



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101867313 B

(45) 授权公告日 2012. 07. 25

(21) 申请号 201010211725. 7

(22) 申请日 2010. 06. 21

(73) 专利权人 清华大学

地址 100084 北京市海淀区清华园一号清华大学电机系西主楼 2 区 110

(72) 发明人 张春朋

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司 11245

代理人 徐宁 关畅

(51) Int. Cl.

H02M 7/48(2007. 01)

(56) 对比文件

CN 101577428 A, 2009. 11. 11, 全文.

US 2008/0175058 A1, 2008. 07. 24, 全文.

CN 101378227 A, 2009. 03. 04, 全文.

审查员 郭星

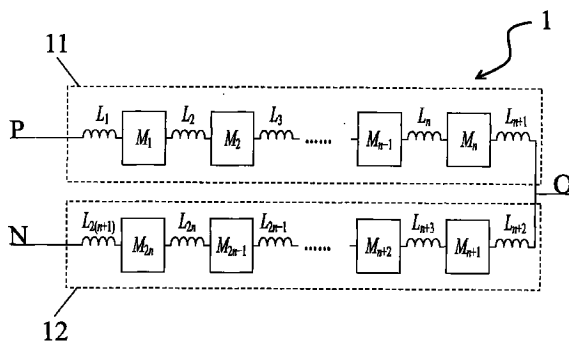
权利要求书 2 页 说明书 4 页 附图 7 页

(54) 发明名称

一种级联型换流器

(57) 摘要

本发明涉及一种级联型换流器,其特征在於:它包括至少两个换流器桥臂,每一所述换流器桥臂包括串接的的第一桥臂单元和第二桥臂单元;所述每一换流器桥臂中的第一、二桥臂单元的串联接点处连接一交流出线,所述第一、二桥臂单元剩下的另外两端分别连接一直流母线的正极和负极;所述第一桥臂单元包括 n 个串接的 B 形桥 ( $M_{j1}$ ),所述第二桥臂单元包括 n 个串接的 B 形桥 ( $M_{j2}$ ),  $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ , n 为级联数,  $n \geq 1$ 。本发明主要用于中高电压等级的电网和负荷。



1. 一种级联型换流器,其特征在于:它包括至少两个换流器桥臂,每一所述换流器桥臂包括串接的第一桥臂单元和第二桥臂单元;所述每一换流器桥臂中的第一、二桥臂单元的串联接点处连接一交流出线,所述第一、二桥臂单元剩下的另外两端分别连接一直流母线的正极和负极;所述第一桥臂单元包括  $n$  个串接的 B 形桥  $M_{j1}$ , 所述第二桥臂单元包括  $n$  个串接的 B 形桥  $M_{j2}$ ,  $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ ,  $n$  为级联数,  $n \geq 1$ ;

每一所述换流器桥臂中的各所述 B 形桥  $M_{j1}$ 、 $M_{j2}$  分别包括四电力电子器件  $S_1 \sim S_4$ 、两电容器  $C_1$ 、 $C_2$ , 以及一 X 端和一 Y 端;所述电力电子器件  $S_2$  的发射极和集电极分别连接所述电力电子器件  $S_3$  的集电极和所述电力电子器件  $S_1$  的发射极,所述电力电子器件  $S_3$  的发射极连接所述电力电子器件  $S_4$  的集电极,所述电力电子器件  $S_1$  的集电极和所述电力电子器件  $S_4$  的发射极之间串接所述两电容器  $C_1$ 、 $C_2$ ;所述两电容器  $C_1$ 、 $C_2$  之间的一点通过一导线接在所述电力电子器件  $S_2$  的发射极与所述电力电子器件  $S_3$  的集电极之间;所述 X 端连接所述电力电子器件  $S_1$  的发射极和所述电力电子器件  $S_2$  的集电极的接点,所述 Y 端连接所述电力电子器件  $S_3$  的发射极和所述电力电子器件  $S_4$  的集电极的接点。

2. 如权利要求 1 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述 B 形桥  $M_{j1}$ 、 $M_{j2}$  的 XY 端口输出  $0$ 、 $U_c$ 、 $2U_c$  三种有效电平之一。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述第一、二桥臂单元的两端、相邻两 B 形桥  $M_{j1}$  的接点和相邻两 B 形桥  $M_{j2}$  的接点中的一处连接一电抗器  $L_i$ ,  $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ ,  $i = 1 \dots 2n+2$ 。

4. 如权利要求 1 或 2 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述第一、二桥臂单元的两端、相邻两 B 形桥  $M_{j1}$  的接点和相邻两 B 形桥  $M_{j2}$  的接点中的多处连接一电抗器  $L_i$ ,  $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ ,  $i = 1 \dots 2n+2$ 。

5. 如权利要求 1 或 2 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述第一、二桥臂单元的两端、相邻两 B 形桥  $M_{j1}$  的接点和相邻两 B 形桥  $M_{j2}$  的接点中的每一处连接一电抗器  $L_i$ ,  $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ ,  $i = 1 \dots 2n+2$ 。

6. 如权利要求 3 所述的一种级联型换流器,其特征在于:当所述第一桥臂单元中第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端和所述第二桥臂单元中第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端分别连接有电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  时,所述交流出线连接在所述电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  的接点处;当第一个 B 形桥  $M_1$  的 X 端连接电抗器  $L_1$  时,所述直流母线的正极直接连接电抗器  $L_1$ ;当第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端连接电抗器  $L_{2(n+1)}$  时,所述直流母线的负极直接连接电抗器  $L_{2(n+1)}$ 。

7. 如权利要求 4 所述的一种级联型换流器,其特征在于:当所述第一桥臂单元中第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端和所述第二桥臂单元中第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端分别连接有电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  时,所述交流出线连接在所述电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  的接点处;当第一个 B 形桥  $M_1$  的 X 端连接电抗器  $L_1$  时,所述直流母线的正极直接连接电抗器  $L_1$ ;当第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端连接电抗器  $L_{2(n+1)}$  时,所述直流母线的负极直接连接电抗器  $L_{2(n+1)}$ 。

