



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104201907 A

(43) 申请公布日 2014. 12. 10

(21) 申请号 201410459364. 6

(22) 申请日 2014. 09. 10

(71) 申请人 山东科技大学

地址 266590 山东省青岛市青岛经济技术开发区前湾港路 579 号

申请人 青岛天信电气有限公司

(72) 发明人 王毅 曹茂永 邓克飞 陈志巧 金剑

(74) 专利代理机构 北京双收知识产权代理有限公司 11241

代理人 左明坤

(51) Int. Cl.

H02M 5/458 (2006. 01)

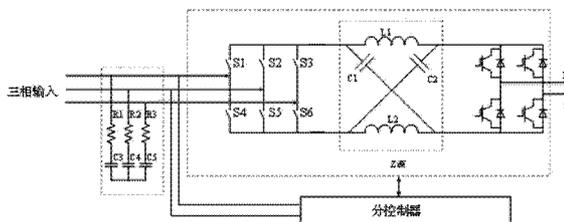
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

高压矩阵变频器

(57) 摘要

本发明提供的高压矩阵变频器,其中移相隔离变压器具有 3n 个三相次级绕组,每 3 个次级绕组为一组且具有相同的相位,相邻之间相位差为 60/n 度。矩阵变换单元阵列由 3n 个矩阵变换功率单元排成 3 列 × n 行的阵列。移相隔离变压器次级绕组各组分别与阵列的行对应,每组中的 3 个次级绕组分别与每行中的 3 个矩阵变换功率单元一一对应相连。矩阵变换功率单元采用 Z 源-矩阵变换功率单元,在前级整流器与后级逆变器之间连接有 X 型 Z 源网络。本发明高压矩阵变频器的优点在于:提高了电压传输比和逆变的可靠性,工作安全、稳定,成本低,体积小,寿命长,其输入可双向控制,能量可双向流动,易于实现能量反馈,可以实现电机的四象限运行。



1. 一种高压矩阵变频器,包括移相隔离变压器、矩阵变换单元阵列和总控制器,其特征在于:所述移相隔离变压器具有  $3n$  个三相次级绕组,  $n$  为自然数,每 3 个次级绕组为一组且具有相同的相位,次级绕组各组相位依次递增,初始相位为  $0^\circ$ ,相邻之间相位差为  $60/n$  度;三相高压交流电通过所述移相隔离变压器以 3 的整倍数组输出,为所述矩阵变换单元阵列供电;

所述矩阵变换单元阵列包括  $3n$  个矩阵变换功率单元,排成 3 列  $\times n$  行,所述移相隔离变压器次级绕组各组分别与阵列的行对应,每组中的 3 个次级绕组分别与每行中的 3 个所述矩阵变换功率单元一一对应相连,所述矩阵变换单元阵列中,每一列所述矩阵变换功率单元的功率输出端依次串联,所述矩阵变换功率单元的三列输出采用 Y 接法形成三相交流电压输出;

所述矩阵变换功率单元为 Z 源 - 矩阵变换功率单元,其中前级整流器为 3H 桥结构,包括 3 个桥臂,输入三相交流电压,输出两路直流电压,后级逆变器为 2H 桥结构,包括 2 个桥臂,输入两路直流电压,输出单相交流电压,前级整流器与后级逆变器之间连接有 Z 源网络;所述 Z 源网络为由第一电感  $L_1$ 、第二电感  $L_2$ 、第一电容  $C_1$  和第二电容  $C_2$  组成的 X 型 Z 源网络,所述第一电容  $C_1$  的一端与所述第一电感  $L_1$  的一端相连后作为 Z 源网络的第一输入端,所述第一电感  $L_1$  的另一端与所述第二电容  $C_2$  的一端相连后作为 Z 源网络的第一输出端,所述第二电容  $C_2$  的另一端与所述第二电感  $L_2$  的一端相连后作为 Z 源网络的第二输入端,所述第二电感  $L_2$  的另一端与所述第一电容  $C_1$  的另一端相连后作为 Z 源网络的第二输出端,所述 Z 源网络的第一输入端和第二输入端与整流级电路的输出端连接,Z 源网络的第一输出端和第二输出端与逆变级电路的输入端连接;

