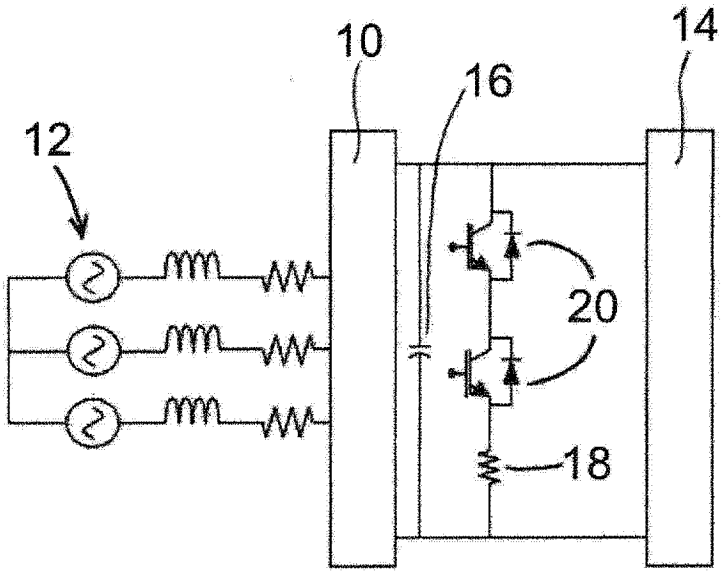


图 2

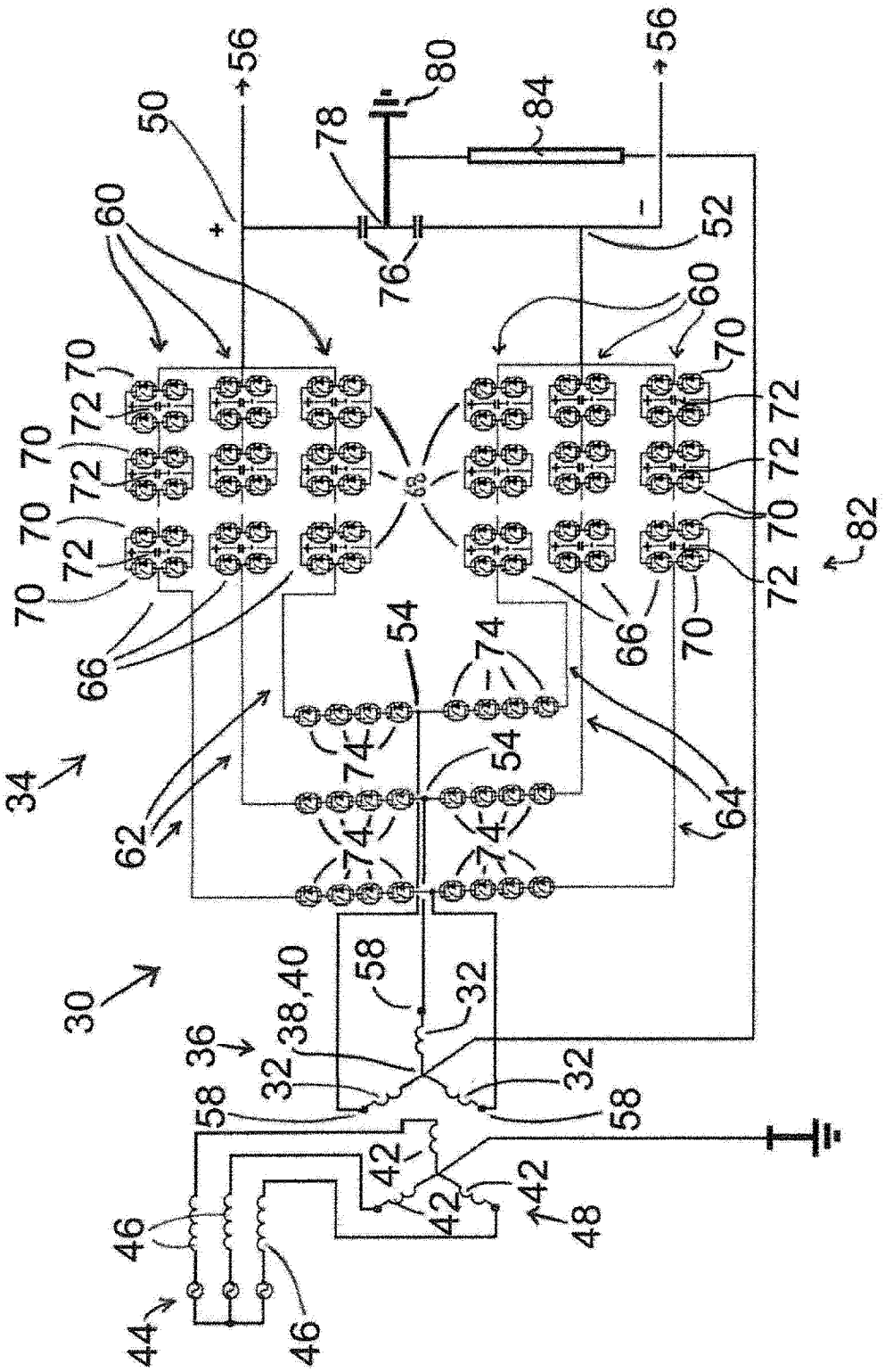

56
50
80
78
84
56
60
52
76
60
70
72
70
72
70
72
70
72
70
72
70
72
70
72
82
66
54
74
66
70
34
62
64
30
36
38,40
58
32
32
32
58
58
42
42
42
48
46
46
44
46