8. 如权利要求 5 所述的一种级联型换流器,其特征在于:当所述第一桥臂单元中第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端和所述第二桥臂单元中第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端分别连接有电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  时,所述交流出线连接在所述电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  的接点处;当第一个 B 形桥  $M_1$  的 X 端连接电抗器  $L_1$  时,所述直流母线的正极直接连接电抗器  $L_1$ ;当第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端连接电抗器  $L_{2(n+1)}$  时,所述直流母线的负极直接连接电抗器  $L_{2(n+1)}$ 。

9. 如权利要求 1 或 2 或 6 或 7 或 8 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述换流器桥臂输出电压的电平数为  $2n+1$  个;所述级联数  $n = 2$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 5 个电平;所述级联数  $n = 4$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 9 个电平。

10. 如权利要求 3 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述换流器桥臂输出电压的电平数为  $2n+1$  个;所述级联数  $n = 2$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 5 个电平;所述级联数  $n = 4$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 9 个电平。

11. 如权利要求 4 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述换流器桥臂输出电压的电平数为  $2n+1$  个;所述级联数  $n = 2$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 5 个电平;所述级联数  $n = 4$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 9 个电平。

12. 如权利要求 5 所述的一种级联型换流器,其特征在于:所述换流器桥臂输出电压的电平数为  $2n+1$  个;所述级联数  $n = 2$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 5 个电平;所述级联数  $n = 4$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 9 个电平。

## 一种级联型换流器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种适用于中高电压等级的电网和负荷的换流器,特别是关于一种级联型换流器。

### 背景技术

[0002] 随着新能源发电、电气化铁路等中高压电网和负荷的发展,对轻型直流输电系统、背靠背型的补偿设备的需求大大增加。中高压换流器是这些补偿设备的关键部件,其拓扑主要包括:器件串联型(如图1所示)和H桥级联型(也称为链式)(如图2所示)。其中,器件串联型换流器易于控制,且多相桥臂可以共用直流侧电容器,便于实现直流输电和背靠背运行,但是器件串联时的动态均压不容易实现,且这种换流器的有效电平数少,输出波形畸变率高,运行效率略低。H桥级联型换流器基于简单单元的级联,有效电平数较多,输出波形畸变率较低,运行效率较高,但是它不允许多相桥臂共用直流侧电容器,不适用于直流输电和背靠背运行。

### 发明内容

[0003] 为实现一种适用于直流输电和背靠背运行,且有效电平数多、输出波形畸变率低的级联型换流器。

[0004] 本发明采取以下技术方案:

[0005] 一种级联型换流器,其特征在于:它包括至少两个换流器桥臂,每一所述换流器桥臂包括串接的第一桥臂单元和第二桥臂单元;所述每一换流器桥臂中的第一、二桥臂单元的串联接点处连接一交流出线,所述第一、二桥臂单元剩下的另外两端分别连接一直流母线的正极和负极;所述第一桥臂单元包括 $n$ 个串接的B形桥( $M_{j1}$ ),所述第二桥臂单元包括 $n$ 个串接的B形桥( $M_{j2}$ ), $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ ,  $n$ 为级联数, $n \geq 1$ 。

[0006] 每一所述换流器桥臂中的各所述B形桥( $M_{j1}$ 、 $M_{j2}$ )分别包括四电力电子器件( $S_1 \sim S_4$ )、两电容器( $C_1$ 、 $C_2$ ),以及一所述X端和一所述Y端;所述电力电子器件( $S_2$ )的发射极和集电极分别连接所述电力电子器件( $S_3$ )的集电极和所述电力电子器件( $S_1$ )的发射极,所述电力电子器件( $S_3$ )的发射极连接所述电力电子器件( $S_4$ )的集电极,所述电力电子器件( $S_1$ )的集电极和所述电力电子器件( $S_4$ )的发射极之间串接所述两电容器( $C_1$ 、 $C_2$ );所述两电容器( $C_1$ 、 $C_2$ )之间的一点通过一导线接在所述电力电子器件( $S_2$ )的发射极与所述电力电子器件( $S_3$ )的集电极之间;所述X端连接所述电力电子器件( $S_1$ )的发射极和所述电力电子器件( $S_2$ )的集电极的接点,所述Y端连接所述电力电子器件( $S_3$ )的发射极和所述电力电子器件( $S_4$ )的集电极的接点。

[0007] 所述B形桥( $M_{j1}$ 、 $M_{j2}$ )的XY端口输出 $0$ 、 $U_c$ 、 $2U_c$ 三种有效电平之一。

[0008] 所述第一、二桥臂单元的两端、相邻两B形桥( $M_{j1}$ )的接点和相邻两B形桥( $M_{j2}$ )的接点中的一处连接一电抗器 $L_i$ , $j1 = 1 \dots n$ ,  $j2 = n+1 \dots 2n$ ,  $i = 1 \dots 2n+2$ 。

[0009] 所述第一、二桥臂单元的两端、相邻两B形桥( $M_{j1}$ )的接点和相邻两B形桥( $M_{j2}$ )的

接点中的多处连接一电抗器  $L_i$ ,  $j_1 = 1 \dots n$ ,  $j_2 = n+1 \dots 2n$ ,  $i = 1 \dots 2n+2$ 。

[0010] 所述第一、二桥臂单元的两端、相邻两 B 形桥 ( $M_{j_1}$ ) 的接点和相邻两 B 形桥 ( $M_{j_2}$ ) 的接点中的每一处连接一电抗器  $L_i$ ,  $j_1 = 1 \dots n$ ,  $j_2 = n+1 \dots 2n$ ,  $i = 1 \dots 2n+2$ 。

[0011] 当所述第一桥臂单元中第  $n$  个 B 形桥 ( $M_n$ ) 的 Y 端和所述第二桥臂单元中第  $n+1$  个 B 形桥 ( $M_{n+1}$ ) 的 X 端分别连接有所述电抗器 ( $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$ ) 时,所述交流出线连接在所述电抗器 ( $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$ ) 的接点处;当第一个 B 形桥 ( $M_1$ ) 的 X 端连接电抗器 ( $L_1$ ) 时,所述直流母线的正极直接连接电抗器 ( $L_1$ );当第  $2n$  个 B 形桥 ( $M_{2n}$ ) 的 Y 端连接电抗器 ( $L_{2(n+1)}$ ) 时,所述直流母线的负极直接连接电抗器 ( $L_{2(n+1)}$ )。

