

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

H02M 7/48 (2006.01)

H02M 5/22 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710148308.0

[43] 公开日 2008年3月5日

[11] 公开号 CN 101136596A

[22] 申请日 2007.8.29

[21] 申请号 200710148308.0

[30] 优先权

[32] 2006.8.29 [33] US [31] 11/468001

[71] 申请人 通用汽车环球科技运作公司

地址 美国密执安州

[72] 发明人 L·A·卡尤克 S·希蒂

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 王岳 王小衡

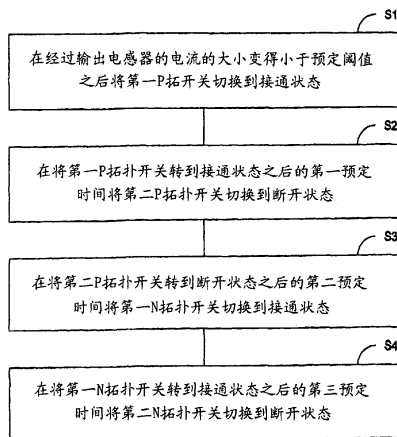
权利要求书 8 页 说明书 21 页 附图 12 页

[54] 发明名称

用于循环换流器的脉冲宽度调制方法

[57] 摘要

一种使用循环换流器的方法在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态，并且在将第一开关切换到接通状态之后的第一时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态。循环换流器包括第一端口上的节点、第二端口上的节点、耦合在第一端口的第一节点和第二端口的第一节点之间的开关对、耦合在第一端口的第二节点和第二端口的第一节点之间的开关对、耦合在第一端口的第一节点和第二端口的第二节点之间的开关对、和耦合在第一端口的第二节点和第二端口的第二节点之间的开关对。每个开关对包括每种拓扑类型的开关。



1. 在包括具有第一和第二节点的第一端口、具有第一和第二节点的第二端口、耦合在第一端口的第一节点和第二端口的第一节点之间的第一开关对、耦合在第一端口的第二节点和第二端口的第一节点之间的第二开关对、耦合在第一端口的第一节点和第二端口的第二节点之间的第三开关对、和耦合在第一端口的第二节点和第二端口的第二节点之间的第四开关对的循环换流器中，每个开关对包括串联连接的第一拓扑类型的开关和第二拓扑类型的开关，一种方法，包括：

在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态；和

在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态。

2. 根据权利要求1的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关。

3. 根据权利要求1的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关。

4. 根据权利要求1的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的；

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关。

5. 根据权利要求1的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的；

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关。

6. 根据权利要求1的方法，还包括：

在将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态之后的第二预定时间将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态；并且

在将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第三预定时间将第二拓扑类型的第二开关切换到断开状态。

7. 根据权利要求6的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关；

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关；第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关；并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关。

8. 根据权利要求6的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关;
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关。

9. 根据权利要求6的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关;
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关。

10. 根据权利要求6的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关;
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关。

11. 根据权利要求1的方法, 其中第一拓扑类型是N拓扑并且第二拓扑类型是P拓扑。

12. 根据权利要求11的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关; 并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关。

13. 根据权利要求11的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关; 并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关。

14. 根据权利要求11的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关; 并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关。

15. 根据权利要求11的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关; 并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关。

16. 根据权利要求6的方法, 其中第一拓扑类型是N拓扑并且第二拓扑类型是P拓扑。

17. 根据权利要求16的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关;
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关。

18. 根据权利要求16的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关;
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关。

19. 根据权利要求16的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关;
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关。

20. 根据权利要求16的方法, 其中:

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关；
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关；并且
第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关。

21. 根据权利要求11的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关。

22. 根据权利要求11的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关。

23. 根据权利要求11的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关。

24. 根据权利要求11的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关；并且

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关

关。

25. 根据权利要求16的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关；

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关；
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关；并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关。

26. 根据权利要求16的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是正的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关；

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关；
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关；并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关。

27. 根据权利要求16的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的；

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的N拓扑开关；

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的N拓扑开关；
第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第三开关对的P拓扑开关；并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第四开关对的P拓扑开关。

28. 根据权利要求16的方法，其中：

第一端口的第一节点上的电压相对于第一端口的第二节点上的电压是负的;

第一拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的N拓扑开关;

第一拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的N拓扑开关;

第二拓扑类型的第一开关的切换切换了第二开关对的P拓扑开关; 并且

第二拓扑类型的第二开关的切换切换了第一开关对的P拓扑开关。

29. 一种计算机可读媒体, 包含能够控制处理器控制循环换流器的模块, 所述媒体包括:

第一模块, 用于控制处理器在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态; 和

第二模块, 用于控制处理器在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态。

30. 根据权利要求29的计算机可读媒体, 其中第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑。

31. 根据权利要求29的计算机可读媒体, 其中第一拓扑类型是N拓扑并且第二拓扑类型是P拓扑。

32. 根据权利要求29的计算机可读媒体, 还包括:

第三模块, 用于控制处理器在将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态之后的第二预定时间将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态; 和

第四模块, 用于控制处理器在将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第三预定时间将第二拓扑类型的第二开关切换到断开状态。

33. 根据权利要求32的计算机可读媒体, 其中第一拓扑类型是P拓扑并且第二拓扑类型是N拓扑。

34. 根据权利要求32的计算机可读媒体, 其中第一拓扑类型是N拓扑并且第二拓扑类型是P拓扑。

用于循环换流器的脉冲宽度调制方法

技术领域

本发明涉及电动车辆和混合动力电动车辆。特别地，本发明涉及由这种车辆用于提供辅助动力的辅助动力系统。

背景技术

本发明的受让人设计和开发了电动和混合动力车辆和在其中使用的动力系统。与动力系统有关的现有技术包括辅助动力系统的说明，其中用于行走轮驱动的主动力系统被分接以便为其它目的提供辅助动力。辅助动力系统可用于为通常在车辆内构建或伴随的其它电器，比如收音机、前灯、空调吹风机等提供电力。在其它时候，辅助电力系统可被要求来为经常“插入”到车辆中的电器，比如打火机和用于充电手机的电源组、膝上型计算机以及通常插入到打火机插座中的其它设备提供电力。在又其它时候，辅助电力系统可被要求来为通常与车辆不关联的电器，比如电动剃须刀或电子工具提供110V交流或直流电力，电子工具比如是电动锯、电动钻、电动研磨机、或各种在车辆用于露营或垂钓时使用的电器。

图1描绘了一个辅助动力系统，包括直流电源、高频逆变器3、高频变压器5和与负载连接的循环换流器7。高频逆变器3和循环换流器7内的开关由控制器1控制。控制这些开关的不同方式是已知系统和本发明的实施例之间的差异。

图2描绘了高频逆变器3(HF逆变器3)，耦合在来自直流电源的直流电压(V-DC)和高频变压器5(HF变压器5)之间。HF逆变器包括四个开关S1、S2、S3、S4。开关S1包括旁路二极管30和对应的有源开关元件20。类似地，开关S2、S3、S4包括旁路二极管32、34、36和对应的有源开关元件22、24、26。

开关S1的有源开关元件20能够从V-DC(+)向HF变压器传导电流或阻碍从V-DC(+)向HF变压器的电流传导，这取决于施加到有源开关元件20的控制信号。旁路二极管30能够从HF变压器向V-DC(+)传导电流，但是在另一方向不能。类似地，开关S3的有源开关元件24能够从V-DC

(+) 向HF变压器有选择地传导电流或阻碍从V-DC (+) 向HF变压器的电流传导。旁路二极管34能够从HF变压器向V-DC (+) 传导电流, 但是在另一方向不能。

开关S2的有源开关元件22能够从HF变压器向V-DC (-) 传导电流或阻碍从HF变压器向V-DC (-) 的电流传导, 这取决于施加到有源开关元件22的控制信号。旁路二极管32能够从V-DC (-) 向HF变压器传导电流, 但是在另一方向不能。类似地, 开关S4的有源开关元件26能够从HF变压器向V-DC (-) 有选择地传导电流或阻碍从HF变压器向V-DC (-) 的电流传导。旁路二极管36能够从V-DC (-) 向HF变压器传导电流, 但是在另一方向不能。有源开关元件20、22、24、26通常包括绝缘栅极双极型晶体管 (IGBT)。尽管可以使用其它的开关技术。

在操作中, 在3000和30000Hz之间选择HF逆变器的开关频率。HF逆变器将直流电源电压V-DC转换成方波电压脉冲, 该脉冲穿过要在循环换流器7的A-BUS (即, 与接线端A连接) 和B-BUS (即, 与接线端B连接) 之间应用的HF变压器5。

图3示出了HF变压器5和循环换流器7。循环换流器7包括以桥接结构布置的四个开关对AU、BU、AV和BV。变压器5通过A-BUS和B-BUS (桥的A和B接线端) 耦合到桥。负载侧滤波器包括电感器L、霍耳效应传感器H和电容器C。负载侧滤波器耦合在节点U和V之间的桥。

每个开关对包括两个开关。P拓扑开关和N拓扑开关。开关的三个字母指示中的最后一个字母指明开关是P拓扑开关还是N拓扑开关。P拓扑开关是处于接通状态以便允许电流经过电感器L从节点U流动到节点V的开关。从节点U到节点V的电流方向被认为是正的。(这便是术语P拓扑)

N拓扑开关是处于接通状态以便允许电流经过电感器L从节点V流动到节点U的开关。根据被采用的约定, 从V到U的电流方向被认为是负的。(这便是术语N拓扑)

开关对AU连接到A-BUS并且包括开关AUP和AUN。开关对AV也连接到A-BUS并且包括开关AVP和AVN。开关对BU连接到B-BUS并且包括开关BUP和BUN。开关对BV也连接到B-BUS并且包括开关BVP和BVN。

控制器1控制每个开关对的两个开关元件来创建潜在的四个操作状态。开关对AU将用作为例子。当电流不能在任何一个方向从A-BUS

经过开关对AU流动到电感器L时，AU是断开的。在断开状态，两个开关元件都阻碍电流流动，并且两个二极管以背对背的结构连接以阻碍任何一个方向的电流流动。在接通状态，两个开关元件都导通使得电流可在两个方向流经开关对AU。

在第三状态中，开关AUP的开关元件是接通的以允许从开关AUP的二极管周围的A-BUS经过开关AUN的二极管到节点U的导通。开关AUN的开关元件是断开的以阻碍从节点U到开关AUP的电流流动，并因此不能旁路开关AUN的二极管。电流电动由开关AUN的二极管和开关元件两者阻碍，使得阻碍了来自节点U的电流经过开关AUN经过开关AUP流动到A-BUS。

