



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103378758 B

(45)授权公告日 2016.12.28

(21)申请号 201310048715.X

(22)申请日 2013.02.07

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 103378758 A

(43)申请公布日 2013.10.30

(30)优先权数据

2012-091629 2012.04.13 JP

(73)专利权人 富士电机株式会社

地址 日本神奈川县

(72)发明人 谷津诚

(74)专利代理机构 上海专利商标事务所有限公

司 31100

代理人 张鑫

(51)Int.Cl.

H02M 7/483(2007.01)

(56)对比文件

CN 1287402 A, 2001.03.14,

CN 101336508 A, 2008.12.31,

CN 101860248 A, 2010.10.13,

JP 特开2010-246189 A, 2010.10.28,

CN 102035420 A, 2011.04.27,

US 6480403 B1, 2002.11.12,

审查员 王宇

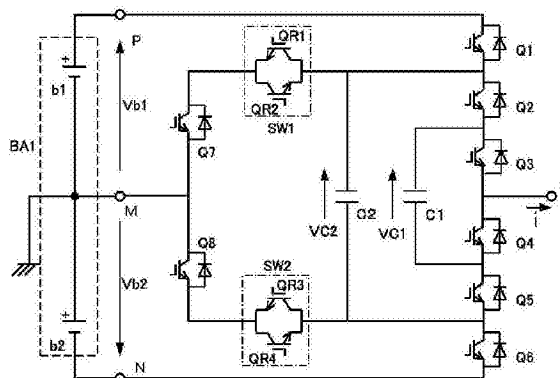
权利要求书2页 说明书9页 附图4页

(54)发明名称

多电平电力转换器

(57)摘要

本发明公开了多电平电力变换器,包括:DC电源组件,包括正极端子、负极端子、和零线端子;第一半导体开关串联电路,由串联连接在正极端子和负极端子之间的第一到第六半导体开关构成;第二半导体开关串联电路,由串联连接在第一和第二半导体开关的连接点与第五和第六半导体开关的连接点之间的第一双向开关、第七和第八半导体开关、以及第二双向开关构成;与第三和第四半导体开关的串联电路并联连接的第一电容器;以及与第二半导体开关串联电路并联连接的第二电容器;其中零线端子连接在第七和第八半导体开关的连接点且AC端子连接在第三和第四半导体开关的连接点。



1. 一种多电平电力变换器,包括:

DC电源组件,具有串联连接的第一和第二单DC电源、以及三个端子即:正极端子、零线端子、以及负极端子;

第一半导体开关串联电路,由各自具有反并联连接二极管的第一到第六半导体开关构成,所述第一到第六半导体开关依次串联连接在所述DC电源组件的所述正极端子和所述负极端子之间;

第二半导体开关串联电路,由第一双向开关、各自具有反并联连接的二极管的第七和第八半导体开关、以及第二双向开关构成,所述第一双向开关、第七和第八半导体开关、和第二双向开关依次串联连接在所述第一半导体开关和所述第二半导体开关的连接点与所述第五半导体开关和所述第六半导体开关的连接点之间;

与所述第三半导体开关和所述第四半导体开关的串联电路并联连接的第一电容器;以及

与所述第二半导体开关串联电路并联连接的第二电容器;

其中

所述DC电源组件的所述零线端子连接至所述第七半导体开关和所述第八半导体开关的连接点;以及

AC端子在所述第三半导体开关和所述第四半导体开关的连接点处。

2. 如权利要求1所述的多电平电力变换器,其特征在于,所述第一半导体开关或所述第六半导体开关由具有相同功能的串联连接的多个半导体开关构成,且所述第一半导体开关或所述第六半导体开关中的所述串联连接的半导体开关各自通过不同的控制信号驱动。

3. 如权利要求1或2所述的多电平电力变换器,其特征在于,所述第一双向开关或所述第二双向开关由具有反向阻断功能的反并联连接的半导体元件构成,且所述反并联的半导体元件各自通过不同的控制信号驱动。

4. 如权利要求1或2所述的多电平电力变换器,其特征在于,所述第一双向开关或所述第二双向开关由以反串联模式串联连接的半导体开关构成,且每一个所述半导体开关具有反并联连接的二极管并通过不同控制信号驱动。

5. 如权利要求1或2所述的多电平电力变换器,其特征在于,所述多电平电力变换器使用具有电压电平分别处于+3E、0、和-3E的三个端子的所述DC电源组件,将所述第一电容器保持在1E的电压、且将所述第二电容器保持在2E的电压,利用所述DC电源组件、所述第一电容器、和所述第二电容器的电压生成+3E、+2E、+1E、0、-1E、-2E、和-3E这七个电压电平,并将选自所述七个电压电平的任意电压传递至所述AC端子。

6. 如权利要求3所述的多电平电力变换器,其特征在于,所述多电平电力变换器使用具有电压电平分别处于+3E、0、和-3E的三个端子的所述DC电源组件,将所述第一电容器保持在1E的电压、且将所述第二电容器保持在2E的电压,利用所述DC电源组件、所述第一电容器、和所述第二电容器的电压生成+3E、+2E、+1E、0、-1E、-2E、和-3E这七个电压电平,并将选自所述七个电压电平的任意电压传递至所述AC端子。

7. 如权利要求4所述的多电平电力变换器,其特征在于,所述多电平电力变换器使用具有电压电平分别处于+3E、0、和-3E的三个端子的所述DC电源组件,将所述第一电容器保持在1E的电压、且将所述第二电容器保持在2E的电压,利用所述DC电源组件、所述第一电容

器、和所述第二电容器的电压生成+3E、+2E、+1E、0、-1E、-2E、和-3E这七个电压电平,并将选自所述七个电压电平的任意电压传递至所述AC端子。

多电平电力转换器

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请基于2012年4月13日提交的日本专利申请No. 2012-091629并要求其优先权,该申请的内容通过引用结合于此。

发明背景

[0003] 1.发明领域

[0004] 本发明涉及半导体电力变换技术,尤其涉及构建直接输出多个电压电平的多电平电力变换电路的技术。

[0005] 2.相关技术描述

[0006] 图7示出根据专利文献1中公开的常规技术的七电平电力变换电路的示例。图7的电路是多电平(图7常规电路中的七电平)电力变换电路的一相的部分电路。使用两个图7的部分电路可构成单相变换电路,且使用三个图7的部分电路可构成三相变换电路。参看图7,DC电源组件BA2包括串联连接的单DC电源b11、b12、b13、b21、b22、和b23。DC电源组件BA2具有处于七个不同电压电平的七个端子P1、P2、P3、M、N1、N2、和N3。半导体开关Q1到Q12(在此示例中是IGBT)的串联连接电路被连接在正极端子P3和负极端子N3之间。半导体Q6和Q7的连接点连接至AC输出端子U。由串联连接的二极管D1和D2构成的二极管臂对DA1被连接在半导体开关Q1和Q2的连接点与半导体开关Q7和Q8的连接点之间。二极管臂对DA1的中间端子连接至单DC电源b11和b12的连接点。