[0012] 所述换流器桥臂输出电压的电平数为  $2n+1$  个;所述级联数  $n = 2$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 5 个电平;所述级联数  $n = 4$  时,所述换流器桥臂输出的电压具有 9 个电平。

[0013] 本发明由于采取以上技术方案,其具有以下优点:1、由于本发明采用 B 形桥级联,多个桥臂共用直流侧电容器时不存在相间短路等问题,因此可以允许多个换流器共用直流侧电容器。2、由于本发明每一换流器桥臂包括  $2n+2$  个电抗器和  $2n$  个 B 形桥,电抗器值允许为零, $2n+2$  个电抗器与  $2n$  个 B 形桥依次交替级联,第  $n+1$  个电抗器和第  $n+2$  个电抗器的连接点接一交流出线,第一个电抗器的一端接直流母线的正极,另一端接第 1 个 B 桥的 X 端,第  $2n+2$  个电抗器的一端接直流母线负极,另一端接第  $2n$  个 B 桥的 Y 端,所述  $n$  为级联数,  $n \geq 1$ ,因此便于实现冗余设计,可靠性高,实际应用时,便于模块化设计、制造和安装。3、由于本发明中的每一换流器桥臂中的各 B 形桥分别采用了四电力电子器件和两电容器,因此每一换流器桥臂结构简单,易于实现。4、由于本发明中的换流器为级联形式,因此每个 B 形桥的开关频率较低,而整个换流器的等效开关频率较高,故运行效率较高。5、由于本发明中的各 B 形桥的 XY 端口可以输出  $0$ 、 $U_c$ 、 $2U_c$  三种有效电平,因此可以使换流器桥臂输出的有效电平数较多,交流输出波形畸变率低,输出电压的  $dV/dt$  小。本发明主要用于中高电压等级的电网和负荷。

## 附图说明

[0014] 图 1 是器件串联型换流器的拓扑结构示意图

[0015] 图 2 是 H 桥级联型换流器的拓扑结构示意图

[0016] 图 3 是本发明的实施例一的结构示意图

[0017] 图 4 是本发明的实施例二的结构示意图

[0018] 图 5 是本发明的实施例三的结构示意图

[0019] 图 6 是本发明中 B 形桥的原理图

[0020] 图 7 是本发明中 B 形桥第一种工作状态的等效电路图

[0021] 图 8 是本发明中 B 形桥第二种工作状态的等效电路图

[0022] 图 9 是本发明中 B 形桥第三种工作状态的等效电路图

[0023] 图 10 是本发明中 B 形桥第四种工作状态的等效电路图

[0024] 图 11 是本发明中 B 形桥的一具体实施例的结构示意图

[0025] 图 12 是本发明的级联数为 2 时,桥臂输出电压的波形图

[0026] 图 13 是本发明的级联数为 4 时,桥臂输出电压的波形图

[0027] 图 14 是本发明的基于 B 形桥级联的三相桥输出的三相电压波形图

### 具体实施方式

[0028] 下面结合附图和实施例对本发明进行详细的描述。

[0029] 如图 3 ~ 5 所示, 本发明包括至少两个换流器桥臂 1, 其中, 每一换流器桥臂 1 包括两桥臂单元 11、12, 桥臂单元 11 包括  $n$  个串接的 B 形桥  $M_{j1}$  ( $j1 = 1 \dots n$ ), 桥臂单元 12 包括  $n$  个串接的 B 形桥  $M_{j2}$  ( $j2 = n+1 \dots 2n$ )。上述  $n$  为级联数,  $n \geq 1$ , 其根据具体实际情况进行选定。两个换流器桥臂 1 组成一个单相桥换流器 2, 三个换流器桥臂 1 组成三相桥换流器 3。本发明的换流器拓扑主要用于研制中高压等级的电压源型换流器, 包括脉冲电源、变频器、静止无功发生器、有源电力滤波器、直流输电、统一潮流控制器等, 但不限于上述换流器。

[0030] 如图 6 所示, 本发明的桥臂单元 11、12 中的每一 B 形桥  $M_{j1}$ 、 $M_{j2}$  分别包括电力电子器件  $S_1 \sim S_4$ 、电容器  $C_1$  和  $C_2$ , 以及一 X 端和一 Y 端。电力电子器件  $S_1 \sim S_4$  与电容器  $C_1$  和  $C_2$  构成一串连回路, 其具体连接为: 电力电子器件  $S_2$  的发射极和集电极分别连接电力电子器件  $S_3$  的集电极和电力电子器件  $S_1$  的发射极, 电力电子器件  $S_3$  的发射极连接电力电子器件  $S_4$  的集电极, 电力电子器件  $S_1$  的集电极和电力电子器件  $S_4$  的发射极之间串接电容器  $C_1$  和  $C_2$ 。电容器  $C_1$  与  $C_2$  之间的一点通过一导线 4 连接在电力电子器件  $S_2$  的发射极与电力电子器件  $S_3$  的集电极之间。X 端连接在电力电子器件  $S_1$  的发射极与电力电子器件  $S_2$  的集电极的接点, Y 端连接在电力电子器件  $S_3$  的发射极与电力电子器件  $S_4$  的集电极的接点。X 端和 Y 端均是输出端, 若记电容器  $C_1$  和  $C_2$  的电压均为  $U_c$ , 则 B 形桥  $M_{j1}$ 、 $M_{j2}$  的 XY 端口可以输出  $0$ 、 $U_c$ 、 $2U_c$  三种有效电平, 其工作原理如表 1 所示。

[0031] 表 1

[0032]

	第一种工作状态	第二种工作状态	第三种工作状态	第四种工作状态
电力电子器件状态	$S_1$ : 截止 $S_2$ : 导通 $S_3$ : 导通 $S_4$ : 截止	$S_1$ : 导通 $S_2$ : 截止 $S_3$ : 导通 $S_4$ : 截止	$S_1$ : 截止 $S_2$ : 导通 $S_3$ : 截止 $S_4$ : 导通	$S_1$ : 导通 $S_2$ : 截止 $S_3$ : 截止 $S_4$ : 导通
XY 端口输出电压	0	$U_c$	$U_c$	$2U_c$