在第四状态中，开关AUN的开关元件是接通的以允许从开关AUN的二极管周围的节点U经过开关AUP的二极管到A-BUS的导通。开关AUP的开关元件是断开的以阻碍从A-BUS到开关AUN的电流流动，并因此不能旁路开关AUP的二极管。电流电动由开关AUP的二极管和开关元件两者阻碍，使得阻碍了来自A-BUS的电流经过开关AUP经过开关AUN流动到节点U。

其它开关对AV、BU和BV的每一个类似地操作，使得每一个都产生由控制器1（图1）控制的四个操作状态。循环换流器7能够被控制为处于256个不同的导通状态中的任何一个。

传播经过HF变压器的电压脉冲被施加到循环换流器7（图3），以使A-BUS在HF循环的一个半循环中相对于B-BUS为正并使B-BUS在HF循环的另外半循环中相对于A-BUS为正。

正向模式如此定义使得A-BUS上的电压大于B-BUS上的电压，循环换流器7的开关确保U节点上的电压将大于V节点上的电压，并且使得当A-BUS上的电压小于B-BUS上的电压时，循环换流器7的开关确保U节点上的电压将小于V节点上的电压。在反向模式如此定义使得当A-BUS上的电压大于B-BUS上的电压时，循环换流器7的开关确保U节点上的电压小于V节点上的电压，并且使得当A-BUS上的电压小于B-BUS上的电压时，循环换流器7的开关确保U节点上的电压将大于V节点上的电压。

通过使用开关AUP、AVN、BUN、BVP、AUN、AVP、BUP和BVN的正确循环，循环换流器7可被操作为在正向和反向模式之间切换，以确保（1）U节点上的电压总是大于V节点上的电压，（2）U节点上的电压总

是小于V节点上的电压，或者（3）U节点上的电压相对于V节点上电压的极性以一个频率交替，该频率取决于开关AUP、AVN、BUN、BVP、AUN、AVP、BUP和BVN的循环而不取决于频率HF。

例如当期望确保U节点上的电压总是大于V节点上的电压，而与HF循环的相位无关时，控制器1（图1）控制循环换流器7的所有开关元件以使U节点上的电压总是比V节点上的电压正得更多。

在半个HF循环期间，当A-BUS上的电压相对于B-BUS上的电压为正（参看图4），并且电感器电流为正时，A-BUS上的电压从A-BUS经过开关AUP的开关元件经过开关AUN的二极管传递到节点U。同时，从节点V抽出的电流经过开关BVP的开关元件，经过开关BVN的二极管而到了B-BUS，直到节点V上的电压基本上与B-BUS上的电压相同（开关对BV的开关两端的电压降较小）。

类似地，在另外的半个HF循环期间，当B-BUS上的电压相对于A-BUS上的电压为正（参看图5），并且电感器电流为正时，B-BUS上的电压从B-BUS经过开关BUP的开关元件，经过开关BUN的二极管传递到节点U。同时，从节点V抽出的电流经过开关AVP的开关元件，经过开关AVN的二极管而到了A-BUS，直到节点V上的电压基本上与A-BUS上的电压相同（开关对BV的开关两端的电压降较小）。

因此，以如图4和5所描绘的方式，循环换流器开关由控制器1操作来向节点U施加总是比施加到节点V的电压正得更多的电压，而与A-BUS是否比B-BUS正得更多或相反无关。类似地，在N拓扑中，当循环换流器以如图6和7所描绘的方式操作时，可向节点U施加总是比施加到节点V的电压负得更多的电压（就是术语N拓扑），而与A-BUS是否比B-BUS正得更多或相反无关。例如，当期望确保V节点上的电压总是大于U节点上的电压而与HF循环的相位无关时，控制器1（图1）控制循环换流器7的所有开关元件以使V节点上的电压总是比U节点上的电压正得更多。

在一个交替的波形例子中，例如以60Hz交替，循环换流器7被操作成在上面的第一例子（图4和5）和上面的第二例子（图6和7）之间交替。通过在上述的拓扑之间交替，可在节点U和V之间提供交流电压波形，其中拓扑之间切换的速率可以任意地在直流（即只有第一拓扑或只有第二拓扑，但不交替）和刚在HF逆变器的开关频率之下的频率之

间的范围内选择，在HF逆变器的开关频率处，混叠很麻烦。

在第一拓扑和第二拓扑之间交替的特殊频率由控制器1中的逻辑来定义，该逻辑生成操作循环换流器7中开关的控制信号。在多数系统中，第一和第二模式之间以及返回的交替频率将是60Hz，以便与设计用来在陆地交流动力系统上操作的负载兼容，陆地交流动力系统以60Hz操作。但是，其它频率也是所期望的，比如400Hz、900Hz以及甚至1600Hz，因为这些频率也有时用在标准的交流动力系统中。

霍尔效应传感器H、电容器C和电感器L形成横跨节点U和V的滤波器。该滤波器的滤波器常数LC被指定为低通滤波器，以便移除比P拓扑和N拓扑之间交替的频率高的频率，主要是逆变器HF频率。霍尔效应传感器H提供反馈给控制器1以通知控制器穿过电感器L的电流方向。因为LC滤波器存储能量，并且因为负载由于电阻而具有前导或滞后动力因子，所以经过传感器H的电流是经过LC滤波器的电流的历史、LC滤波器的电阻和任何扩展负载的函数。

在典型操作中，HF逆变器3以充足的速率切换，使整个循环可以在2000Hz到40000Hz之间或者更典型地在3000Hz到30000Hz之间选择的预定速率重复。在第一半循环期间，开关S1和S4接通而开关S2和S3断开，使得电流流动到变压器5的虚线侧中，并且将来自直流电源的电压V-DC施加到变压器5，使得施加到变压器5的初级绕组的虚线侧的电压比施加到初级绕组的另一侧的电压正得更多。在另一个半循环期间，开关S2和S3接通而开关S1和S4断开，使得电流流出变压器5的虚线侧，并且将来自直流电源的电压V-DC施加到变压器5，使得施加到变压器5的初级绕组的虚线侧的电压比施加到初级绕组的另一侧的电压负得更多。通过使这些半循环交替，将方波电压施加到变压器5的初级绕组。开关S1和S4在第一个半循环中闭合而开关S2和S3打开，使得电流在一个方向上流经变压器5的初级绕组。接着，在另一个半循环中，开关S2和S3闭合而开关S1和S4断开，使得电流以相反的方向流经变压器5的初级绕组。一般地，如此选择变压器的大小以及特别的变压器的磁心材料、变压器的绕组等，使得磁心材料在半循环期间没有变为磁饱和。

当控制器1按照图4-7所讨论的第一拓扑或第二拓扑来操作循环换流器7时，在被称为是动力传送周期（PT周期）期间，传送到循环换流器输出OUTPUT（图4-7）的动力被最大化。但是在许多情况下，期望

小于全动力传送。为了实现此，使用在循环换流器7中开关的脉冲宽度调制（PWM），在被称为是空程（freewheeling）周期（FW周期）期间，不提供动力传送，并且重要的是没有动力损失，空程周期将在下面描述。

为了理解PWM如何创建FW周期，只考虑参照图4和5所描述的第一拓扑，其中循环换流器7的开关由控制器1操作为向节点U施加电压，该电压总是比施加到节点V的电压正得更多，而不管A-BUS是否比B-BUS正得更多或是相反。如上所讨论的，在HF循环的第一半循环（全循环的50%工作循环）期间，开关对AU的开关操作成将来自A-BUS的正电压施加到节点U，并且在另外半个HF周期（全循环的50%工作循环）期间，开关对BU的开关操作成将来自B-BUS的正电压施加到节点U。

为了提供小于全动力传送，每个半循环（全循环的50%工作循环）被划分成动力传送PT周期（使用如上讨论的P或N拓扑）和空程FW周期。例如，在HF循环的第一半中，动力传送PT周期可能是全HF循环的25%，并且空程FW周期可能是全HF循环剩余的25%。接着，在另外半个HF循环中，动力传送PT周期可能还是全HF循环的25%，并且空程FW周期可能还是全HF循环剩余的25%。

在空程周期期间，控制器1控制循环换流器7的开关，使得节点U和V一起短路。这样做的一种方式如图8（电流从节点U经过电感器L和传感器H流到节点V）和图9（电流从节点V经过电感器L和传感器H流到节点U）所描绘的，将A-BUS短路到U和V节点。这样做的另一种方式是将B-BUS短路到U和V节点。在任意一种情况下，所不期望的是突然改变电流，因为该突然的电流变化导致大的电压尖脉冲，该尖脉冲可能破坏一些电路部件。

如果电流从电感器L经过霍尔效应传感器H流到电容器C中，则开关AUP和AVP的开关元件按照图8所描绘的那样接通，使得电流继续在电路中从电容器C经过开关AVP的开关元件经过开关AVN的二极管流动到A-BUS，接着经过开关AUP的开关元件经过开关AUN的二极管并且返回到电感器L。除了开关两端的某些小电压降外，节点U和V之间的电压一起被短路并箝位到A-BUS的电压，但是经过电感器L的电流继续不中断地流动。控制器1知道电流流动方向，因为霍尔效应传感器H感测电流方向并报告该方向给控制器。

类似地，如果电流从电容器C经过霍尔效应传感器H流到电感器L中，则开关AUN和AVN的开关元件按照图9所描绘的那样接通。电流继续在电路中从电感器L经过开关AUN的开关元件经过开关AUP的二极管流动到A-BUS，接着经过开关AVN的开关元件经过开关AVP的二极管并且返回到电容器C。除了开关两端的某些小电压降外，节点U和V之间的电压被短路并箝位到A-BUS的电压，但是经过电感器L的电流继续不中断地流动。控制器1知道电流流动方向，因为霍尔效应传感器H感测电流方向并报告该方向给控制器。

可替换地，控制器1能够控制开关AUP、AVP以及AUN、AVN的开关元件使得都在FW周期期间接通，并且不会存在感测来自霍尔效应传感器H的电流方向的需要。该布置可将节点U和V上的电压箝位到A-BUS。

可替换地，控制器1能够在空程周期期间将循环换流器7的开关控制为箝位节点U和V之间的电压到B-BUS，这是通过类似地控制开关BUP和BVP的开关元件在霍尔效应传感器H感测到电流从电感器L经过霍尔效应传感器H流动到电容器C时接通并控制开关BUN和BVP的开关元件在霍尔效应传感器H感测到电流从电容器C经过霍尔效应传感器H流动到电感器L时接通来实现的。并且，在一个可替换的变型中，控制器1能够在空程周期期间控制循环换流器7的开关，使得BUP、BUN、BVN和BVP的开关元件都接通，而与电流流动的方向无关。