[0007] 类似地,由串联连接的二极管D3和D4构成的二极管臂对DA2被连接在半导体开关Q2和Q3的连接点与半导体开关Q8和Q9的连接点之间。二极管臂对DA2的中间端子连接至单DC电源b12和b13的连接点。

[0008] 由串联连接的二极管D5和D6构成的二极管臂对DA3被连接在半导体开关Q3和Q4的连接点与半导体开关Q9和Q10的连接点之间。二极管臂对DA3的中间端子连接至单DC电源b13和b21的连接点。

[0009] 由串联连接的二极管D7和D8构成的二极管臂对DA4被连接在半导体开关Q4和Q5的连接点与半导体开关Q10和Q11的连接点之间。二极管臂对DA4的中间端子连接至单DC电源b21和b22的连接点。

[0010] 由串联连接的二极管D9和D10构成的二极管臂对DA5被连接在半导体开关Q5和Q6的连接点与半导体开关Q11和Q12的连接点之间。二极管臂对DA5的中间端子连接至单DC电源b22和b23的连接点。

[0011] 在此电路构造中,当半导体开关Q1到Q6处于导通状态且半导体开关Q7到Q12处于截止状态时,AC端子U输出电压+3E;当半导体开关Q2到Q7处于导通状态且半导体开关Q8到Q12和Q1处于截止状态时,AC端子U输出电压+2E;当半导体开关Q3到Q8处于导通状态且半导体开关Q9到Q12以及Q1和Q2处于截止状态时,AC端子U输出电压+1E;当半导体开关Q4到Q9处于导通状态且半导体开关Q10到Q12和Q1到Q3处于截止状态时,AC端子U输出电压0(零);当半导体开关Q5到Q10处于导通状态且半导体开关Q11和Q12以及Q1到Q4处于截止状态时,AC

端子U输出电压 $-1E$ ；当半导体开关Q6到Q11处于导通状态且半导体开关Q12和Q1到Q5处于截止状态时，AC端子U输出电压 $-2E$ ；且当半导体开关Q7到Q12处于导通状态且半导体开关Q1到Q6处于截止状态时，AC端子U输出电压 $-3E$ ；因此，通过调整半导体开关Q1到Q12的导通/截止，AC端子U可传递七个电平的输出电压。

[0012] [专利文献1]

[0013] 日本未经审查的专利申请公开No.H11-164567

[0014] 在图7的常规电路中，最多六个串联连接的半导体开关将输出电流从DC电源组件BA2携带至AC端子U。这引起半导体开关中的较大的稳态导通状态损耗和变换设备的整体变换效率的劣化。尺寸减小和成本降低也是困难的。此外，在如图7所示的多电平电力变换电路中，虽然来自AC端子U的输出电压和电流具有关于电极性对称的AC波形，单DC电源b11、b12、b13、b21、b22、和b23原理上没有承受相等功率。因此，单DC电源需要彼此独立。DC电源组件BA2，即多电平电力变换电路的输入设备，需要各自独立传递功率的六个单DC电源，这对于设备的制造提出了严格的限制。DC电源不平衡的问题在IEEE-PESC1995会议记录pp.1144-1150题为“A multi-level voltage source converter system with balanced DC voltage”的论文中被公开。

发明内容

[0015] 因此，本发明的目的在于提供多电平电力变换器，相比常规设备，由于携带输出电流的半导体开关的数量减少，该多电平电力变换器产生的损耗减少，且可用仅由两个单DC电源构成的DC电源组件来操作该多电平电力变换器。

[0016] 为了实现上述目的，用于将DC电力转换为AC电力或将AC电力转换为DC电力的本发明的第一方面的多电平电力变换器包括：DC电源组件，具有串联连接的第一和第二单DC电源，以及三个端子即：正极端子、负极端子、以及位于正极端子和负极端子之间的处于中间电位的中点端子；第一半导体串联电路，由各自具有反并联连接二极管的第一到第六半导体开关构成，该第一到第六半导体开关依次串联连接在该DC电源组件的正极端子和负极端子之间；第二半导体开关串联电路，由第一双向开关、各自具有反并联连接的二极管的第七和第八半导体开关、以及第二双向开关构成，第一双向开关、第七和第八半导体开关、和第二双向开关依次串联连接在第一半导体开关和第二半导体开关的连接点与第五半导体开关和第六半导体开关的连接点之间；与第三半导体开关和第四半导体开关的串联电路并联连接的第一电容器；以及与第二半导体开关串联电路并联连接的第二电容器；其中零线端子连接在第七半导体开关和第八半导体开关的连接点；且AC端子在第三半导体开关和第四半导体开关的连接点处。

[0017] 本发明的第二方面的多电平电力变换器是本发明的第一方面的多电平电力变换器，其中第一半导体开关或第六半导体开关由具有相同功能的串联连接的多个半导体开关构成，且串联连接的半导体开关各自通过不同的控制信号驱动。

[0018] 本发明的第三方面的多电平电力变换器是本发明的第一或第二方面的多电平电力变换器，其中第一双向开关或第二双向开关由具有反向阻断功能的反并联连接的半导体元件构成，且反并联连接的半导体元件各自通过不同的控制信号驱动。

[0019] 本发明的第四方面的多电平电力变换器是本发明的第一或第二方面的多电平电

力变换器,其中第一双向开关或第二双向开关由以反串联模式彼此串联连接的半导体开关构成,且每一个半导体开关具有反并联连接的二极管并通过不同控制信号驱动。

[0020] 本发明的第五方面的多电平电力变换器是本发明的第一到第四方面中任一方面的多电平电力变换器,其中多电平电力变换器使用具有电压电平处于 $+3E$ 、 0 、和 $-3E$ 的三个端子的DC电源组件,将第一电容器保持在 $1E$ 的电压、且将第二电容器保持在 $2E$ 的电压,利用DC电源组件、第一电容器、和第二电容器的电压生成 $+3E$ 、 $+2E$ 、 $+1E$ 、 0 、 $-1E$ 、 $-2E$ 、和 $-3E$ 的七个电压电平,并将选自七个电压电平的任意电压传递至AC端子。