所述各矩阵变换功率单元分别与一分控制器相连,所述总控制器通过信号光纤与每个所述矩阵变换单元和各个分控制器分别连接。

2. 根据权利要求 1 所述的高压矩阵变频器,其特征在于:其中所述 Z 源网络替换为由第一电感  $L_1$ 、第二电感  $L_2$ 、第一电容  $C_1$ 、第二电容  $C_2$  和二极管组成的 Z 源网络,所述第一电容  $C_1$  的一端与所述第一电感  $L_1$  的一端相连后作为 Z 源网络的输入端,所述第一电感  $L_1$  的另一端经二极管的正端与所述第二电感  $L_2$  的一端相连后作为 Z 源网络的输出端,所述第一电容  $C_1$  的另一端与所述二极管的负端相连,所述第二电容  $C_2$  的另一端与所述二极管的正端相连,所述 Z 源网络的输入端与整流级电路的正输出端连接,所述 Z 源网络的输出端与逆变级电路的正输入端连接。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的高压矩阵变频器,其特征在于:其中所述矩阵变换功率单元还包括输入滤波器,所述输入滤波器由三只滤波电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  和三只滤波电容  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  构成,三只所述滤波电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  一端分别与矩阵变换功率单元的输入端相连,三只所述滤波电阻  $R_1$ 、 $R_2$ 、 $R_3$  的另一端分别与三只所述滤波电容  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  的一端对应串联,三只所述滤波电容  $C_3$ 、 $C_4$ 、 $C_5$  的另一端相互连接。

4. 根据权利要求 3 所述的高压矩阵变频器,其特征在于:其中所述分控制器的电源线与三相电路的输入端中的任意两相或三相相连,所述分控制器的信号线与前级整流器和后级逆变器相连。

## 高压矩阵变频器

### 技术领域

[0001] 本发明涉及高压电力变换器,特别涉及一种高压矩阵变频器。

### 背景技术

[0002] 高压大功率电机广泛用于石油化工、水泥制造、采矿、冶金、运输、电力、造纸和轧钢等领域。变频器是提升电机系统能效的重要设备,但目前工业领域针对高压大功率电机的节能或高性能变频调速仍处在起步阶段,这主要与高压变频器的发展水平密切相关。

[0003] 最早高压变频调速采用降压和升压变压器实现高-低-高的变换方式,其本质仍是低压变频器。后来出现了高一高直接式高压变频器,根据有无中间直流环节,可以分为交-直-交和交-交两类变频器。现阶段,应用比较成熟的高压变频器是交-直-交型多电平变频器。对于交-直-交变频器,根据直流环节滤波元件的不同,可以划分为电流源型变频器和电压源型变频器,其中以直流环节采用大电容滤波的电压源型应用最为普遍。高压电压型变频器主要采用多电平变换技术,其主流拓扑结构为钳位型和级联型、模块化三大类。多电平变换技术可避免功率开关器件的直接串联,具有谐波含量低、电压变化率小、功率开关器件应力小、开关损耗小等优点。但也存在一些问题需要解决:网侧谐波污染;不能方便的实现四象限运行;较低的输入功率因数,传输效率降低,设备容量增大,电压稳定性变差。

[0004] 近年来,AC-AC 矩阵式变换器以 AC-DC-AC 无法比拟的一系列优点越来越受到国内外学者的广泛关注,如:无中间直流环节、结构紧凑、便于模块化设计,可实现四象限运行,控制自由度大、输出电压的幅值和频率范围连续可调,输入功率因数可控,动态响应快等。矩阵式变换器是一种基于双向开关并采用脉宽调制得到期望输出电压的电力变换装置。按拓扑结构可分为直接矩阵变换器和间接矩阵变换器。公开号为 CN102545644 的专利提出一种矩阵交-交高压变频器拓扑结构,如图 1 所示,采用如图 2 所示的 H 桥功率单元取代直接变换器的双向开关,形成多电平矩阵变频器。这类高压矩阵变频器具有成本低,体积小,寿命长,可实现四象限工作等优点,但因为功率模块本身特性的限制,使得变频器出现结构复杂,电压传输比低,换流复杂,可靠性低等缺点。