在上面讨论的空程的任何情况下，在空程周期期间不经过循环换流器7来传送动力，因为节点U和V之间的电压被一起短路。这降低了传送到电感器L和电容器C中的动力量，并且作为结果，降低了传送到负载的动力量。在特定的示例情况，其中在HF循环的第一半期间，动力传送PT周期是25%的全HF循环，并且空程FW周期是25%的全HF循环。在另外半个HF循环中，动力传送PT周期是25%的全HF循环，并且空程FW周期是25%的全HF循环。因此，经过循环换流器7实际只传送了50%（例如，每个半循环25%）的最大可传送动力。节点U和V之间的滤波器的滤波器常数LC被选择为具有平滑HF动力脉冲的时间常数LC。这将使输出端（即，电容器C和霍尔效应传感器H之间的节点）和节点V中的波动被平均掉。在本文中，电容器C作为输出端OUTPUT（即，电容器C和霍尔效应传感器H之间的节点）和节点V之间的旁路电容器，并且电感器L作为在电压尖脉冲达到输出端OUTPUT之前降低该尖脉冲的输

入扼流圈，被称作为变感扼流圈。

为了实现正弦形电压输出波形，控制器1控制循环换流器7的开关来调制半循环中用于空程FW周期的百分比以及半循环中用于动力传送PT周期的对应百分比。对于在零相位角开始的正弦波，所有的半循环（即，全循环的50%）初始地用于空程FW周期，并且该半循环都不用于动力传送PT周期。因此，初始地，循环换流器的电压输出是零。半循环中用于动力传送PT周期的百分比逐渐增加直到在90度相位角到达峰值（正弦波的峰值），并接着百分比逐渐地再次在180度相位角降低到零。该半循环用于空程FW周期的对应百分比相对应地逐渐降低到最小值并接着逐渐增加。这些百分比中增加和降低的准确速率被选择来以期望的输出频率，例如60Hz，参考节点V而在输出端OUTPUT处提供正弦输出电压的半个周期。例如，如果所期望的输出频率是60Hz，则该半个周期是1/120秒，或八又三分之一毫秒。还可通过以这种方式控制循环换流器的开关来产生三角或方波波形。

除了形成基本的波形，控制器1命令循环换流器7控制输出电压波形的等级，即所递送电压的RMS。控制器1命令循环换流器7以如此方式调制半循环中用于空程FW周期的百分比，使得根据所期望的峰值正弦曲线幅度来调整输出电压波形的大小。

在八又三分之一毫秒的半波形循环周期结束时，出现零交叉，并且以节点U和V上反转的电压重复八又三分之一毫秒的半波形循环周期。

利用循环换流器操作，能够以任意但由控制器定义的预定频率来提供任意输出波形。预定频率可以是从小于直流到正好低于HF逆变器循环频率（例如3000Hz到30000Hz）的任何频率。

M. Matsui、M. Nagai、M. Mochizuki、和 Nabaе 在由 IEEE Transactions On Industry Applications 出版的题目为“High-Frequency Link AC/DC Converter With Suppressed Voltage Claim Circuits - Naturally Commutated Phase Angle Control With Self Turn-Off Devices”， Vol. 33, No. 2, March/April 1996, pp 293-300 的论文中描述了在PWM模式下循环换流器的操作。在该论文中，Matsui 等人描述了循环换流器三个不同状态之间的转变：正向状态，其中节点U和V之间的电压被控制为等于A-BUS和B-BUS之间的电压，反向状

态，其中节点U和V之间的电压被控制为等于负的A-BUS和B-BUS之间的电压，以及零状态，其中通过连接A侧开关到A-BUS或B侧开关到B-BUS来将节点U和V之间的电压短路在一起。控制器1使循环换流器以高频（HF）在正向、反向和零状态之间切换，以便确保输出电压控制。取决于A-BUS和B-BUS之间电压的极性，并取决于由霍尔效应传感器H感测的经过电感器L的电流的方向，控制器1引起正向、反向和零状态之间的特定转变。

当A-BUS和B-BUS之间的电压大于零时，并且当从节点U向节点V方向上经过电感器L的电流也大于零时，Matsui等人使用P拓扑并允许四个特定的转变。控制器1可引起从任意下列四个转变中选择的转变：从零状态（A侧）到正向状态；从零状态（B侧）到正向状态；从反向状态到零状态（A侧）；和从反向状态到零状态（B侧）。

当B-BUS和A-BUS之间的电压大于零时，并且当从节点V向节点U方向上经过电感器L的电流也大于零时，Matsui等人使用N拓扑并也允许四个特定的转变。控制器1可引起从任意下列四个转变中选择的转变：从零状态（A侧）到正向状态；从零状态（B侧）到正向状态；从反向状态到零状态（A侧）；和从反向状态到零状态（B侧）。

当A-BUS和B-BUS之间的电压大于零时，并且当从节点V向节点U方向上经过电感器L的电流也大于零时，Matsui等人使用N拓扑并允许四个特定的转变。控制器1可引起从任意下列四个转变中选择的转变：从正向状态到零状态（A侧）；从正向状态到零状态（B侧）；从正向状态到反向状态；和从反向状态到正向状态。

当B-BUS和A-BUS之间的电压大于零时，并且当从节点U向节点V方向上经过电感器L的电流也大于零时，Matsui等人使用P拓扑并允许四个特定的转变。控制器1可引起从任意下列四个转变中选择的转变：从正向状态到零状态（A侧）；从正向状态到零状态（B侧）；从正向状态到反向状态；和从反向状态到正向状态。

根据Matsui等人的电流换向依赖于由霍尔效应传感器H感测的经过电感器L的电流方向的知识。但是，当经过电感器L的电流在零交叉附近时，即使好的传感器也不能可靠地检测电流的方向。与经过传感器H的电流成比例的真的信号输出被噪声所淹没。确定经过电感器L的电流的零电流交叉可能十分困难。如果电感器电流的方向被错误地确

定，则Matsui将错误地从P拓扑切换到N拓扑，反之亦然，中断传感器电流，并引起节点U和V之间的电压尖脉冲，该尖脉冲潜在地破坏电路部件。尽管控制器1将一般具有施加到输出滤波器LC（即节点U和V之间）的电压的先验知识，并且尽管控制器可被设计成具有电感器L和电容器C的值的先验知识，但是控制器1一般将不具有系统负载电抗的先验知识，无论是电容性还是电感性的。经过电感器L的电流将在相位上从节点U和V之间施加的电压变化未知的量。因此，存在具有一种在零电流交叉点附近的电流换向的改进方法的需要，该方法不要求知道经过电感器L的电流的方向。

发明内容

循环换流器包括具有第一和第二节点[A, B]的第一端口和具有第一和第二节点[U, V]的第二端口。循环换流器还包括第一、第二、第三和第四开关对。第一开关对[AU]耦合在第一端口的第一节点[A]和第二端口的第一节点[U]之间。第二开关对[BV]耦合在第一端口的第二节点[B]和第二端口的第一节点[U]之间。第三开关对[AV]耦合在第一端口的第一节点[A]和第二端口的第二节点[V]之间。第四开关对[BV]耦合在第一端口的第二节点[B]和第二端口的第二节点[V]之间。每个开关对包括串联连接的第一拓扑类型的开关和第二拓扑类型的开关。

根据本发明的一个方法的一个实施例包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态。该方法的该实施例还包括在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态。

根据本发明的另一个方法的一个实施例包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态，并且将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态。该方法的该实施例还包括在将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态之后的第二预定时间将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态，并且在将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第三预定时间将第二拓扑类型的第二开关切换到断开状态。

一种计算机可读媒体包含能够控制处理器控制循环换流器的模块。根据本发明的一个计算机可读媒体的一个实施例包括第一模块，用于控制处理器在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S1或图12的S5），和第二模块，用于控制处理器在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S2或图12的S6）。

根据本发明的另一个计算机可读媒体的一个实施例包括第一模块，用于控制处理器在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S1或图12的S5），和第二模块，用于控制处理器在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S2或图12的S6）。该计算机可读媒体还包括第三模块，用于控制处理器在将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态之后的第二预定时间将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S3或图12的S7），和第四模块，用于控制处理器在将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第三预定时间将第二拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S4或图12的S8）。

附图说明

将参考附图在随后优选实施例的描述中详细描述本发明。

图1是描绘根据本发明控制的类型的直流到交流系统的功能框图。

图2是图1的HF逆变器的示意图。

图3是图1的循环换流器的示意图。

图4是图3的循环换流器的电路示意图，示出了当A-BUS上的电压大于B-BUS上的电压时开关对于动力传送条件的P拓扑操作设置。

图5是图3的循环换流器的电路示意图，示出了当A-BUS上的电压小于B-BUS上的电压时开关对于动力传送条件的P拓扑操作设置。

图6是图3的循环换流器的电路示意图，示出了当A-BUS上的电压大于B-BUS上的电压时开关对于动力传送条件的N拓扑操作设置。

图7是图3的循环换流器的电路示意图，示出了当A-BUS上的电压小

于B-BUS上的电压时开关对于动力传送条件的N拓扑操作设置。

图8是图3的循环换流器的电路示意图，示出了开关对于空程条件的一个操作设置。

图9是图3的循环换流器的电路示意图，示出了开关对于空程条件的另一个操作设置。

图10是示出根据本发明的控制器的一个实施例的流程图。

图11是示出根据本发明的控制方案的方法的一个实施例的流程图。

图12是示出根据本发明的控制方案的方法的另一个实施例的流程图。

具体实施方式

初始地，应当注意，有至少两个原因使确定A-BUS上相对于B-BUS的电压的极性是容易的。首先，HF逆变器3提供近似于方波的开裂波形。A-BUS上的电压和B-BUS上的电压在任何实质的时间段绝不相等。因此，在最小值，电压差传感器可容易地检测电压差。第二，在几乎所有优选实施例中，控制器1提供控制信号给HF逆变器3和循环换流器7；因此，控制器1将具有A-BUS上相对于B-BUS的电压的先验知识，因为控制器1通过它控制HF逆变器3的方式来引起这个电压差。不需要单独的传感器来确定A-BUS上相对于B-BUS的电压。

在本发明的一个实施例中，霍尔效应传感器H的输出由控制器读取。电流波形的峰到峰幅度被确定，并且阈值被确定为该幅度的预定百分比。由霍尔效应传感器指示的电流大小被确定并与该阈值比较。当该电流大小小于该阈值时，就进入安全换向模式。安全换向模式不会退出，直到电流大小再次大于阈值之后。阈值被如此选择，使得来自霍尔效应传感器H的所指示电流与零电流有足够的距离以便在给定的系统噪声环境被可靠检测。

尽管在安全换向模式下操作，也使用专门的换向序列。该换向序列不同于上面引用的Matsui等人的序列，该序列提供至少一条从HF变压器的次级绕组的一端经过电感器L到HF变压器的次级绕组的另一端的电流通路。如果电流通路要被终止，即使是瞬间的，则变压器的次级绕组中的漏电感可引起大的电压尖脉冲。