[0021] 本发明将电流从输入DC电源组件携带至AC输出端子的半导体开关的数量从最多六个减少为最多四个,因此减少了功率损耗。这导致更高的效率、更低成本、和更小的尺寸。此外,输入DC电源组件可仅由两个单DC电源构成,这减少了施加在常规电路上的限制,从而使得设备制造更方便。

附图说明

[0022] 图1是示出根据本发明第一实施例的多电平电力变换器的电路图;

[0023] 图2示出根据本发明的第一实施例的多电平电力变换器电路的操作模式和操作波形;

[0024] 图3示出根据本发明的第一实施例的多电平电力变换器电路中的半导体开关的操作;

[0025] 图4是示出根据本发明第二实施例的多电平电力变换器的电路图;

[0026] 图5是示出根据本发明第三实施例的多电平电力变换器的电路图;

[0027] 图6示出根据本发明的第三实施例的多电平电力变换器电路中的半导体开关的操作;和

[0028] 图7是示出常规技术的多电平电力变换器的电路图。

具体实施方式

[0029] 本发明的要点如下。

[0030] 本发明的多电平电力变换器包括:DC电源组件,包括正极端子、零线端子、和负极端子;第一半导体开关串联电路,由依次串联连接在正极端子和负极端子之间的第一到第六半导体开关构成;第二半导体开关串联电路,由依次串联在第一和第二半导体开关的连接点与第五和第六半导体开关的连接点之间的第一双向开关、第七和第八半导体开关、以及第二双向开关构成;与第三和第四半导体开关的串联电路并联连接的第一电容器;以及与第二半导体开关串联电路并联连接的第二电容器;其中DC电源组件的零线端子连接在第七和第八半导体开关的连接点且AC端子在第三和第四半导体开关的连接点。

[0031] [实施例1]

[0032] 图1示出本发明的第一实施例。图1的电路是电力变换电路的一相,其使用具有正极端子、零线端子、和负极端子且包括串联连接的单DC电源 b_1 和 b_2 的DC电源组件BA1的DC电源电路。此多电平电力变换电路包括由连接在DC电源组件BA1的正极端子P和负极端子N之间的串联连接的半导体开关Q1到Q6构成的第一半导体开关电路、以及与半导体开关Q3和Q4的串联电路并联连接的第一电容器C1。第二电容器C2连接在半导体开关Q1和Q2的连接点与

半导体开关Q5和Q6的连接点之间。第二半导体开关串联电路与第二电容器C2并联连接。第二半导体串联电路包括串联连接的双向开关SW1、半导体开关Q7和Q8、以及另一个双向开关SW2。半导体开关Q7和Q8的连接点连接至DC电源组件BA1的零线端子M,且半导体开关Q3和Q4的连接点连接至AC端子U。

[0033] 下文参看图2和3描述具有上述构造的电路的操作。以下描述是对于七电平电力变换电路作出的,其中单DC电源b1的电压 V_{b1} 为3E、单DC电源b2的电压 V_{b2} 是-3E、电容器C1的电压 V_{C1} 为1E、而电容器C2的电压 V_{C2} 是2E。

[0034] 如图2和图3中所示,存在16个开关模式。

[0035] 开关模式1将+3E传递至AC端子U。在开关模式1中,半导体开关Q1、Q2、和Q3处于导通状态,且半导体开关Q4和双向开关SW1的QR1处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:单DC电源b1→半导体开关Q1→半导体开关Q2→半导体开关Q3→AC端子U。电流流过三个半导体开关:Q1、Q2、和Q3。在半导体开关Q5、Q6、和Q7以及双向开关SW2的QR3处于截止状态的情况下,半导体开关Q4承受的电压等于电容器C1两端的电压 V_{C1} ,即1E。

[0036] 半导体开关Q5承受电压 $V_{C2}-V_{C1}=1E$,其为电容器C2的电压 V_{C2} (2E)减去电容器C1的电压 V_{C1} (1E)。半导体开关Q6承受等于4E的电压,其为单DC电源b2的电压 $-V_{b2}$ +单DC电源b1的电压 V_{b1} -电容器C2的电压 $V_{C2}=4E$ 。双向开关SW2承受等于1E的电压,其为单DC电源b1的电压 V_{b1} -电容器C2的电压 $V_{C2}=1E$ 。半导体开关Q7和双向开关SW1的串联连接电路承受3E的电压,其为单DC电源b1的电压 V_{b1} 。此处,如果串联电路中的半导体开关Q7和双向开关SW1表现出2:1比例的耐受电压,半导体开关Q7承受2E的电压且双向开关SW1承受1E的电压。

[0037] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是+3E:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 V_{b1} 为3E且单DC电源b2的电压 V_{b2} 为-3E,并将电容器C1的电压 V_{C1} 保持在1E且将电容器C2的电压 V_{C2} 保持在2E。双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q4、Q5、Q6、和Q7分别承受电压1E、1E、1E、1E、4E、和2E。

[0038] 在如开关模式1中的七电平电力变换电路的假设下,开关模式2在AC端子U传递+2E。在此开关模式2中,半导体开关Q1、Q2、和Q4处于导通状态,且半导体开关Q3、Q5、Q6、和Q7以及双向开关SW1的QR1和双向开关SW2的QR3处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:单DC电源b1→半导体开关Q1→半导体开关Q2→电容器C1→半导体开关Q4→AC端子U。电流流过三个半导体开关:Q1、Q2、和Q4。AC端子U传递电压2E,其为单DC电源b1的电压 V_{b1} 减去电容器C1的电压 V_{C1} 。半导体开关Q3承受电压1E,其为电压 V_{C1} ;半导体开关Q5承受电压1E,其为电容器C2的电压 V_{C2} 减去电容器C1的电压 V_{C1} ;半导体开关Q6承受电压4E,其为单DC电源b2的电压 $-V_{b2}$ +单DC电源b1的电压 V_{b1} -电容器C2的电压 V_{C2} ;双向开关SW2承受电压1E,其为单DC电源b1的电压 V_{b1} 减去电容器C2的电压 V_{C2} ;且半导体开关Q7和双向开关SW1的串联连接电路承受单DC电源b1的电压 V_{b1} 。这些组件被钳位于如上所示的电压。

[0039] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是+2E:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 V_{b1} 为3E且单DC电源b2的电压 V_{b2} 为-3E,并将电容器C1的电压 V_{C1} 保持在1E且将电容器C2的电压 V_{C2} 保持在2E。双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q3、Q5、Q6、和Q7分别承受电压1E、1E、1E、1E、4E、和2E。

[0040] 在如开关模式1中的七电平电力变换电路的假设下,开关模式3在AC端子U传递+2E。在此开关模式3中,半导体开关Q1、Q3、和Q5处于导通状态,且半导体开关Q2、Q4、Q6、和Q7