[0033] 如图 7 ~ 10 所示, 通过合理控制电力电子器件  $S_1 \sim S_4$  的开关规律, 或者在电容器  $C_1$  和  $C_2$  两端并联均压电路, 可以保持电容器  $C_1$  和  $C_2$  的电压均衡。

[0034] 如图 3 ~ 5 所示, 桥臂单元 11 中二相邻的 B 形桥  $M_{j1}$  的 X、Y 端相连接, 且第一个 B 形桥  $M_1$  的 X 端连接一直流母线的正极 P, 第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端连接一交流出线 0。桥臂单元 12 中二相邻的 B 形桥  $M_{j2}$  的 X、Y 端相连接, 且第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端也连接交流

出线 0, 第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端连接直流母线的负极 N。

[0035] 上述实施例中, 第 1 个 B 形桥  $M_1$  的 X 端、第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端、第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端、第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端、二 B 形桥  $M_{j_1}$  接点和二 B 形桥  $M_{j_2}$  接点中的一处连接有 - 电抗器  $L_i$  ( $i = 1 \dots 2n+2$ )。

[0036] 上述各实施例中, 第 1 个 B 形桥  $M_1$  的 X 端、第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端、第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端、第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端、二 B 形桥  $M_{j_1}$  接点和二 B 形桥  $M_{j_2}$  接点中的多处分别连接一电抗器  $L_i$ 。

[0037] 上述各实施例中, 第一个 B 形桥  $M_1$  的 X 端、第  $n+1$  个 B 形桥  $M_{n+1}$  的 X 端、第  $n$  个 B 形桥  $M_n$  的 Y 端、第  $2n$  个 B 形桥  $M_{2n}$  的 Y 端、二 B 形桥  $M_{j_1}$  ( $j_1 = 1 \dots n$ ) 接点和二 B 形桥  $M_{j_2}$  接点中的每一处分别连接一电抗器  $L_j$ 。

[0038] 上述各实施例中, 当桥臂单元 11 中  $M_n$  的 Y 端和桥臂单元 12 中  $M_{n+1}$  的 X 端分别连接有电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  时, 交流出线 0 连接在二电抗器  $L_{n+1}$ 、 $L_{n+2}$  的接点处。当  $M_1$  的 X 端连接电抗器  $L_1$  时, 直流母线的正极 P 直接连接电抗器  $L_1$ 。当  $M_{2n}$  的 Y 端连接电抗器  $L_{2(n+1)}$  时, 直流母线的负极 N 直接连接电抗器  $L_{2(n+1)}$ 。

[0039] 采用不同的电力电子器件时, B 形桥  $M_{j_1}$ 、 $M_{j_2}$  的实际机械结构有所不同, 但均是器件级联的形式。以压装型电力电子器件为例, B 形桥  $M_{j_1}$ 、 $M_{j_2}$  的实际结构如图 11 所示, 图 11 中的 D 是冷却基板。

[0040] 本发明的换流器桥臂输出电压的电平数为  $2n+1$  个, 例如: 当级联数  $n = 2$  时, 换流器桥臂 1 输出的电压具有 5 个电平 (如图 12 所示); 当级联数  $n = 4$  时, 换流器桥臂 1 输出的电压具有 9 个电平 (如图 13 所示); 当级联数继续增加时, 电平数也随之增加, 换流器桥臂 1 输出电压的波形就更加逼近正弦。级联数  $n = 4$  时, 三相桥换流器 3 输出的电压波形 (如图 14 所示)。随着级联数的增加, 三相桥换流器 3 输出电压增大, 可以用于中高压的场合。

[0041] 上述各实施例中, 各部件的结构、设置位置、及其连接都是可以有所变化的, 在本发明技术方案的基础上, 对个别部件进行的改进和等同变换, 不应排除在本发明的保护范围之外。