因此，在安全换向模式下，总是存在一条电流通路，漏电感的磁场中存储的能量可穿过该电流通路。此外，因为经过电感器L的电流的方向可能还在零交叉附近的点的任意方向，所以该电流通路必须容纳穿过电感器L任意方向的电流。

在安全换向模式下，电流能够穿过电感器L任意方向，防止电压贯通是必须的。电压贯通是这样一种条件，其中开关接通使得电流可直接从A-BUS流动到B-BUS或反之亦然而不穿过电感器L。在一个示例实施例中，这是在四步骤序列中实现的。

在本发明的一个使用如上所讨论的循环换流器的一般实施例中，一种方法包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S1或图12的S5）。该方法还包括在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S2或图12的S6）。在该实施例中，要么如图11所示的那样第一拓扑类型是P拓扑且第二拓扑类型是N拓扑，要么如图12所示的那样第一拓扑类型是N拓扑且第二拓扑类型是P拓扑。

在该方法的另一个一般实施例中，该方法包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S1或图12的S5），并且还包括在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S2或图12的S6）。该方法还包括在将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态之后的第二预定时间将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S3或图12的S7），并且该方法还包括在将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第三预定时间将第二拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S4或图12的S8）。在该实施例中，要么如图11所示的那样第一拓扑类型是P拓扑且第二拓扑类型是N拓扑，要么如图12所示的那样第一拓扑类型是N拓扑且第二拓扑类型是P拓扑。

控制本方法的第一示例实施例是在循环换流器7上实施的，该循环换流器7包括具有第一节点A和第二节点B的第一端口。该循环换流器7还包括具有第一节点U和第二节点V的第二端口。该循环换流器7还包括耦合在第一端口的第一节点A和第二端口的第一节点U之间的第一开关

对AU。该循环换流器7还包括耦合在第一端口的第二节点B和第二端口的第一节点U之间的第二开关对BU。该循环换流器7还包括耦合在第一端口的第一节点A和第二端口的第二节点V之间的第三开关对AV。该循环换流器7还包括耦合在第一端口的第二节点B和第二端口的第二节点V之间的第四开关对BV。每个开关对包括串联连接的P拓扑开关和N拓扑开关。

在该第一示例实施例中，该方法包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一P拓扑开关切换到接通状态(图11的S1)。因此，在进入安全换向模式时，第一P拓扑开关被切换到接通状态。该方法还包括在将第一P拓扑类型开关转到接通状态之后的第一预定时间将第二P拓扑开关切换到断开状态(图11的S2)。

在第一实施例的第一变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的，并且控制器从正向状态转变到零状态，其中节点U和V连接到A-BUS。在该第一实施例的第一变型中，第一P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP，并且第二P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。

在第一实施例的第二变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的，并且控制器从正向状态转变到零状态，其中节点U和V连接到B-BUS。在该第一实施例的第二变型中，第一P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP，并且第二P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。

在第一实施例的第三变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的，并且控制器从正向状态转变到零状态，其中节点U和V连接到A-BUS。在该第一实施例的第三变型中，第一P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP，并且第二P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。

在第一实施例的第四变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的，并且控制器从正向状态转变到零状态，其中节点U和V连接到A-BUS。在该第一实施例的第四变型中，第一P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP，并且第二P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。

在第一实施例的第五变型中，该方法还包括在将第二P拓扑开关转

到断开状态之后的第二预定时间将第一N拓扑开关切换到接通状态(图11的S3),并且在将第一N拓扑开关转到接通状态之后的第三预定时间将第二N拓扑开关切换到断开状态(图11的S4)。第一、第二和第三预定时间不需要相等。但是,最通常的是,它们是相等的,因为它们由源自控制器1的控制信号确定。

在第一实施例的第五变型的第一示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的,并且控制器从正向状态转变到零状态,其中节点U和V连接到A-BUS。在该第一实施例的第五变型的第一示例中,第一P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。第二P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。第一N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。第二N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。

在第一实施例的第五变型的第二示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的,并且控制器从正向状态转变到零状态,其中节点U和V连接到B-BUS。在该第一实施例的第五变型的第二示例中,第一P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。第二P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。第一N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。第二N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。

在第一实施例的第五变型的第三示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的,并且控制器从正向状态转变到零状态,其中节点U和V连接到A-BUS。在该第一实施例的第五变型的第三示例中,第一P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。第二P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。第一N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。第二N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。

在第一实施例的第五变型的第四示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的,并且控制器从正向状态转变到零状态,其中节点U和V连接到B-BUS。在该第一实施例的第五变型的第四示例中,第一P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。第二P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。第一N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关

BVN。第二N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。

控制方法的第二示例实施例是在循环换流器7上实施的，该循环换流器7与如上参考第一示例实施例讨论的循环换流器7实质上相等。

在该第二示例实施例中，该方法包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一N拓扑开关切换到接通状态(图12的S5)。因此，在进入安全换向模式时，第一N拓扑开关被切换到接通状态。该方法还包括在将第一N拓扑类型开关转到接通状态之后的第一预定时间将第二N拓扑开关切换到断开状态(图12的S6)。这些动作对于通过箝位到A-BUS或B-BUS而从空程模式到正向模式的任何转变是所需要的。

在第二实施例的第一变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的，并且控制器从零状态转变到正向状态，其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第二实施例的第一变型中，第一N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN，并且第二N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。

在第二实施例的第二变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的，并且控制器从零状态转变到正向状态，其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第二实施例的第二变型中，第一N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN，并且第二N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。

在第二实施例的第三变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的，并且控制器从零状态转变到正向状态，其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第二实施例的第三变型中，第一N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN，并且第二N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。

在第二实施例的第四变型中，第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的，并且控制器从零状态转变到正向状态，其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第二实施例的第四变型中，第一N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN，并且第二N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。

在第二实施例的第五变型中，该方法还包括在将第二N拓扑开关转到断开状态之后的第二预定时间将第一P拓扑开关切换到接通状态(图

12的S7), 并且在将第一P拓扑开关转到接通状态之后的第三预定时间将第二P开关切换到断开状态(图12的S8)。第一、第二和第三预定时间不需要相等。但是, 最通常的是, 它们是相等的, 因为它们由源自控制器1的控制信号确定。

在第二实施例的第五变型的第一示例中, 第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的, 并且控制器从零状态转变到正向状态, 其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第二实施例的第五变型的第一示例中, 第一N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。第二N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。第一P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。第二P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。

在第二实施例的第五变型的第二示例中, 第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的, 并且控制器从零状态转变到正向状态, 其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第二实施例的第五变型的第二示例中, 第一N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。第二N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。第一P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。第二P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。

在第二实施例的第五变型的第三示例中, 第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的, 并且控制器从零状态转变到正向状态, 其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第二实施例的第五变型的第三示例中, 第一N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。第二N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。第一P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。第二P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。

在第二实施例的第五变型的第四示例中, 第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的, 并且控制器从零状态转变到正向状态, 其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第二实施例的第五变型的第四示例中, 第一N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。第二N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。第一P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。第二P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。

控制方法的第三示例实施例是在循环换流器7上实施的,该循环换流器7与如上参考第一示例实施例讨论的循环换流器7实质上相等。

在该第三示例实施例中,该方法包括在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一N拓扑开关切换到接通状态(图12的S5)。因此,在进入安全换向模式时,第一N拓扑开关被切换到接通状态。该方法还包括在将第一N拓扑开关转到接通状态之后的第一预定时间将第二N拓扑开关切换到断开状态(图12的S6)。这些动作对于通过箝位到A-BUS或B-BUS而从反向模式到空程模式的任何转变是所需要的。

在第三实施例的第一变型中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第三实施例的第一变型中,第一N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN,并且第二N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。

在第三实施例的第二变型中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第三实施例的第二变型中,第一N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN,并且第二N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。

在第三实施例的第三变型中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第三实施例的第三变型中,第一N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN,并且第二N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。

在第三实施例的第四变型中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第三实施例的第四变型中,第一N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN,并且第二N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。

在第三实施例的第五变型中,该方法还包括在将第二N拓扑开关转到断开状态之后的第二预定时间将第一P拓扑开关切换到接通状态(图12的S7),并且在将第一P拓扑开关转到接通状态之后的第三预定时间

将第二P拓扑开关切换到断开状态(图12的S8)。第一、第二和第三预定时间不需要相等。但是,最通常的是,它们是相等的,因为它们由源自控制器1的控制信号确定。

在第三实施例的第五变型的第一示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第三实施例的第五变型的第一示例中,第一N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。第二N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。第一P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。第二P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。

在第三实施例的第五变型的第二示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是正的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第三实施例的第五变型的第二示例中,第一N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。第二N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。第一P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。第二P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。

在第三实施例的第五变型的第三示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到A-BUS。在该第三实施例的第五变型的第三示例中,第一N拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的N拓扑开关AVN。第二N拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的N拓扑开关BVN。第一P拓扑开关的切换切换了第三开关对AV的P拓扑开关AVP。第二P拓扑开关的切换切换了第四开关对BV的P拓扑开关BVP。

在第三实施例的第五变型的第四示例中,第一端口的第一节点A上的电压相对于第一端口的第二节点B上的电压是负的,并且控制器从反向状态转变到零状态,其中节点U和V箝位到B-BUS。在该第三实施例的第五变型的第四示例中,第一N拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的N拓扑开关BUN。第二N拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的N拓扑开关AUN。第一P拓扑开关的切换切换了第二开关对BU的P拓扑开关BUP。第二P拓扑开关的切换切换了第一开关对AU的P拓扑开关AUP。

在根据本发明的控制器的一个实施例中,控制器是一个处理器,

该处理器提供离散控制信号给循环换流器中的每个开关的每个开关元件（一共8个），并且还提供离散控制信号给HF逆变器中的每个开关的每个开关元件（一共4个）。该处理器还包括来自电流传感器H的输入。尽管处理器可以是模拟处理器，但是其典型地是数字处理器，其包括处理器单元、用于存储程序和数据的存储器和输入/输出结构。存储器被分为两种存储器：只读存储器（ROM）或用于存储程序的闪速存储器和用于存储数据的静态或动态随机访问（数据易失性或闪速）存储器。输入结构可包括模拟到数字转换器（例如，芯片上简单且粗糙的双斜坡或任何转换器），用于将来自传感器H的模拟信号转换成要由处理器读取的数字字。输出结构可包括用于保存12个位的12位寄存器，这12个位定义HF逆变器和循环换流器的状态，并还包括适合的12个驱动器，用于驱动控制信号到HF逆变器和循环换流器。可替换地，组成控制器1的电路可以由一组驱动器加上微处理器、普通处理器、特定用途集成电路（ASIC）或由离散部件组成的等效电路构成。控制器简单地是序列机，其提供控制信号以接通和断开循环换流器7中的8个有源开关元件和HF逆变器中的四个有源开关元件。如上讨论的第一、第二和第三预定时间可以简单地是驱动微处理器的时钟脉冲之间的周期。根据本发明的一个方法的一个示例实施例被编码在在控制器中运行的计算机程序中。