图 3

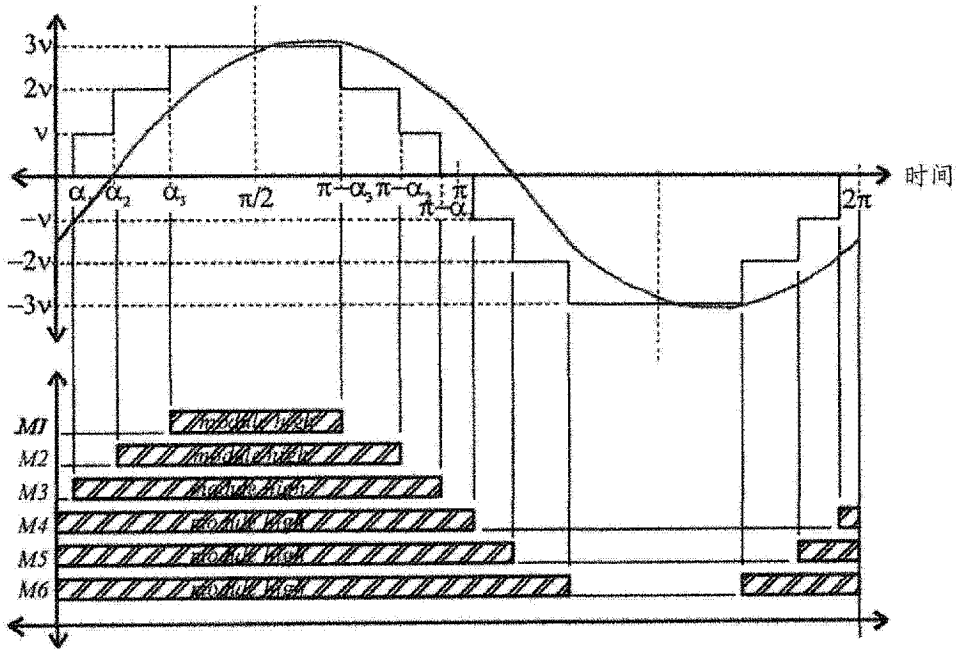

3v
2v
v
-v
-2v
-3v
时间
α1 α2 α3 π/2 π-α3 π-α2 π π-α1 2π
M1
M2
M3
M4
M5
M6

图 4