以及双向开关SW1的QR1和双向开关SW2的QR3处于截止状态。输出电流通过如下路径流动：单DC电源b1→半导体开关Q1→电容器C2→半导体开关Q5→电容器C1→半导体开关Q3→AC端子U。电流流过三个半导体开关：Q1、Q5、和Q3。AC端子U传递电压，其为单DC电源b1的电压Vb1-电容器C2的电压VC2+电容器C1的电压VC1。

[0041] 在上述的七电平电力变换电路中，在如下条件下，AC端子U的电压是+2E：使用DC电源组件BA1，其具有的单DC电源b1的电压Vb1为3E而单DC电源b2的电压Vb2为-3E，并将电容器C1的电压VC1保持在1E且将电容器C2的电压VC2保持在2E。双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q2、Q4、Q6、和Q7分别被钳位在电压1E、1E、1E、1E、4E、和2E。

[0042] 在如上所述开关模式1中的七电平电力变换电路的假设下，开关模式4在AC端子U传递+2E。在此开关模式4中，双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q2、Q3、和Q8处于导通状态，且半导体开关Q1、Q4、Q5、Q6、和Q7处于截止状态。输出电流通过如下路径流动：DC电源组件BA1的零线端子→半导体开关Q8→双向开关SW2→电容器C2→半导体开关Q2→半导体开关Q3→AC端子U。电流流过四个开关，即双向开关SW2以及半导体开关Q8、Q2、和Q3。AC端子U直接传递电压2E，其为电容器C2的电压VC2。

[0043] 在上述的七电平电力变换电路中，在如下条件下，AC端子U的电压是+2E：使用DC电源组件BA1，其具有的单DC电源b1的电压Vb1为3E而单DC电源b2的电压Vb2为-3E，且将电容器C1的电压VC1保持在1E且将电容器C2的电压VC2保持在2E。半导体开关Q1、Q4、Q5、Q6、和Q7分别被钳位在电压1E、1E、1E、3E、和2E。

[0044] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下，开关模式5在AC端子U传递+1E。在此开关模式5中，半导体开关Q1、Q4、和Q5处于导通状态，且半导体开关Q2、Q3、Q6、和Q7以及双向开关SW1的QR1和双向开关SW2的QR3处于截止状态。输出电流通过如下路径流动：单DC电源b1→半导体开关Q1→电容器C2→半导体开关Q5→半导体开关Q4→AC端子U。电流流过半导体开关中的三个开关即：Q1、Q5、和Q4。AC端子U传递电压1E，其为单DC电源b1的电压Vb1-电容器C2的电压VC2。

[0045] 在上述的七电平电力变换电路中，在如下条件下，AC端子U的电压是+1E：使用DC电源组件BA1，其具有的单DC电源b1的电压Vb1为3E而单DC电源b2的电压Vb2为-3E，且将电容器C1的电压VC1保持在1E且将电容器C2的电压VC2保持在2E。双向开关SW1和SW2、半导体开关Q2、Q3、Q6、和Q7分别被钳位在电压1E、1E、1E、1E、4E、和2E。

[0046] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下，开关模式6在AC端子U传递+1E。在此开关模式6中，双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q2、Q4、和Q8处于导通状态，且半导体开关Q1、Q3、Q5、Q6、和Q7处于截止状态。输出电流通过如下路径流动：DC电源组件BA1的零线端子M→半导体开关Q8→双向开关SW2→电容器C2→半导体开关Q2→电容器C1→半导体开关Q4→AC端子U。电流流过四个开关即：半导体开关Q8、Q2、和Q4，以及双向开关SW2。AC端子U传递电压1E，其为电容器C2的电压VC2-电容器C1的电压VC1。

[0047] 在上述的七电平电力变换电路中，在如下条件下，AC端子U的电压是+1E：使用DC电源组件BA1，其具有的单DC电源b1的电压Vb1为3E而单DC电源b2的电压Vb2为-3E，且将电容器C1的电压VC1保持在1E且将电容器C2的电压VC2保持在2E。半导体开关Q1、Q3、Q5、Q6、和Q7分别被钳位在电压1E、1E、1E、3E、和2E。

[0048] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下，开关模式7在AC端子U传递+1E。在此

开关模式7中,双向开关SW1和SW2、半导体开关Q3、Q5、和Q8处于导通状态,且半导体开关Q1、Q2、Q4、Q6、和Q7处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:DC电源组件BA1的零线端子M→半导体开关Q8→双向开关SW2→半导体开关Q5→电容器C1→半导体开关Q3→AC端子U。电流流过四个开关即:半导体开关Q8、Q5、和Q3,以及双向开关SW2。AC端子U传递电压 $1E_d$,其为电容器C1的电压 VC_1 。

[0049] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是 $+1E$:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 V_{b1} 为 $3E$ 而单DC电源b2的电压 V_{b2} 为 $-3E$,且将电容器C1的电压 VC_1 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 VC_2 保持在 $2E$ 。半导体开关Q1、Q2、Q4、Q6、和Q7分别被钳位在电压 $1E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、 $3E$ 、和 $2E$ 。

[0050] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式8在AC端子U传递0(零)。在此开关模式8中,双向开关SW1和SW2、半导体开关Q4、Q5、和Q8处于导通状态,且半导体开关Q1、Q2、Q3、Q6、和Q7处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:DC电源组件BA1的零线端子M→半导体开关Q8→双向开关SW2→半导体开关Q5→半导体开关Q4→AC端子U。电流流过四个开关即:半导体开关Q8、Q5、和Q4,以及双向开关SW2。AC端子U传递电压0(零),其为DC电源组件BA1的零线端子M处的电位。

[0051] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是0(零):使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 V_{b1} 为 $3E$ 而单DC电源b2的电压 V_{b2} 为 $-3E$,且将电容器C1的电压 VC_1 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 VC_2 保持在 $2E$ 。半导体开关Q1、Q2、Q3、Q6、和Q7分别被钳位在电压 $1E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、 $3E$ 、和 $2E$ 。

[0052] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式9在AC端子U传递0(零)。在此开关模式9中,双向开关SW1和SW2、半导体开关Q2、Q3、和Q8处于导通状态,且半导体开关Q1、Q4、Q5、Q6、和Q7处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:DC电源组件BA1的零线端子M→半导体开关Q7→双向开关SW1→半导体开关Q2→半导体开关Q3→AC端子U。电流流过四个开关即:半导体开关Q7、Q2、和Q3,以及双向开关SW1。AC端子U传递电压0(零),其为DC电源组件BA1的零线端子M处的电位。