在本发明的计算机可读媒体的一个实施例中，该媒体包含能够控制控制器的处理器的逻辑模块。在使用如上讨论的循环换流器的根据本发明的媒体的一个一般实施例中，所述媒体包括用于控制处理器在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S1或图12的S5）的模块。所述媒体还包括用于控制处理器在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S2或图12的S6）的模块。在该实施例中，要么如图11所示的那样第一拓扑类型是P拓扑且第二拓扑类型是N拓扑，要么如图12所示的那样第一拓扑类型是N拓扑且第二拓扑类型是P拓扑。

在使用如上讨论的循环换流器的根据本发明的媒体的另一个一般实施例中，所述媒体包括用于控制处理器在经过输出电感器的电流的大小变得小于预定电流阈值之后将第一拓扑类型的第一开关切换到接

通状态（图11的S1或图12的S5）的模块。所述媒体还包括用于控制处理器在将第一拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第一预定时间将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S2或图12的S6）的模块。所述媒体还包括用于控制处理器在将第一拓扑类型的第二开关切换到断开状态之后的第二预定时间将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态（图11的S3或图12的S7）的模块，并且所述媒体还包括用于控制处理器在将第二拓扑类型的第一开关切换到接通状态之后的第三预定时间将第二拓扑类型的第二开关切换到断开状态（图11的S4或图12的S8）的模块。在该实施例中，要么如图11所示的那样第一拓扑类型是P拓扑且第二拓扑类型是N拓扑，要么如图12所示的那样第一拓扑类型是N拓扑且第二拓扑类型是P拓扑。

已经描述了用于直流/交流循环换流器的新颖控制方案的优选实施例（旨在说明性而非限制的），注意到本领域技术人员可依照上面的教导进行修改和变化。因此应理解的是，可以对本发明的特殊实施例进行变化，这些变化都在由所附权利要求限定的本发明的范围内公开。