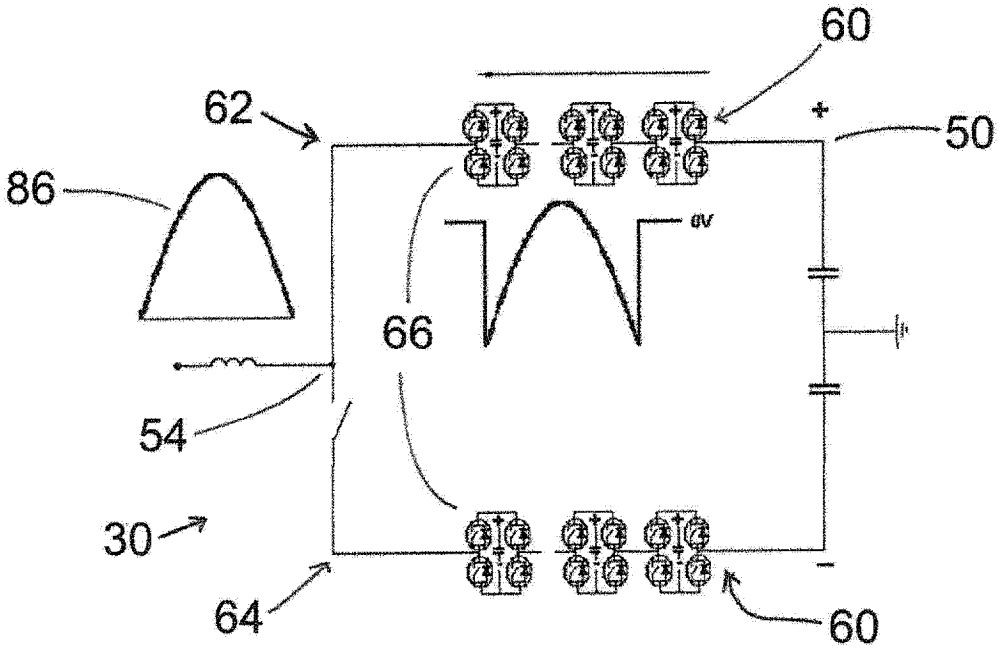

60
62
50
86
66
54
30
64
60

图 5a

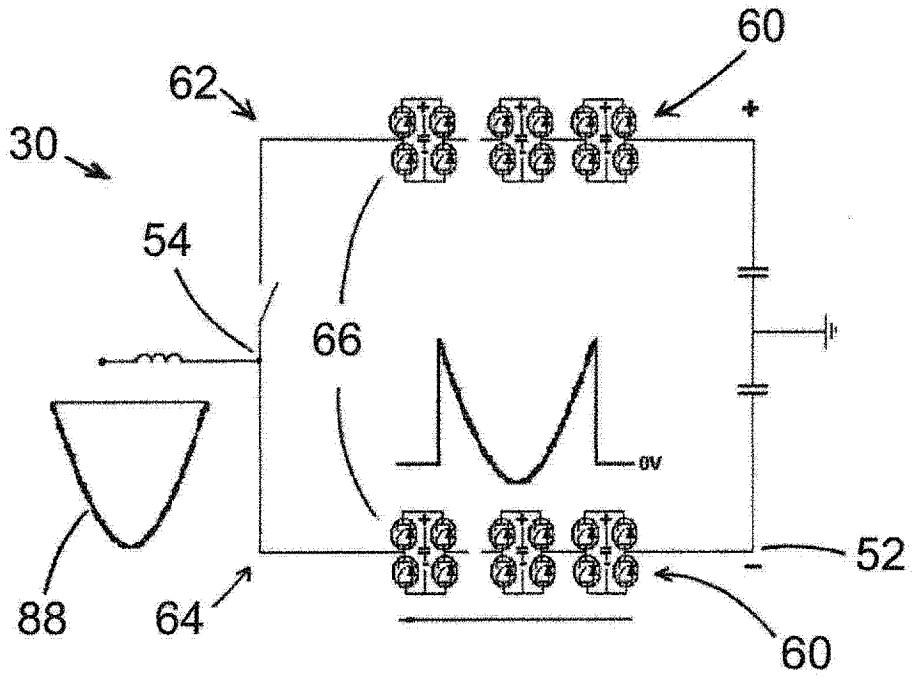


图 5b