[0053] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是0:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 V_{b1} 为 $3E$ 且单DC电源b2的电压 V_{b2} 为 $-3E$,且将电容器C1的电压 VC_1 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 VC_2 保持在 $2E$ 。半导体开关Q1、Q4、Q5、Q6、和Q8分别被钳位在电压 $3E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、和 $2E$ 。

[0054] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式10在AC端子U传递 $-1E$ 。在此开关模式10中,双向开关SW1和SW2、半导体开关Q2、Q4、和Q7处于导通状态,且半导体开关Q1、Q3、Q5、Q6、和Q8处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:DC电源组件BA1的零线端子M→半导体开关Q7→双向开关SW1→半导体开关Q2→电容器C1→半导体开关Q4→AC端子U。电流流过四个开关即:半导体开关Q7、Q2、和Q4,以及双向开关SW1。AC端子U传递电压 $-1E$,其为电容器C1的电压 $-VC_1$ 。

[0055] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是 $-1E$:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 V_{b1} 为 $3E$ 且单DC电源b2的电压 V_{b2} 为 $-3E$,并将电容器C1的电压 VC_1 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 VC_2 保持在 $2E$ 。半导体开关Q1、Q3、Q5、Q6、和Q8分别被钳位在电压 $3E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、和 $2E$ 。

[0056] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式11在AC端子U传递 $-1E$ 。在此开关模式11中,双向开关SW1和SW2、半导体开关Q3、Q5、和Q7处于导通状态,且半导体开关Q1、Q2、Q4、Q6、和Q8处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:DC电源组件BA1的零线端子M $\rightarrow$ 半导体开关Q7 $\rightarrow$ 双向开关SW1 $\rightarrow$ 电容器C2 $\rightarrow$ 半导体开关Q5 $\rightarrow$ 电容器C1 $\rightarrow$ 半导体开关Q3 $\rightarrow$ AC端子U。电流流过四个开关即:半导体开关Q7、Q5、和Q3,以及双向开关SW1。AC端子U传递电压 $-1E$,其为电容器C2的电压 $-VC2$ +电容器C1的电压 $VC1$ 。

[0057] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是 $-1E$:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 $Vb1$ 为 $3E$ 且单DC电源b2的电压 $Vb2$ 为 $-3E$,且将电容器C1的电压 $VC1$ 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 $VC2$ 保持在 $2E$ 。半导体开关Q1、Q2、Q4、Q6、和Q8分别被钳位在电压 $3E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、和 $2E$ 。

[0058] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式12在AC端子U传递 $-1E$ 。在此开关模式12中,半导体开关Q2、Q3、和Q6处于导通状态,且半导体开关Q1、Q4、Q5、和Q8以及双向开关SW1的QR1和双向开关SW2的QR3处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:单DC电源b2 $\rightarrow$ 半导体开关Q6 $\rightarrow$ 电容器C2 $\rightarrow$ 半导体开关Q2 $\rightarrow$ 半导体开关Q3 $\rightarrow$ AC端子U。电流流过三个开关即:半导体开关Q6、Q2、和Q3。AC端子U传递电压 $-1E$,其为单DC电源b2的电压 $Vb2$ +电容器C2的电压 $VC2$ 。

[0059] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是 $-1E$:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 $Vb1$ 为 $3E$ 而单DC电源b2的电压 $Vb2$ 为 $-3E$,并将电容器C1的电压 $VC1$ 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 $VC2$ 保持在 $2E$ 。双向开关SW1和SW2、半导体开关Q1、Q4、Q5、和Q8分别被钳位在电压 $1E$ 、 $1E$ 、 $4E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、和 $2E$ 。

[0060] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式13在AC端子U传递 $-2E$ 。在此开关模式13中,双向开关SW1和SW2、以及半导体开关Q4、Q5、和Q7处于导通状态,且半导体开关Q1、Q2、Q3、Q6、和Q8处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:DC电源组件BA1的零线端子M $\rightarrow$ 半导体开关Q7 $\rightarrow$ 双向开关SW1 $\rightarrow$ 电容器C2 $\rightarrow$ 半导体开关Q5 $\rightarrow$ 半导体开关Q4 $\rightarrow$ AC端子U。电流流过四个开关即:半导体开关Q7、Q5、和Q4,以及双向开关SW1。AC端子U传递电压 $-2E$,其为电容器C2的电压 $-VC2$ 。

[0061] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是 $-2E$:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 $Vb1$ 为 $3E$ 且单DC电源b2的电压 $Vb2$ 为 $-3E$,并将电容器C1的电压 $VC1$ 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 $VC2$ 保持在 $2E$ 。半导体开关Q1、Q2、Q3、Q6、和Q8分别被钳位在电压 $3E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、 $1E$ 、和 $2E$ 。

[0062] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式14在AC端子U传递 $-2E$ 。在此开关模式14中,半导体开关Q2、Q4、和Q6处于导通状态,且半导体开关Q1、Q3、Q5、和Q8以及双向开关SW1的QR2和双向开关SW2的QR4处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:单DC电源b2 $\rightarrow$ 半导体开关Q6 $\rightarrow$ 电容器C2 $\rightarrow$ 半导体开关Q2 $\rightarrow$ 电容器C1 $\rightarrow$ 半导体开关Q4 $\rightarrow$ AC端子U。电流流过三个开关即:半导体开关Q6、Q2、和Q4。AC端子U传递电压 $-2E$,其为单DC电源b2的电压 $Vb2$ +电容器C2的电压 $VC2$ -电容器C1的电压 $VC1$ 。

[0063] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是 $-2E$:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压 $Vb1$ 为 $3E$ 且单DC电源b2的电压 $Vb2$ 为 $-3E$,并将电容器C1的电压 $VC1$ 保持在 $1E$ 且将电容器C2的电压 $VC2$ 保持在 $2E$ 。双向开关SW1和SW2以及半导体

开关Q1、Q3、Q5、和Q8分别被钳位在电压1E、1E、4E、1E、1E、和2E。

[0064] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式15在AC端子U传递-2E。在此开关模式15中,半导体开关Q3、Q5、和Q6处于导通状态,且半导体开关Q1、Q2、Q4、和Q8以及双向开关SW1的QR2和双向开关SW2的QR4处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:单DC电源b2→半导体开关Q6→半导体开关Q5→电容器C1→半导体开关Q3→AC端子U。电流流过三个开关即:半导体开关Q6、Q5、和Q3。AC端子U传递电压-2E,其为单DC电源b2的电压Vb2+电容器C1的电压VC2。