已经按专利所要求那样详细且专门地描述了本发明，所要求的和期望由专利证书保护的内容在所附权利要求中叙述。

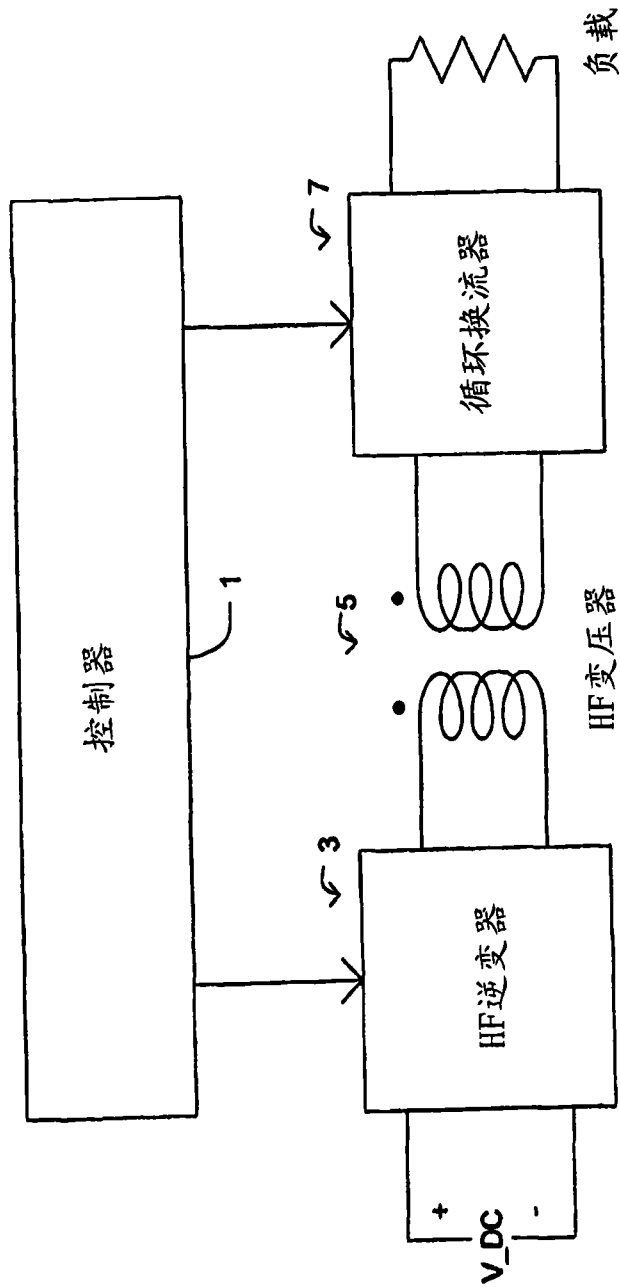


图 1

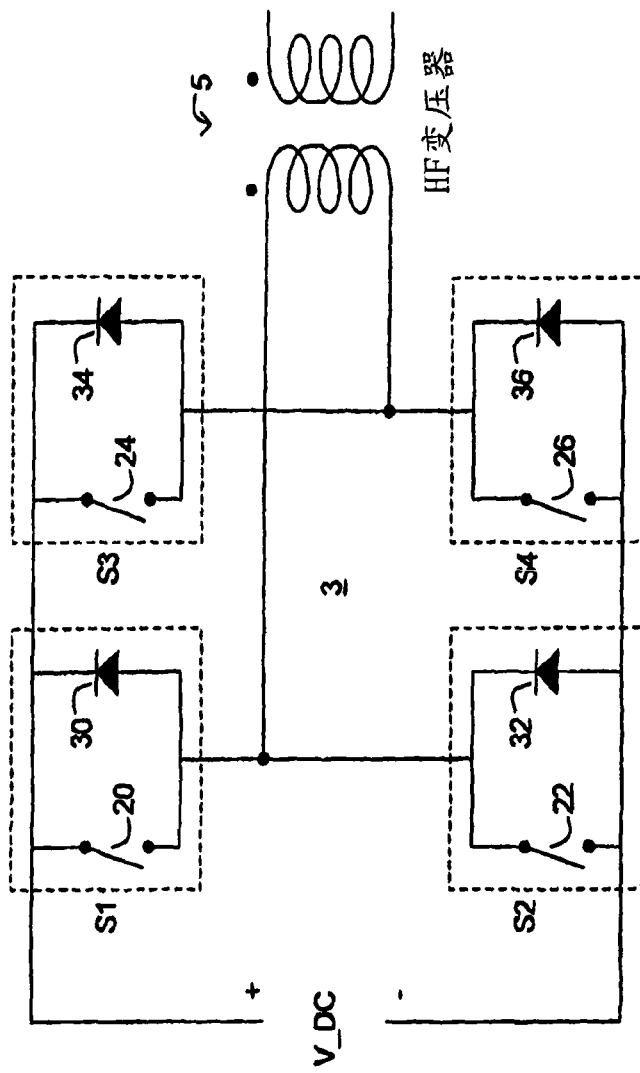


图 2

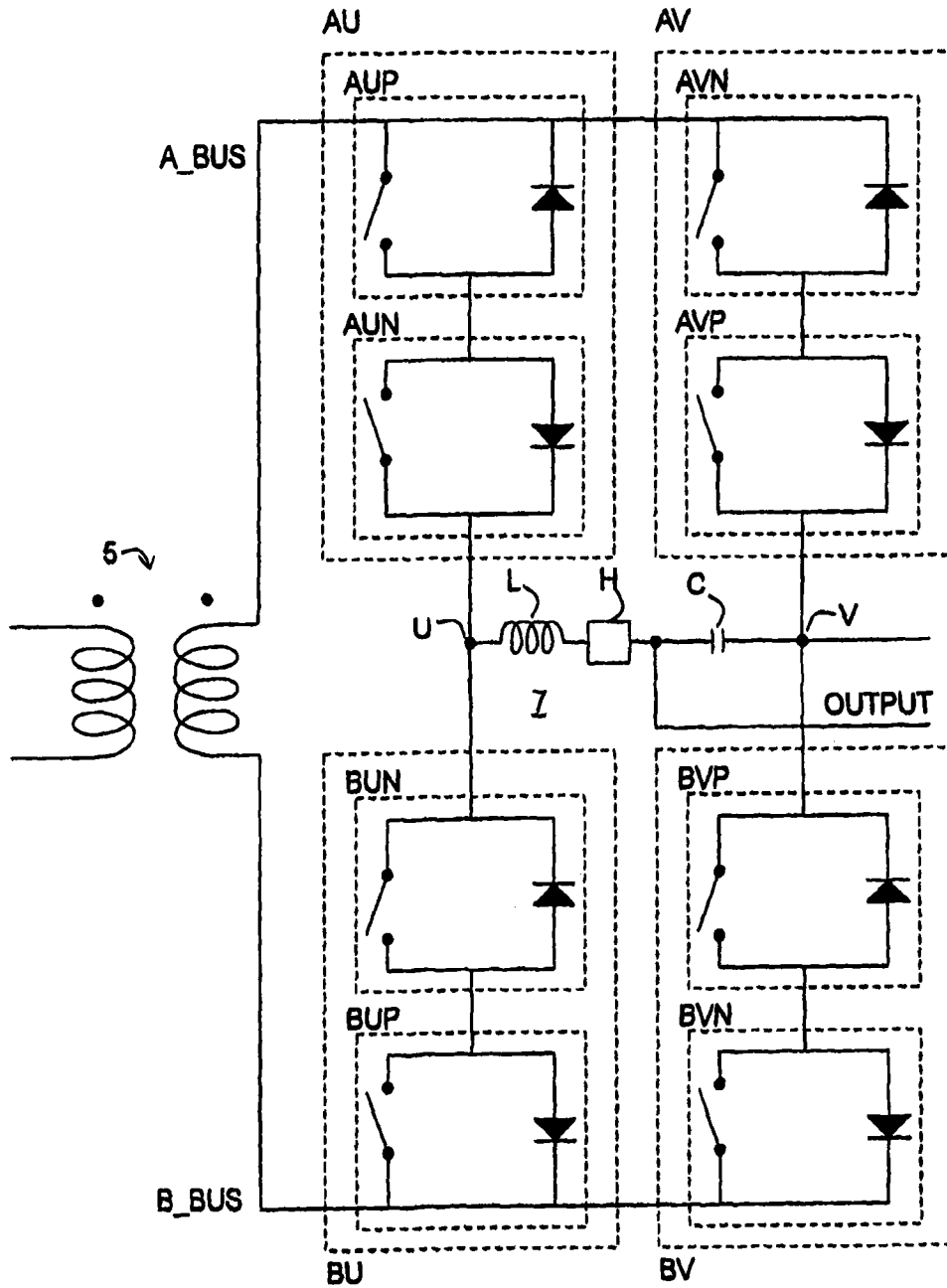


图 3