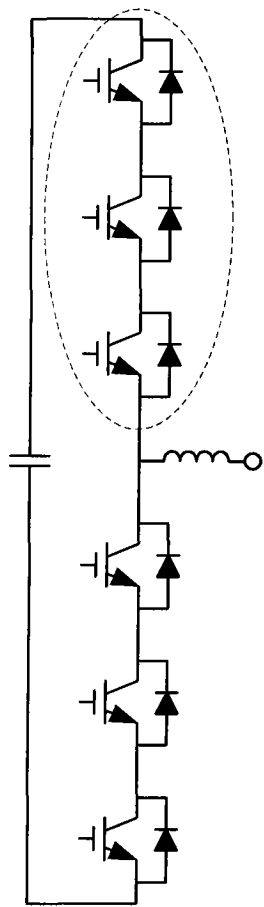


图 1

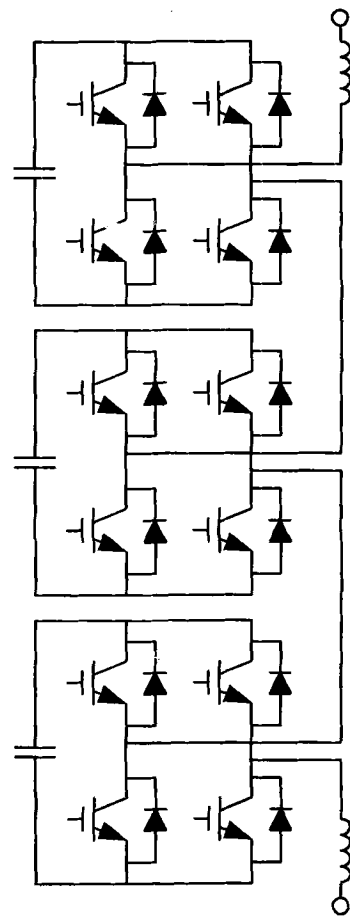


图 2



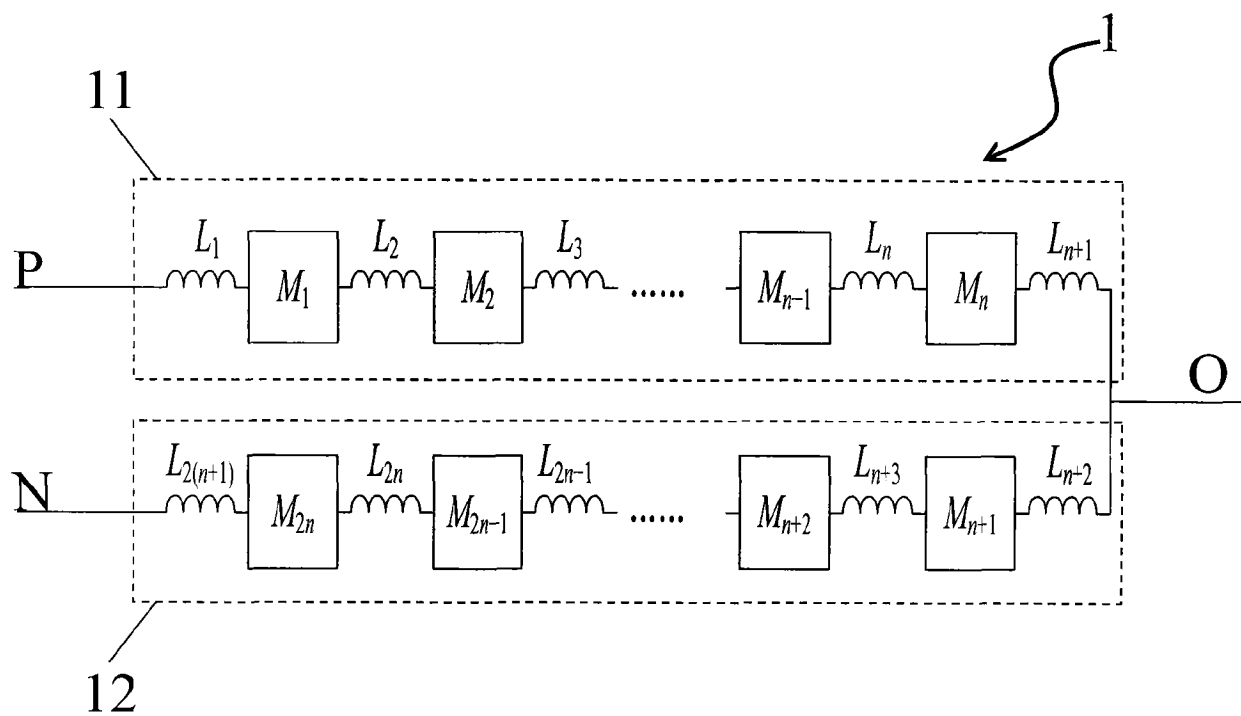


图 3

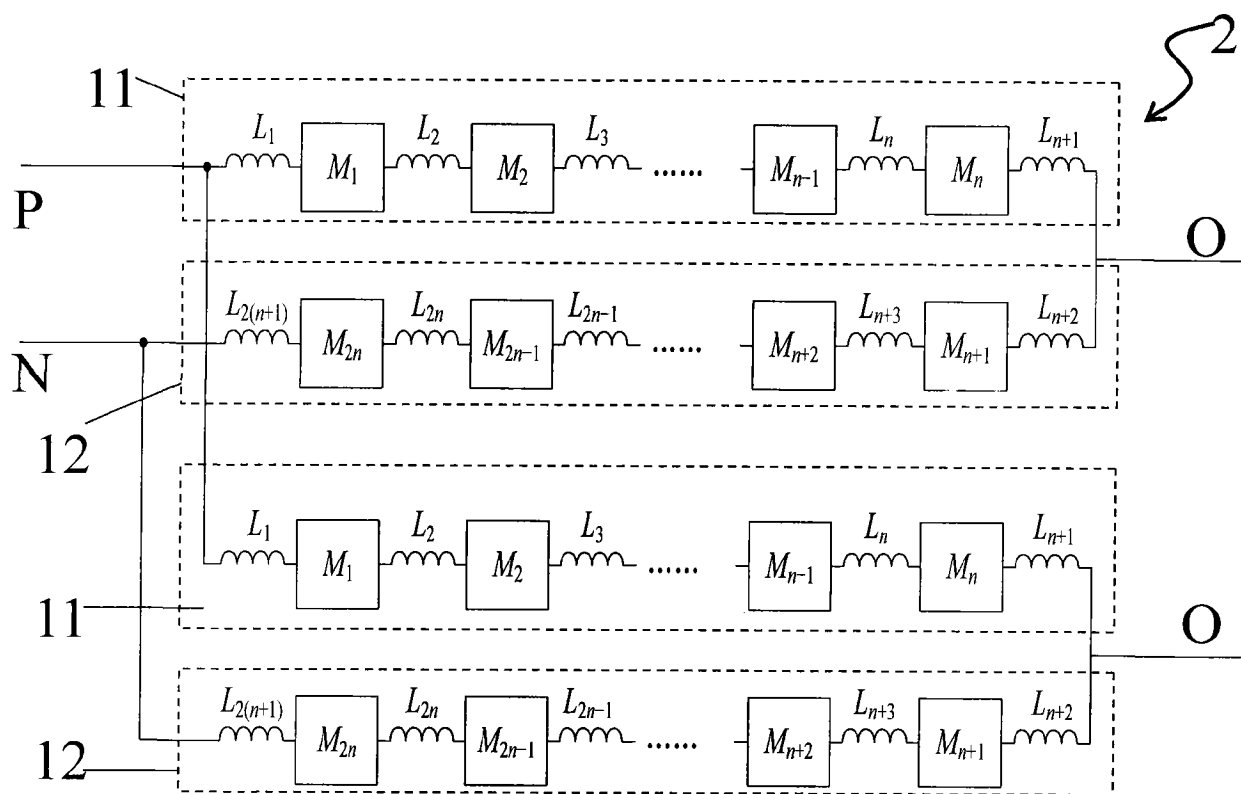