[0005] 针对上述问题,公开号为 CN101013856 的专利提出级联多重化矩阵变换器拓扑结构,如图 3 所示,其功率单元采用如图 4 所示的双极矩阵变换器的整流级。公开号为 CN103178720 的专利提出高压矩阵变频器拓扑结构,如图 5 所示,设计了两种功率模块类型,其中一种为如图 6 所示的为三相-单相双极矩阵变换器模块。上述公开号 CN101013856 和公开号 CN103178720 两种高压矩阵变频器中均涉及了双极矩阵变换器。双极矩阵变换器属于间接矩阵变换器的一类拓扑结构。常见的三相-三相双极矩阵变换器,如图 7 所示,它包括基于双向开关的整流级电路和普通逆变级电路,不包括大电容或大电感等中间直流储能元件。整流级电路由 6 个双向开关组成,而逆变级电路与传统的三相全桥逆变器结构相同。这种双极矩阵变换器不仅在功能上可与传统的矩阵式变换器相媲美,可以克服传统矩阵式变换器的控制复杂,换流困难等缺点,是一种很有发展潜力的新型交-交变换器。但

是,双极矩阵式变换器的电压传输比较低、存在换流死区及可靠性差等不足,一直是限制矩阵式变换器发展的一个重要原因。

### 发明内容

[0006] 本发明的目的是克服上述缺陷,提供多种高压矩阵变频器,以提高电压传输比和逆变的可靠性,工作安全、稳定,成本低,体积小,寿命长,其输入可双向控制,能量可双向流动,易于实现能量反馈,实现电机的四象限运行。

[0007] 为达到上述目的,本发明提供了一种高压矩阵变频器,包括移相隔离变压器、矩阵变换单元阵列和总控制器,所述移相隔离变压器具有  $3n$  个三相次级绕组,  $n$  为自然数,每 3 个次级绕组为一组且具有相同的相位,次级绕组各组相位依次递增,初始相位为  $0^\circ$ ,相邻之间相位差为  $60/n$  度;三相高压交流电通过所述移相隔离变压器以 3 的整倍数组输出,为所述矩阵变换单元阵列供电;

[0008] 所述矩阵变换单元阵列包括  $3n$  个矩阵变换功率单元,排成 3 列  $\times n$  行,所述移相隔离变压器次级绕组各组分别与阵列的行对应,每组中的 3 个次级绕组分别与每行中的 3 个所述矩阵变换功率单元一一对应相连,所述矩阵变换单元阵列中,每一列所述矩阵变换功率单元的功率输出端依次串联,所述矩阵变换功率单元的三列输出采用 Y 接法形成三相交流电压输出;

[0009] 所述矩阵变换功率单元为 Z 源 - 矩阵变换功率单元,其中前级整流器为 3H 桥结构,包括 3 个桥臂,输入三相交流电压,输出两路直流电压,后级逆变器为 2H 桥结构,包括 2 个桥臂,输入两路直流电压,输出单相交流电压,前级整流器与后级逆变器之间连接有 Z 源网络;所述 Z 源网络为由第一电感、第二电感、第一电容和第二电容组成的 X 型 Z 源网络,所述第一电容的一端与所述第一电感的一端相连后作为 Z 源网络的第一输入端,所述第一电感的另一端与所述第二电容的一端相连后作为 Z 源网络的第一输出端,所述第二电容的另一端与所述第二电感的一端相连后作为 Z 源网络的第二输入端,所述第二电感的另一端与所述第一电容的另一端相连后作为 Z 源网络的第二输出端,所述 Z 源网络的第一输入端和第二输入端与整流级电路的输出端连接,Z 源网络的第一输出端和第二输出端与逆变级电路的输入端连接;

[0010] 所述各矩阵变换功率单元分别与一分控制器相连,所述总控制器通过信号光纤与每个所述矩阵变换单元和各个分控制器分别连接。

[0011] 本发明高压矩阵变频器,其中所述 Z 源网络替换为由第一电感、第二电感、第一电容、第二电容和一二极管组成的 Z 源网络,所述第一电容的一端与所述第一电感的一端相连后作为 Z 源网络的输入端,所述第一电感的另一端经二极管的正端与所述第二电感的一端相连后作为 Z 源网络的输出端,所述第一电容的另一端与所述二极管的负端相连,所述第二电容的另一端与所述二极管的正端相连,所述 Z 源网络的输入端与整流级电路的正输出端连接,所述 Z 源网络的输出端与逆变级电路的正输入端连接。

[0012] 本发明高压矩阵变频器,其中所述矩阵变换功率单元还包括输入滤波器,所述输入滤波器由三只滤波电阻和三只滤波电容构成,三只所述滤波电阻一端分别与矩阵变换功率单元的输入端相连,三只所述滤波电阻的另一端分别与三只所述滤波电容的一端对应串联,三只所述滤波电容的另一端相互连接。