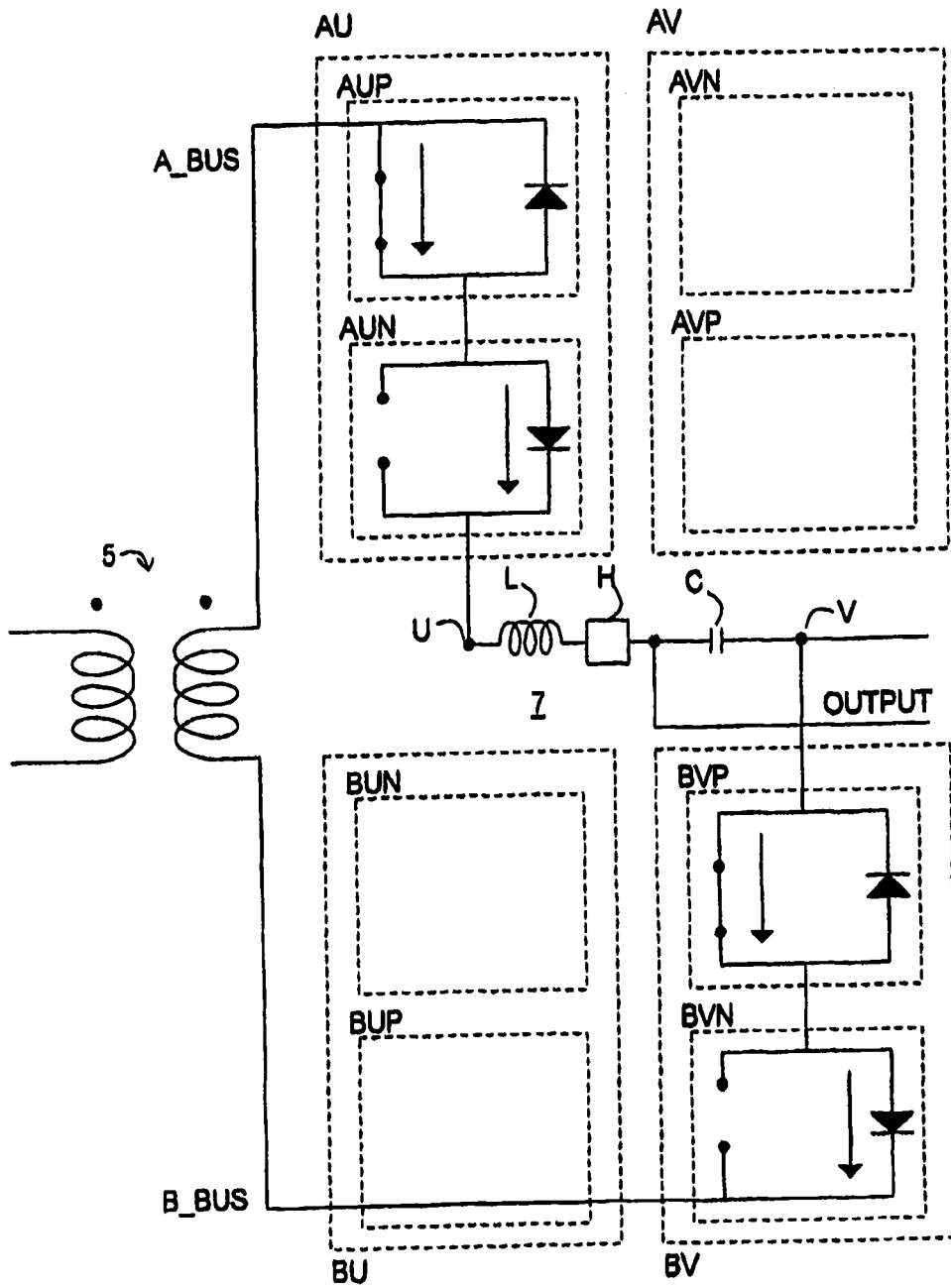


图 4

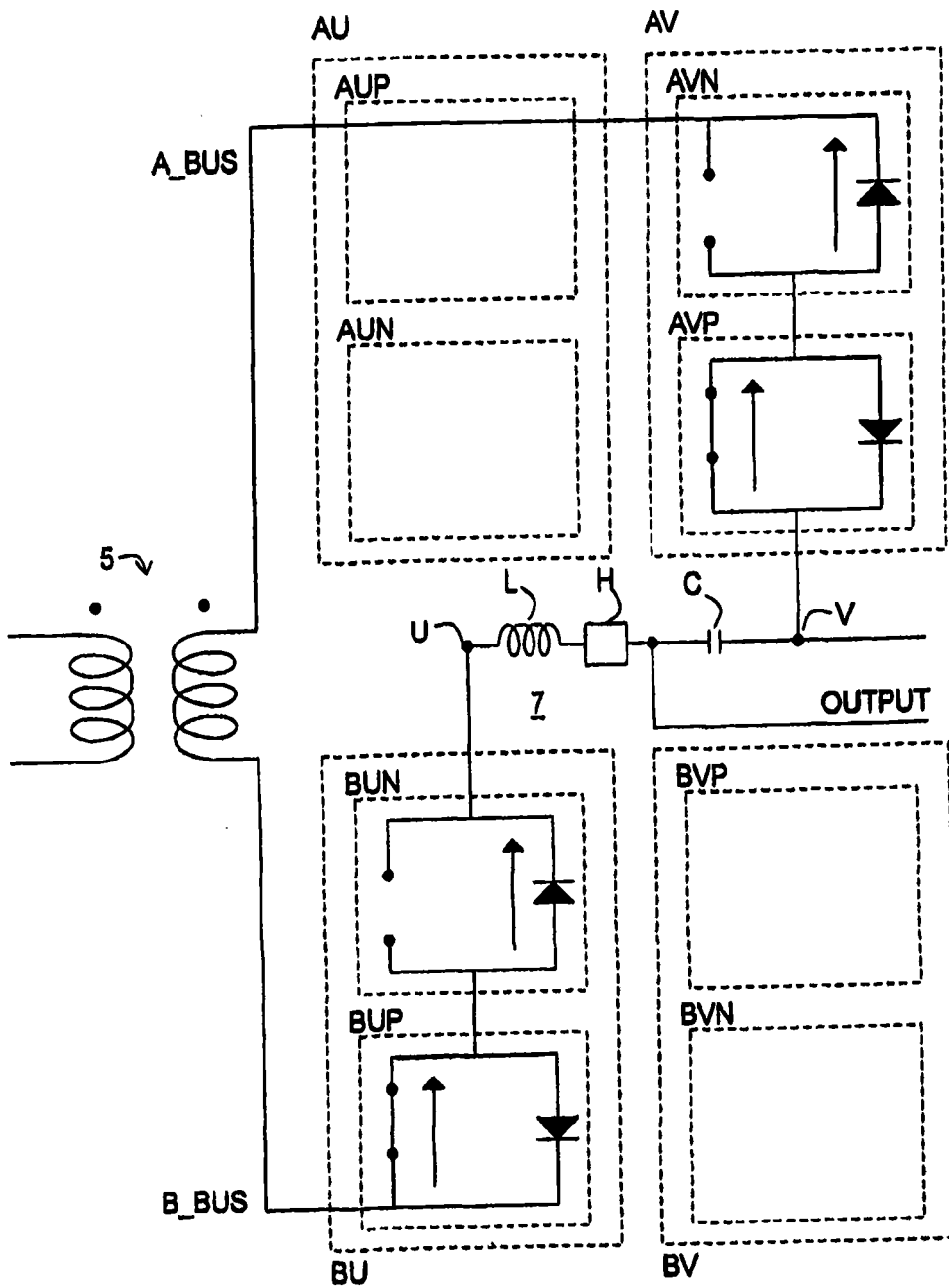


图 5

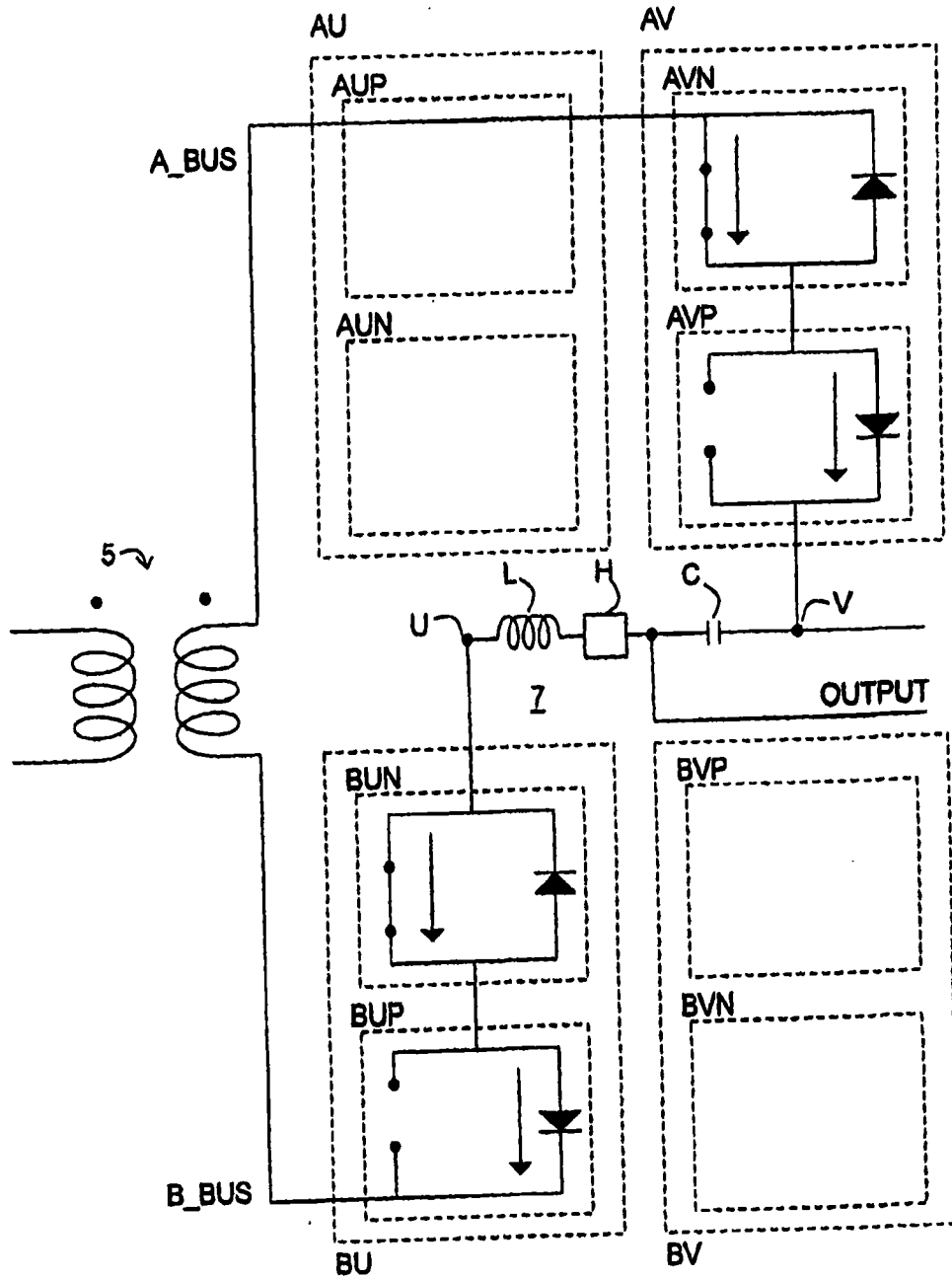


图 6

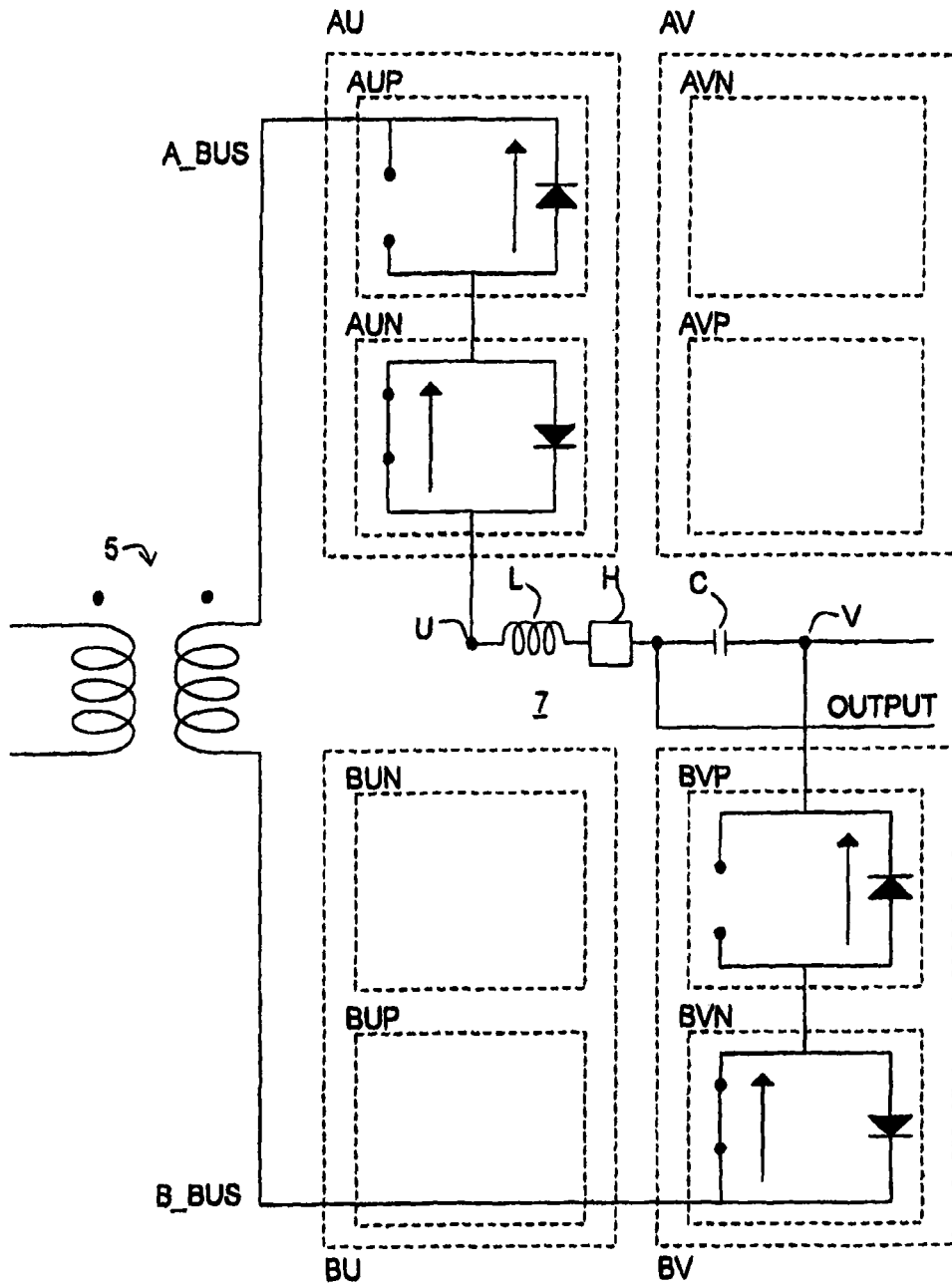


图 7

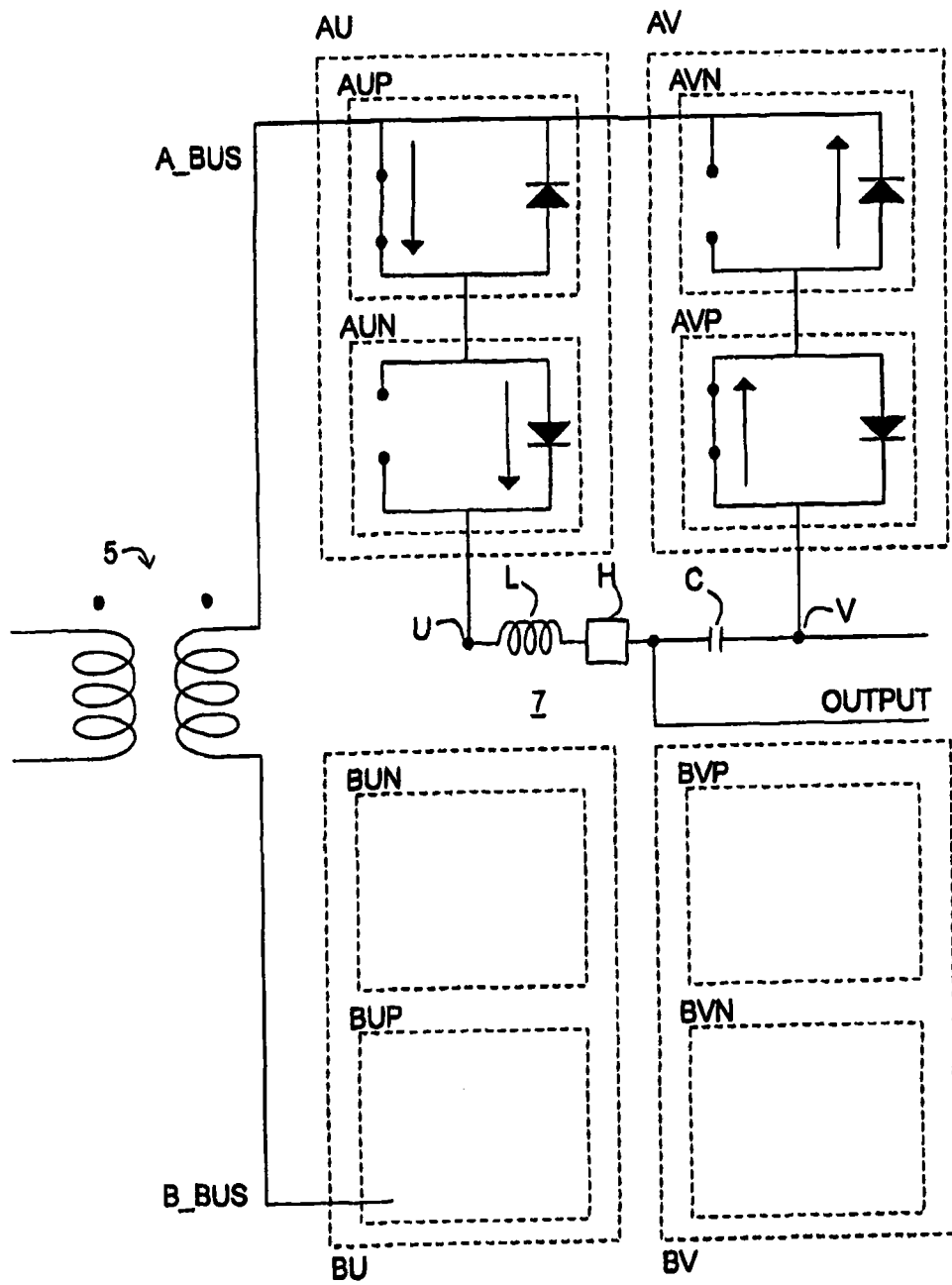