图 4

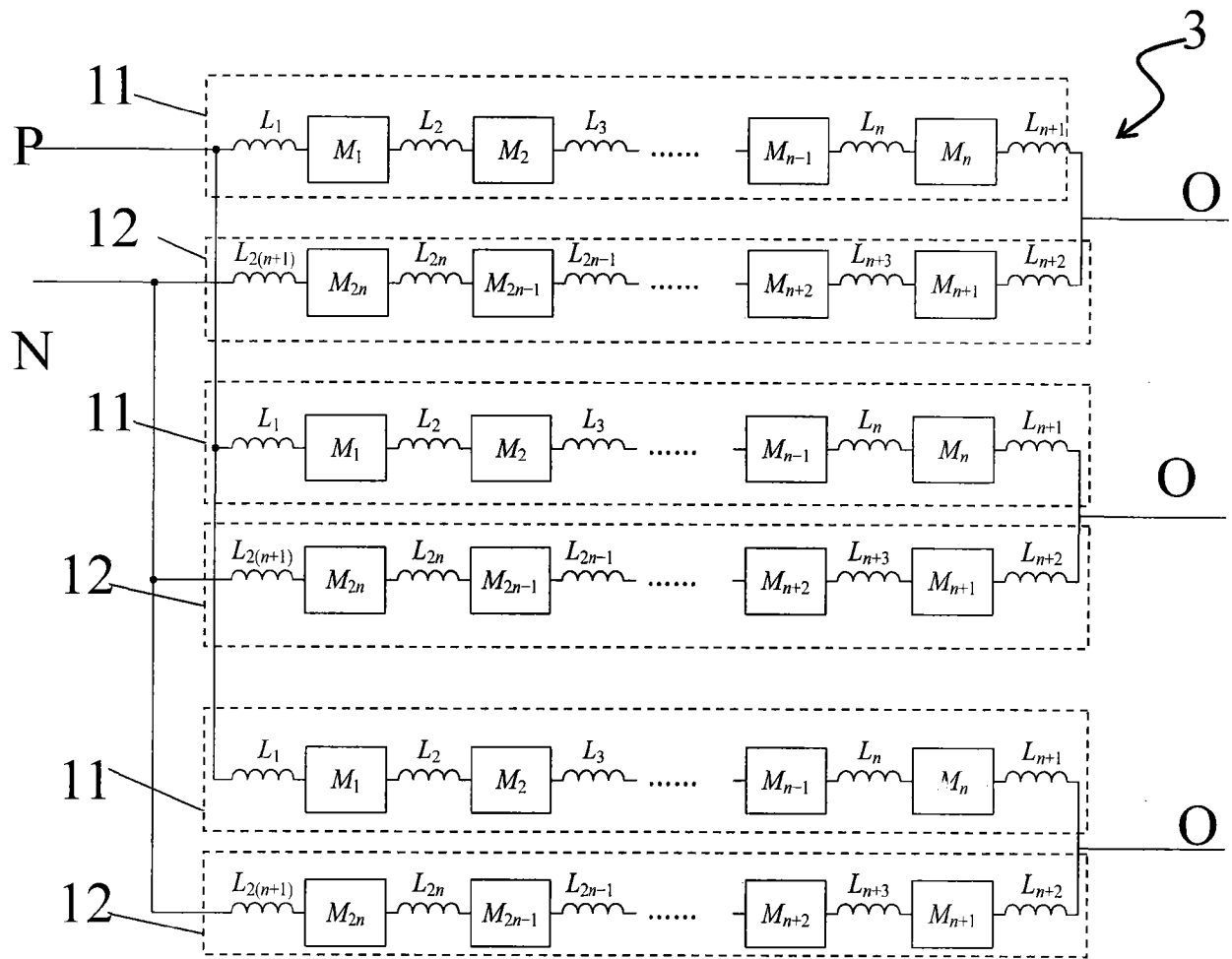


图 5

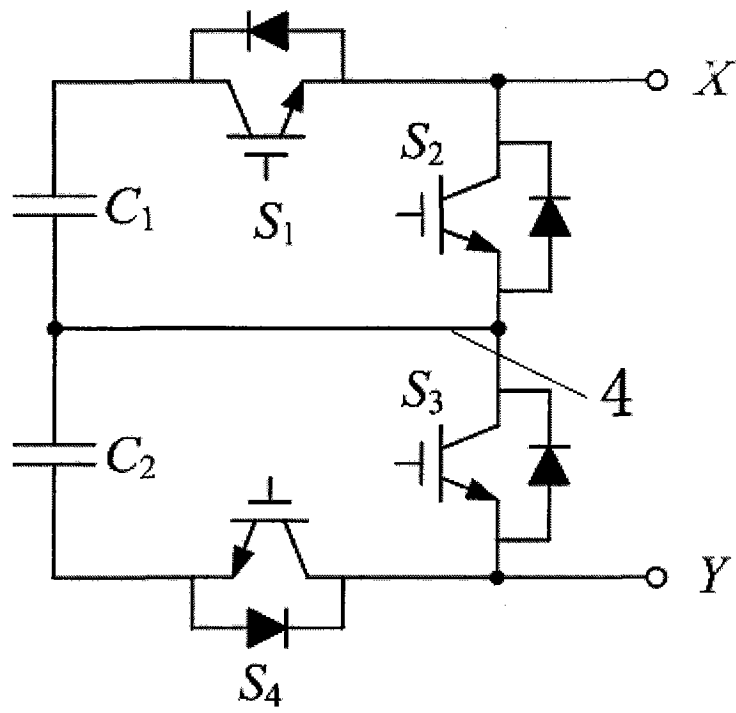


图 6

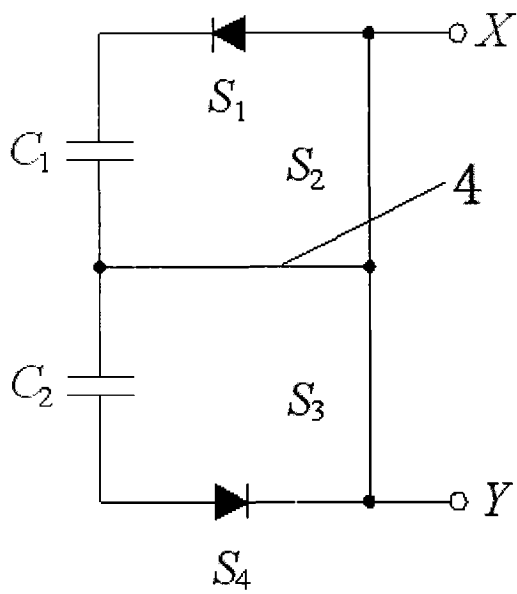


图 7