[0065] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是-2E:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压Vb1为3E而单DC电源b2的电压Vb2为-3E,并将电容器C1的电压VC1保持在1E且将电容器C2的电压VC2保持在2E。双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q1、Q2、Q4、和Q8分别被钳位在电压1E、1E、4E、1E、1E、和2E。

[0066] 在如上所述的七电平电力变换电路的假设下,开关模式16在AC端子U传递-3E。在此开关模式16中,半导体开关Q4、Q5、和Q6处于导通状态,且半导体开关Q1、Q2、Q3、和Q8以及双向开关SW1的QR2和双向开关SW2的QR4处于截止状态。输出电流通过如下路径流动:单DC电源b2→半导体开关Q6→半导体开关Q5→半导体开关Q4→AC端子U。电流流过三个开关即:半导体开关Q6、Q5、和Q4。AC端子U传递电压-3E,其为单DC电源b2的电压Vb2。

[0067] 在上述的七电平电力变换电路中,在如下条件下,AC端子U的电压是-3E:使用DC电源组件BA1,其具有的单DC电源b1的电压Vb1为3E而单DC电源b2的电压Vb2为-3E,并将电容器C1的电压VC1保持在1E且将电容器C2的电压VC2保持在2E。双向开关SW1和SW2以及半导体开关Q1、Q2、Q3、和Q8分别被钳位在电压1E、1E、4E、1E、1E、和2E。

[0068] 具有分别传递+3E的电压Vb1和-3E的电压Vb2的单DC电源b1和b2的七电平电力变换电路,通过开关模式1到开关模式16,可在AC端子U输出七个电平的电压:+3E、+2E、+1E、0、-1E、-2E、和-3E。

[0069] 在开关模式2到开关模式4中,七电平变换电路用于传递相同输出电压+2E。然而,在来自AC端子的AC输出电流i的正方向中,开关模式2用AC输出电流i对电容器C1充电;开关模式3使电容器C1放电并使电容器C2充电;且开关模式4使电容器C2放电。

[0070] 在开关模式5到开关模式7中,从AC端子U传递相同的电压+1E。开关模式5使电容器C2充电;开关模式6使电容器C1充电并使电容器C2放电;且开关模式7使电容器C1放电。因此,通过为在AC输出端子U传递电压+2E而从开关模式2、3、和4中适当地选择一开关模式、以及为在AC端子U传递电压+1E而从开关模式5、6、和7中适当地选择一开关模式,可独立地调节电容器C1的电压VC1和电容器C2的电压VC2。上述七电平电力变换电路的示例将电容器C1的电压VC1控制在1E且电容器C2的电压VC2控制在2E。

[0071] 由于电路的对称性,类似关系保持在开关模式10到开关模式15中。在开关模式1、开关模式8、开关模式9、和开关模式16中,没有电流流过电容器C1和电容器C2。因此,电容器C1的电压VC1和电容器C2的电压VC2不变化。

[0072] [实施例2]

[0073] 图4示出根据本发明第二实施例的多电平电力变换器。此实施例2的设备与实施例1的设备的不同之处在于双向开关SW1和SW2的构造。实施例1的电路中的双向开关通过反并联连接反向阻断半导体开关QR1到QR4来构建,而实施例2的双向开关通过反串联连接没有

反向阻断能力的半导体开关QS1到QS4来构建。在实施例2的双向开关的操作中, QS1的开关与QR1的导通/截止操作同样地进行; QS2的开关与QR2的导通/截止操作同样地进行; QS3的开关与QR3的导通截止操作同样地进行; 且QS4的开关与QR4的导通/截止操作同样地进行。因此, 在实施例1和实施例2中, 双向开关SW1和SW2精确地执行同样的操作和功能。

[0074] [实施例3]

[0075] 图5示出根据本发明第三实施例的多电平电力变换器。实施例3的设备与实施例1的设备的不同之处在于, 实施例1中的半导体开关Q1被实施例3中的半导体开关Q1a和Q1b的串联连接电路所替代, 且实施例1中的半导体开关Q6被实施例3中的半导体开关Q6a和Q6b的串联连接电路所替代。

[0076] 图6示出在具有半替代导体开关Q1a、Q1b、Q6a、Q6b的设备中的七电平操作。在开关模式1、2、3、和开关模式5中, 开关Q1a和Q1b均处于导通状态且开关Q6a和Q6b均处于截止状态。在开关模式4和开关模式6、7、8中, 开关Q1a和Q1b中的一个处于导通状态且开关Q6a和Q6b均处于截止状态。在开关模式9、10、11、和开关模式13中, 开关Q1a和Q1b均处于截止状态且开关Q6a和Q6b中的一个处于导通状态。在开关模式12以及开关模式14、15、和16中, 开关Q1a和Q1b都处于截止状态且开关Q6a和Q6b都处于导通状态。

[0077] 在图6中所示的图5的设备的操作中, 图1的半导体开关Q1和Q6(理论上各自需要至少4E的耐受电压)可被半导体开关Q1a和Q1b的串联连接的电路以及半导体开关Q6a和Q6b的串联连接电路所替代, Q1a、Q1b、Q6a、和Q6b的每一个必需仅具有Q1和Q6的耐受电压的一半。通过具有低耐受电压的半导体元件的单个开关操作来进行此设备的模式间过渡, 这减少了开关损耗且因此实现了设备中的较低损耗。在具有千伏或更高范围的耐受电压的IGBT中, 例如, 随着耐受电压增大, 开关特性和稳定状态损耗快速劣化。本发明的技术在采用表现出良好特性、具有低耐受电压的半导体元件这样的情况下, 对于减少功率损耗是有用的。

[0078] 迄今描述的诸实施例的设备是用于将DC功率转换为AC功率的逆变器。然而, 本发明可被用于将AC功率转换为DC功率的变换器电路。

[0079] 本发明提供了从较少数量的单DC电源生成多电平AC电压的电路技术, 且可被应用于高电压电机驱动装置和电网用电力变换器。

[0080] [附图标记说明]