图 8

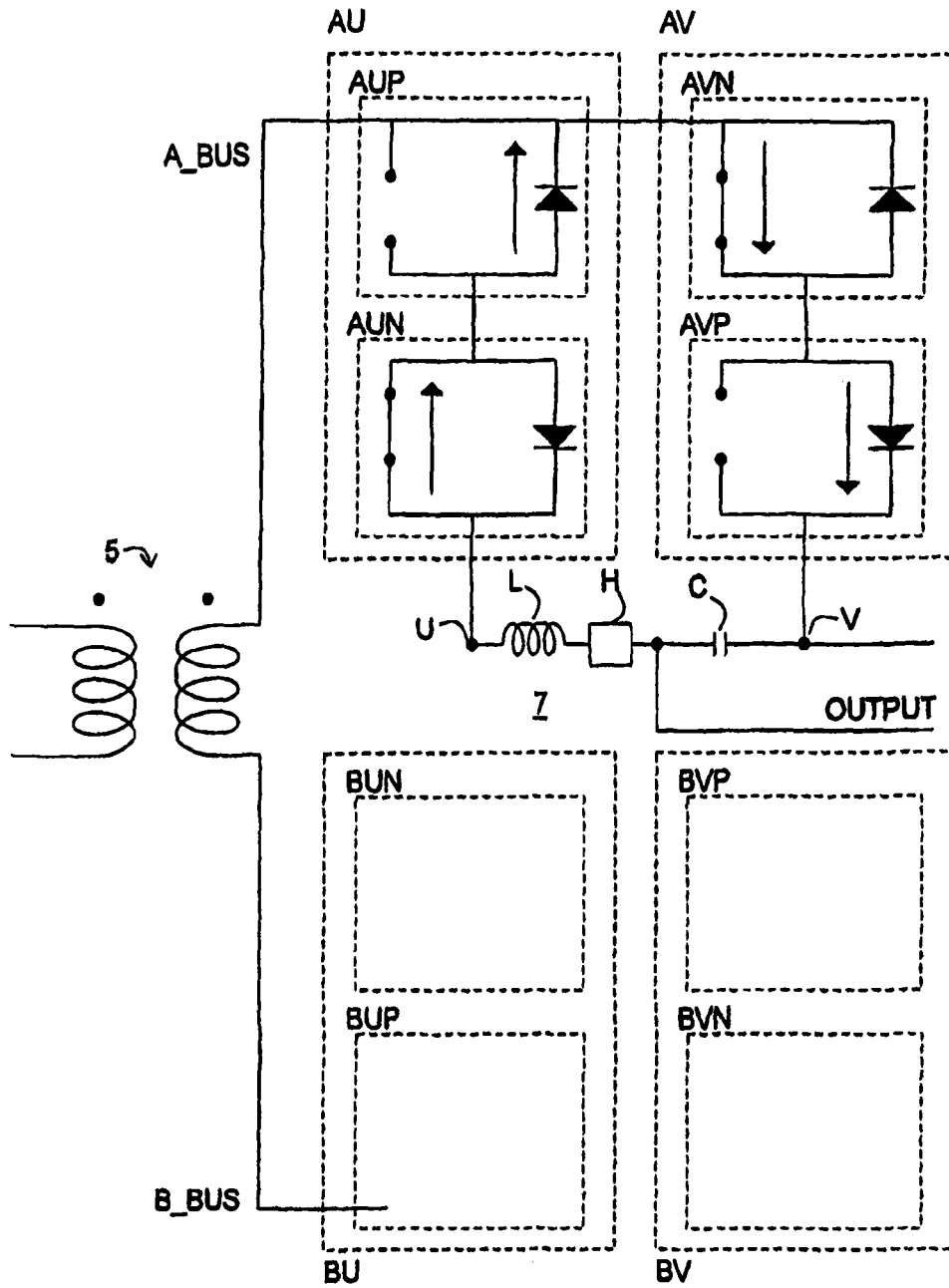


图 9

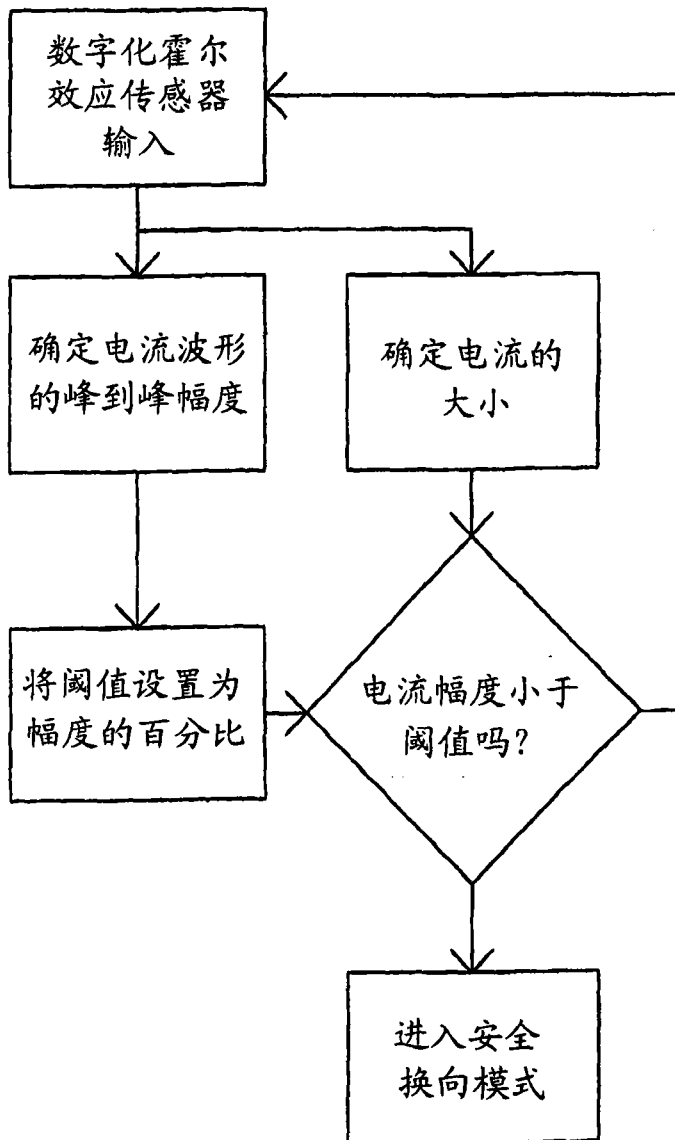


图 10

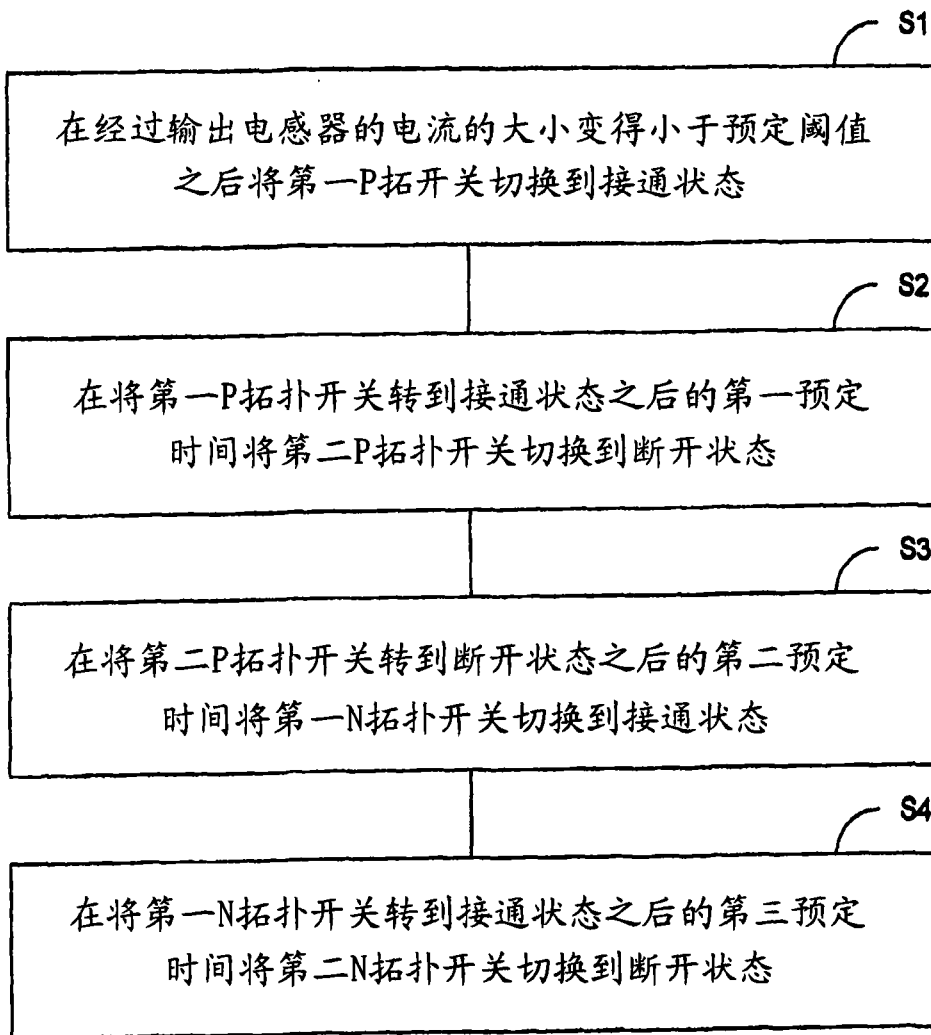


图 11

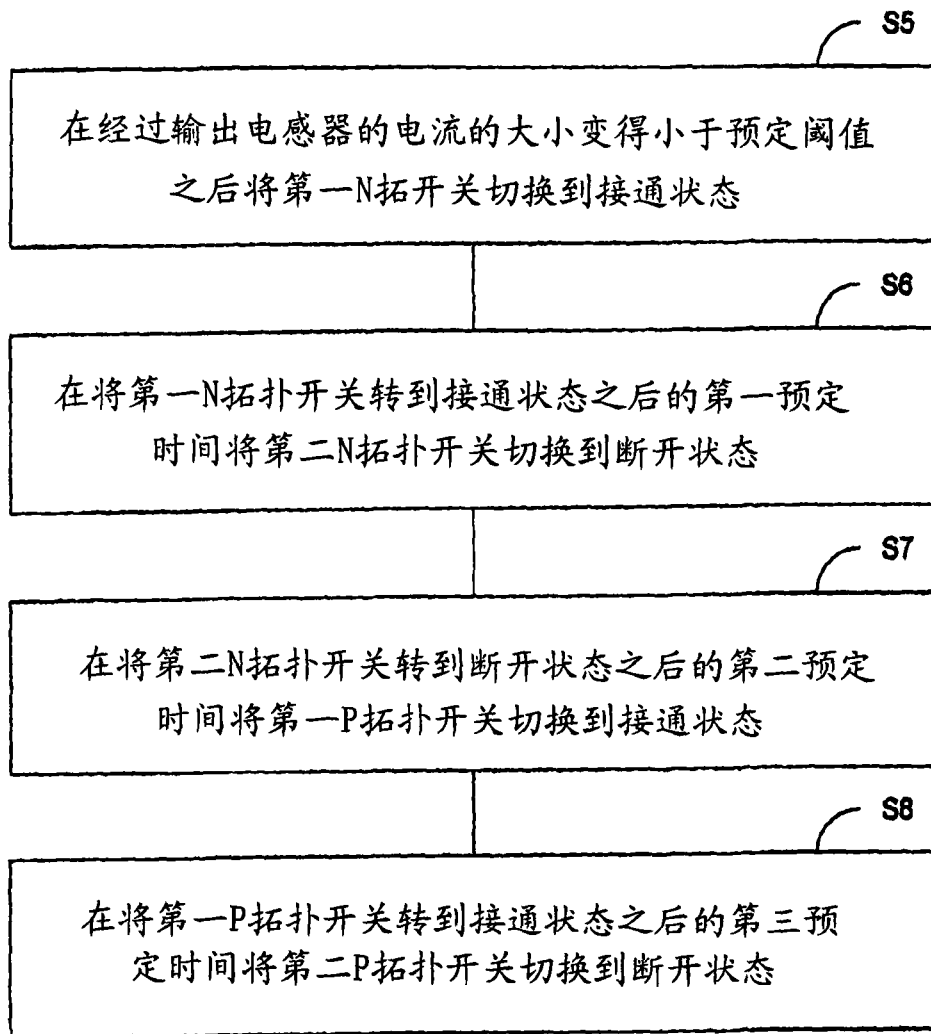


图 12