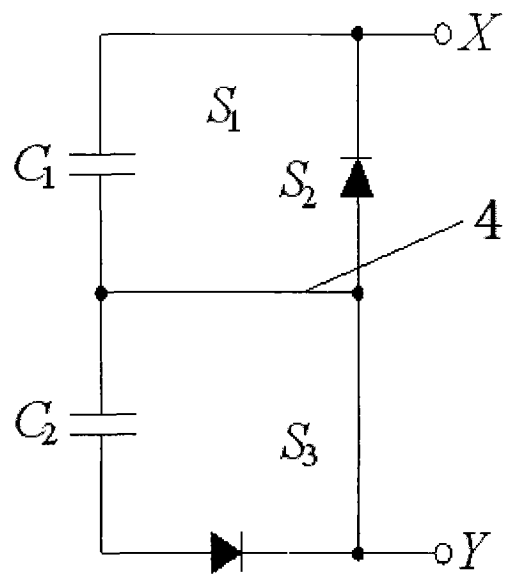


图 8

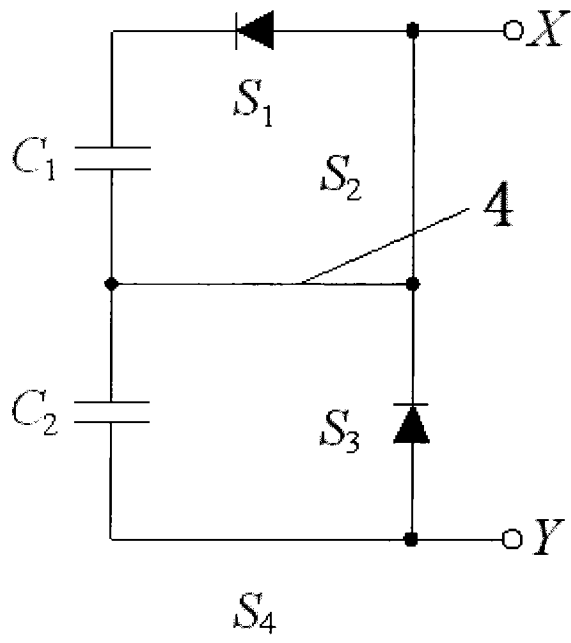


图 9

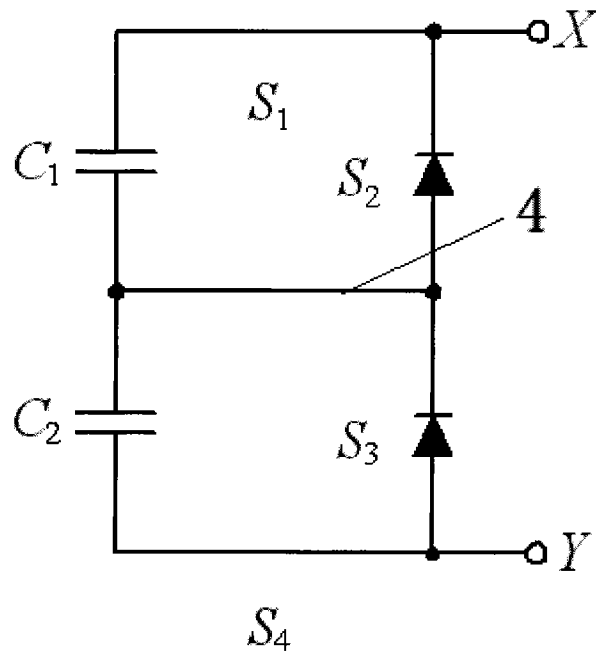


图 10

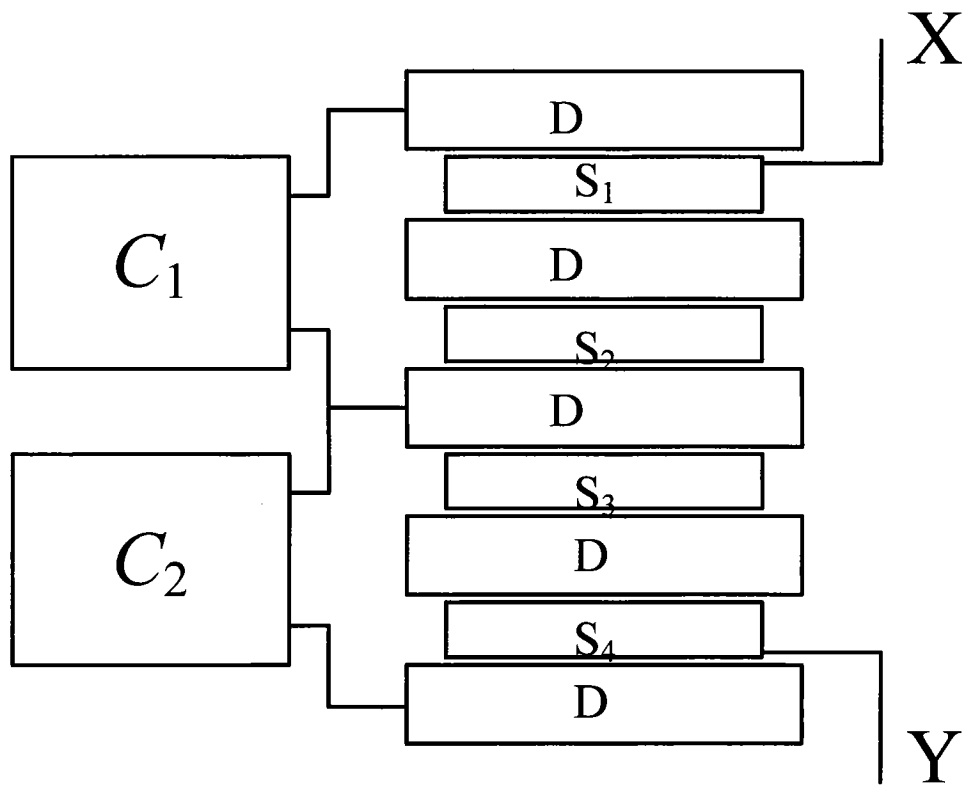