[0081] b1、b2、b11、b12、b13、b21、b22、b23: 单DC电源

[0082] BA1、BA2: DC电源组件

[0083] Q1到Q12、Q1a、Q1b、Q6a、Q6b: IGBT

[0084] QS1到QS4: IGBT

[0085] QR1到QR4: 反向阻断型IGBT

[0086] SW1、SW2: 双向开关

[0087] C1、C2: 电容器

[0088] DA1到DA5: 二极管臂对

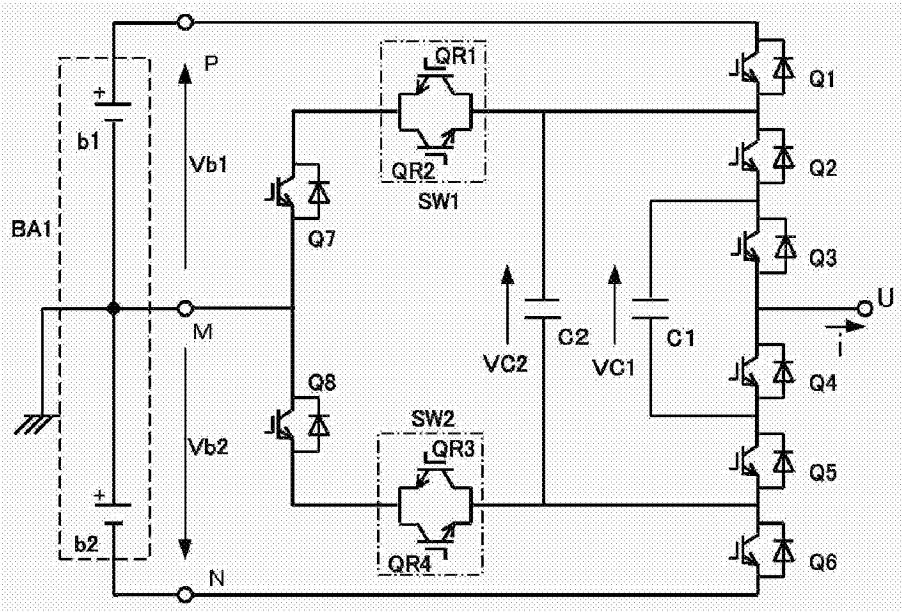


图1

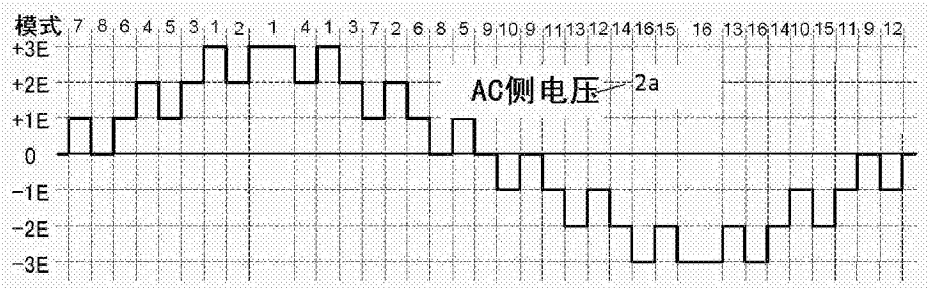


图2

3a 模式	3b 元件								3c				
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	QR1 QR3	QR2 QR4	输出	C1	C2
1	导通	导通	导通	截止	截止	截止	截止	导通	截止	导通	+3E	--	--
2	导通	导通	截止	导通	截止	截止	截止	导通	截止	导通		充电	--
3	导通	截止	导通	截止	导通	截止	截止	导通	截止	导通	+2E	放电	充电
4	截止	导通	导通	截止	截止	截止	截止	导通	导通	导通		--	放电
5	导通	截止	截止	导通	导通	截止	截止	导通	截止	导通		--	充电
6	截止	导通	截止	导通	截止	截止	截止	导通	导通	导通	+1E	充电	放电
7	截止	截止	导通	截止	导通	截止	截止	导通	导通	导通		放电	--
8	截止	截止	截止	导通	导通	截止	截止	导通	导通	导通	0	--	--
9	截止	导通	导通	截止	截止	截止	导通	截止	导通	导通		--	--
10	截止	导通	截止	导通	截止	截止	导通	截止	导通	导通		放电	--
11	截止	截止	导通	截止	导通	截止	导通	截止	导通	导通	-1E	充电	放电
12	截止	导通	导通	截止	截止	导通	导通	截止	导通	截止		--	充电
13	截止	截止	截止	导通	导通	截止	导通	截止	导通	导通		--	放电
14	截止	导通	截止	导通	截止	导通	导通	截止	导通	截止	-2E	放电	充电
15	截止	截止	导通	截止	导通	导通	导通	截止	导通	截止		充电	--
16	截止	截止	截止	导通	导通	导通	导通	截止	导通	截止	-3E	--	--