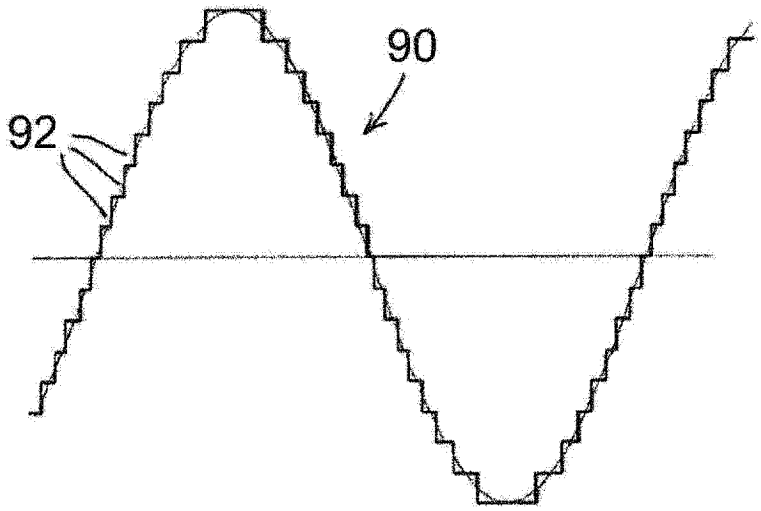


图 6

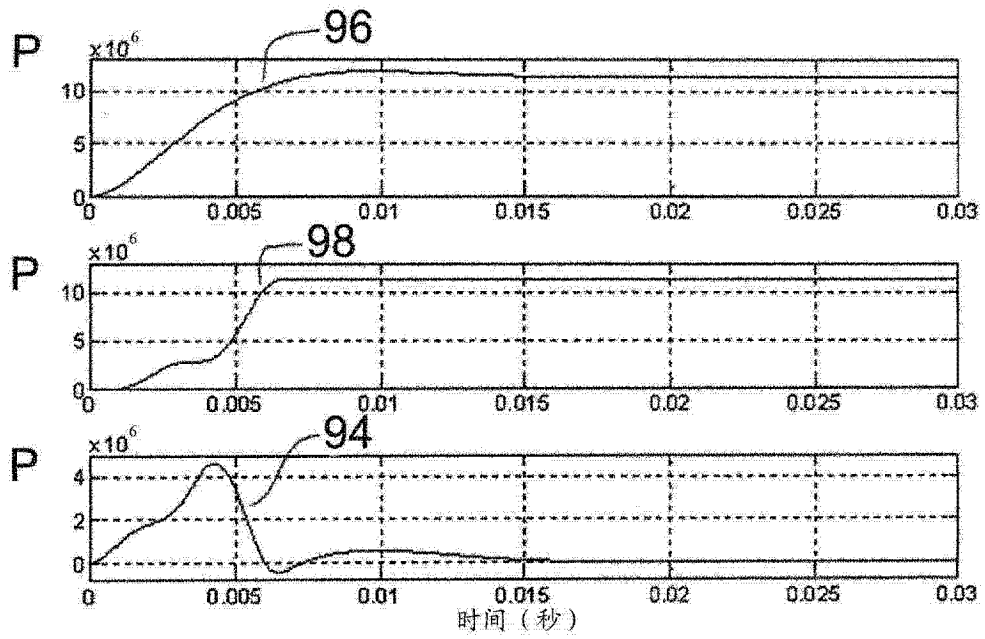


图 7

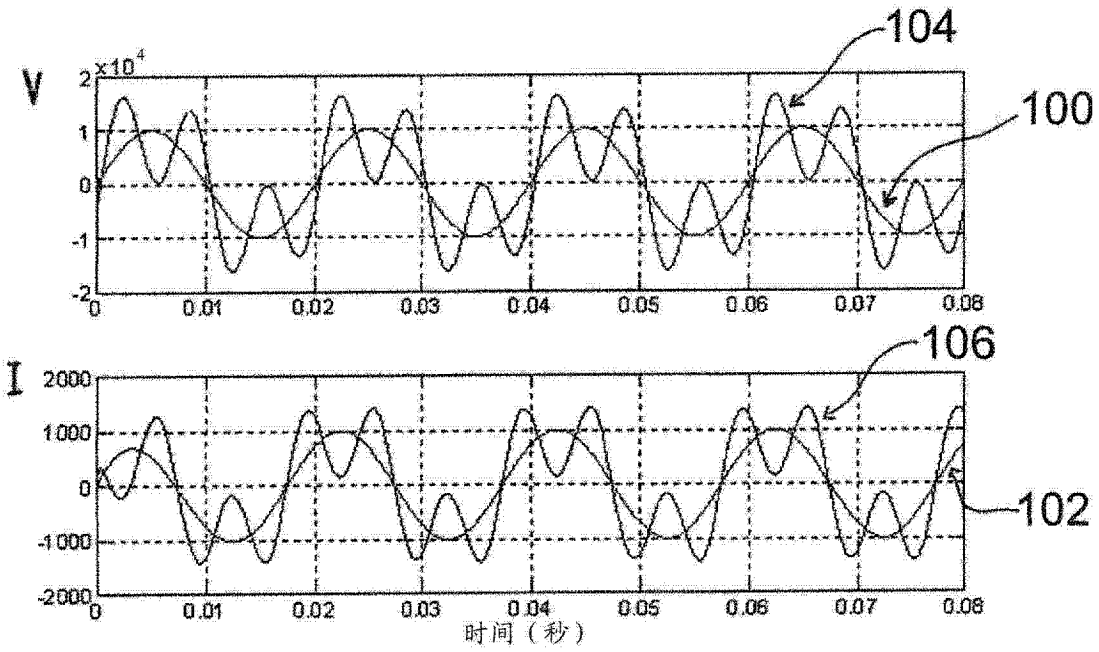


图 8