图 11

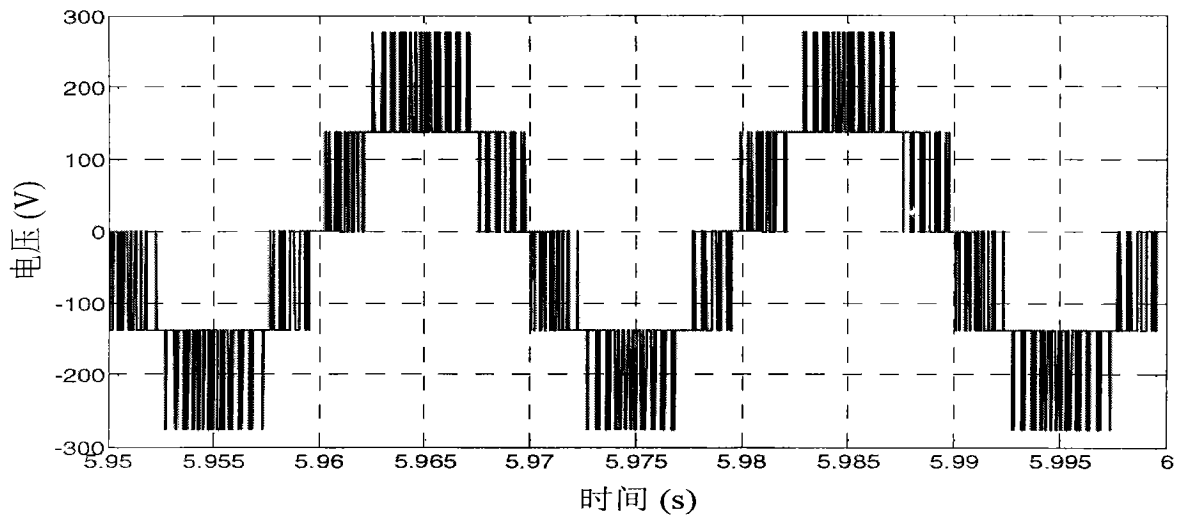


图 12

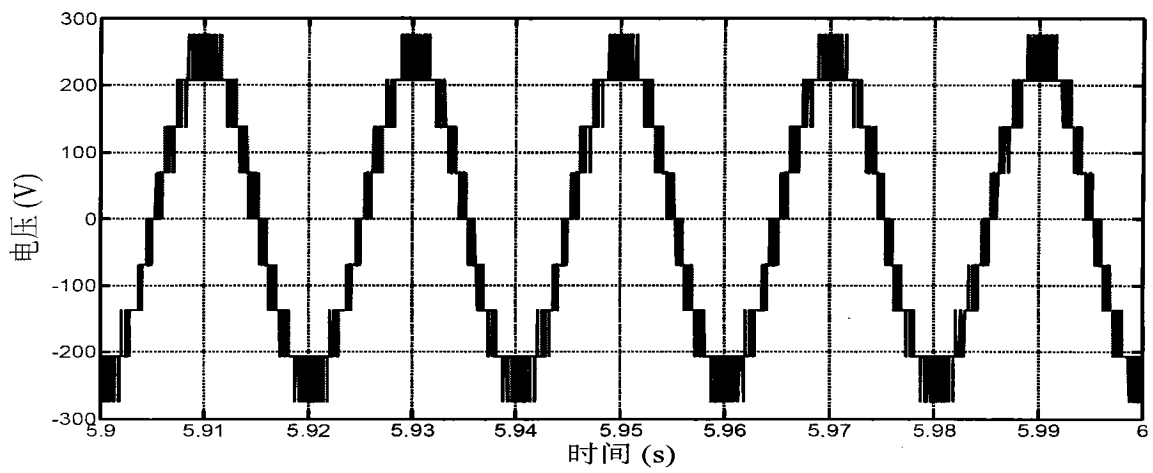


图 13

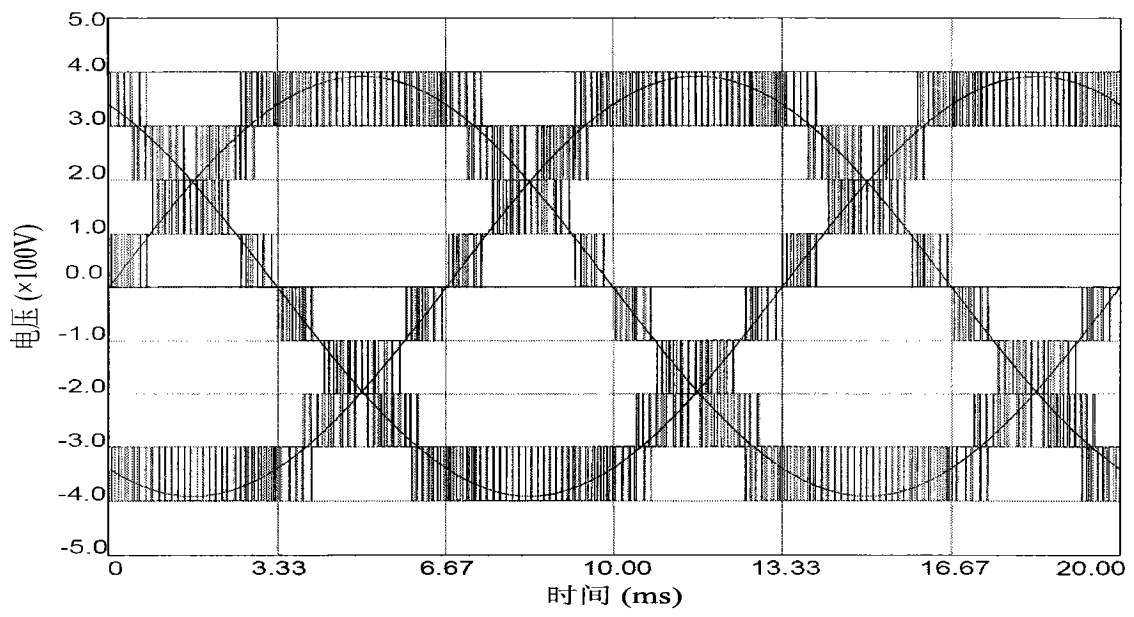


图 14