图3

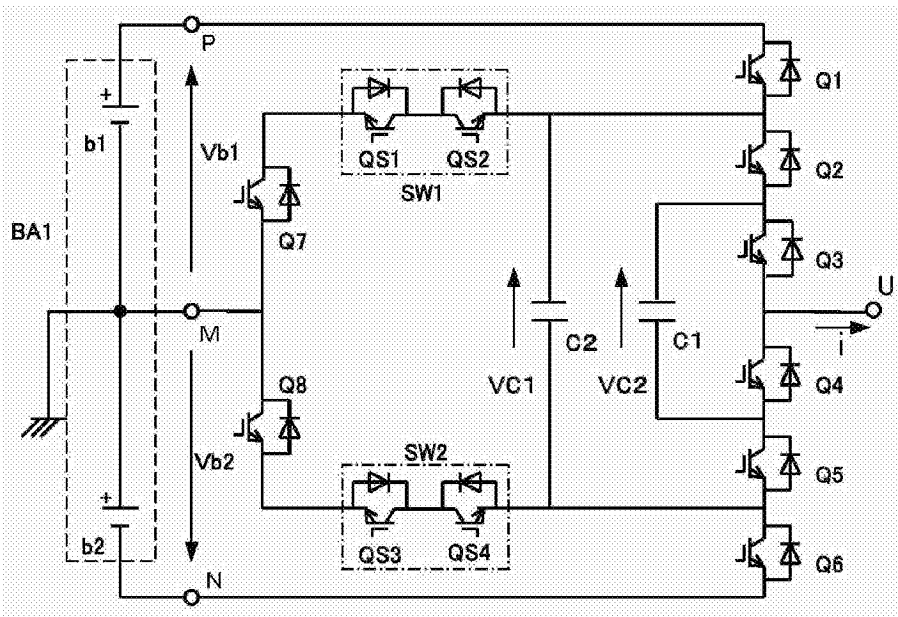


图4

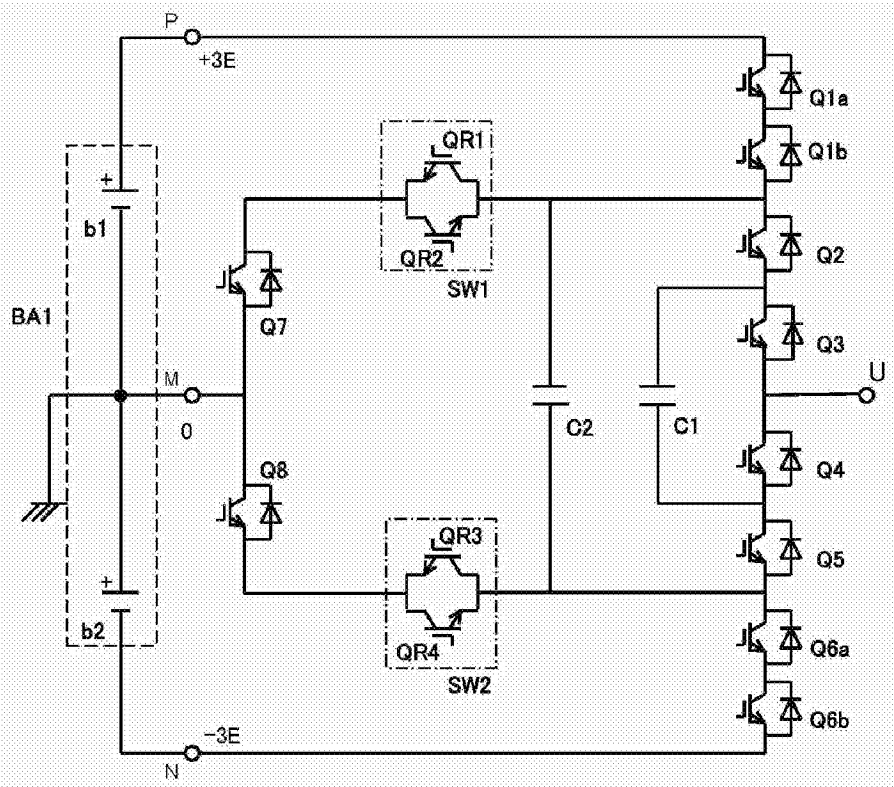


图5

6a 模式	6b 元件								6c						
	Q1a	Q1b	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6a	Q6b	Q7	Q8	QR1 QR3	QR2 QR4	输出	C1	C2
1	导通	导通	导通	截止	截止	截止	截止	截止	导通	截止	截止	导通	+3E	--	--
2	导通	导通	截止	导通	截止	截止	截止	截止	导通	截止	截止	导通	+2E	充电	--
3	导通	截止	导通	截止	导通	截止	截止	截止	导通	截止	截止	导通	+2E	放电	充电
4	截止	导通	导通	导通	截止	截止	截止	截止	导通	导通	导通	导通	+2E	--	放电
5	导通	截止	截止	导通	导通	截止	截止	截止	导通	截止	截止	导通	+1E	--	充电
6	截止	导通	导通	截止	导通	截止	截止	截止	导通	导通	导通	导通	+1E	充电	放电
7	截止	导通	截止	导通	截止	导通	截止	截止	导通	导通	导通	导通	+1E	放电	--
8	截止	导通	截止	截止	导通	导通	截止	截止	导通	导通	导通	导通	0	--	--
9	截止	导通	导通	截止	截止	截止	导通	导通	截止	导通	导通	导通	0	--	--
10	截止	导通	截止	导通	截止	截止	导通	导通	截止	导通	导通	导通	-1E	放电	--
11	截止	截止	导通	截止	导通	截止	导通	导通	截止	导通	导通	导通	-1E	充电	放电
12	截止	导通	导通	截止	截止	导通	导通	导通	截止	导通	截止	截止	-1E	--	充电
13	截止	截止	截止	导通	导通	截止	导通	导通	截止	导通	导通	导通	--	--	放电
14	截止	导通	截止	导通	截止	导通	导通	导通	截止	导通	截止	截止	-2E	放电	充电
15	截止	截止	导通	截止	导通	导通	导通	导通	截止	导通	截止	截止	-2E	充电	--
16	截止	截止	截止	导通	导通	导通	导通	导通	截止	导通	截止	截止	-3E	--	--

图6

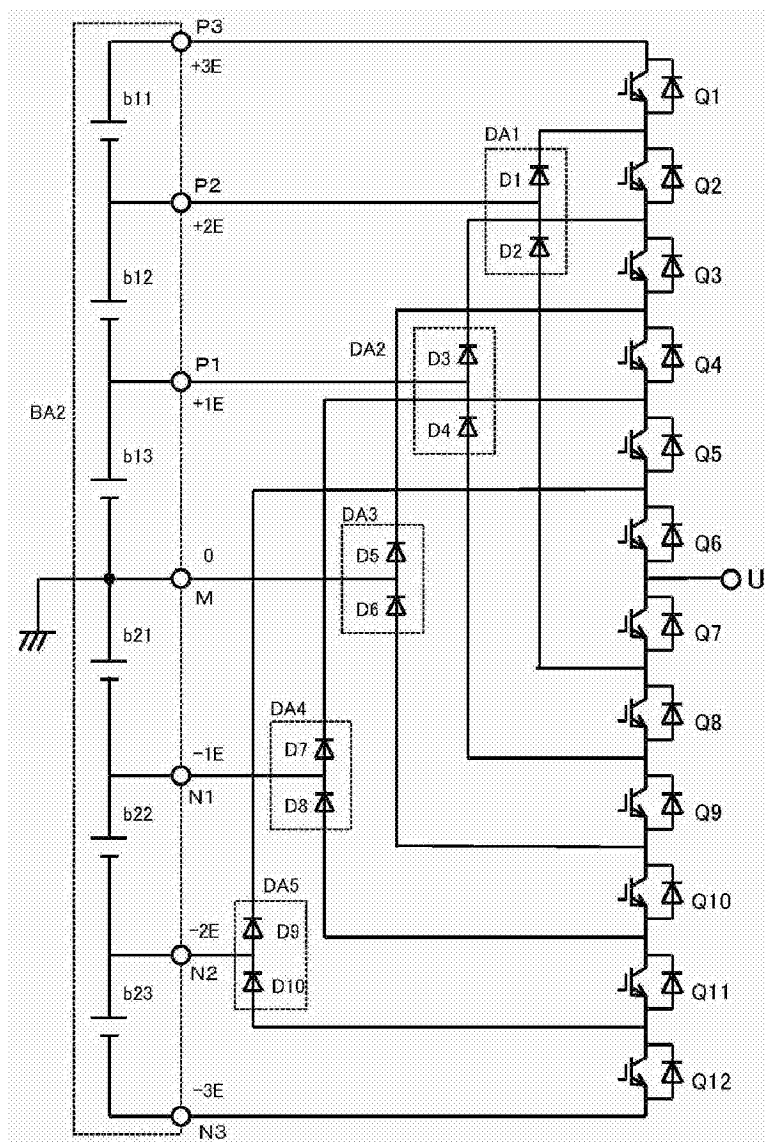


图7