[0013] 本发明高压矩阵变频器,其中所述分控制器的电源线与三相电路的输入端中的任意两相或三相相连,所述分控制器的信号线与前级整流器和后级逆变器相连。

[0014] 本发明高压矩阵变频器的优点和积极效果在于:由于采用了Z源-矩阵变换器功率单元,Z源环节将主变换电路、电源和负载耦合在一起时,允许直通状态的存在,提高了矩阵变换器的电压传输比,提高了逆变器的可靠性,且成本低、体积小,寿命长。移相隔离变压器起到降压隔离作用,避免传统矩阵变换器直流回路短路风险,使变频器工作安全、稳定。矩阵变换器输入可双向控制,因而能量可双向流动,易于实现能量反馈,电机可实现四象限运行。

[0015] 下面将结合实施例参照附图进行详细说明。

### 附图说明

[0016] 图1是高压多电平矩阵变换器的电路图;

[0017] 图2是高压多电平矩阵变换器中开关单元的电路图;

[0018] 图3是级联多重化高压矩阵变频器的电路图;

[0019] 图4是图3中级联多重化高压矩阵变频器中开关单元的电路图;

[0020] 图5是一种高压矩阵变频器的电路图;

[0021] 图6是图5中高压矩阵变频器中开关单元的电路图;

[0022] 图7是双极矩阵变换器的电路图;

[0023] 图8是本发明高压矩阵变频器中Z源-矩阵变换器功率单元的电路结构图;

[0024] 图9是本发明高压矩阵变频器的电路结构图;

[0025] 图10是另一种Z源-矩阵变换器功率单元的电路结构图。

### 具体实施方式

[0026] 本发明高压矩阵变频器包括移相隔离变压器、矩阵变换单元阵列和总控制器。其中:

[0027] 1) 移相隔离变压器

[0028] 参照图8,移相隔离变压器具有 $3n$ 个三相次级绕组, $n$ 为自然数,每3个次级绕组为一组且具有相同的相位,次级绕组各组相位依次递增,初始相位为 $0^\circ$ ,相邻之间相位差为 $60/n$ 度。在本发明高压矩阵变频器的实施例中, $n$ 为自然数3。三相高压交流电通过移相隔离变压器以3的整倍数输出,为矩阵变换单元阵列供电。

[0029] 2) 矩阵变换单元阵列

[0030] 参照图8,矩阵变换单元阵列由 $3n$ 个矩阵变换功率单元排成 $3$ 列 $\times n$ 行的阵列结构构成,在本发明高压矩阵变频器的实施例中, $n$ 为自然数3。移相隔离变压器次级绕组各组分别与阵列的行对应,每组中的3个次级绕组分别与每行中的3个矩阵变换功率单元一一对应相连。矩阵变换单元阵列中,每一列矩阵变换功率单元的功率输出端依次串联,形成一相频率、幅值都可调的交流电压输出,同时获得叠加输出电压的能力,矩阵变换功率单元的三列输出采用Y接法形成三相交流电压输出,每个变换单元分别通过信号光纤与总控制器连接。

[0031] 3) 矩阵变换功率单元

[0032] 参照图 9, 矩阵变换功率单元采用 Z 源 - 矩阵变换功率单元, 分别设有输入滤波器和分控制器。其中:

[0033] 输入滤波器由三只滤波电阻 R1、R2、R3 和三只滤波电容 C3、C4、C5 构成, 三只滤波电阻 R1、R2、R3 一端分别与矩阵变换功率单元的输入端相连, 电阻 R1、R2、R3 的另一端分别与三只滤波电容 C3、C4、C5 的一端对应串联, 三只滤波电容 C3、C4、C5 的另一端相互连接。

[0034] Z 源 - 矩阵变换功率单元的前级整流器为 3H 桥结构, 包括 3 个桥臂, 输入三相交流电压, 输出两路直流电压, 后级逆变器为 2H 桥结构, 包括 2 个桥臂, 输入两路直流电压, 输出单相交流电压, 前级整流器与后级逆变器之间连接有 Z 源网络。

[0035] Z 源网络为由第一电感 L1、第二电感 L2、第一电容 C1 和第二电容 C2 组成的 X 型 Z 源网络, 第一电容 C1 的一端与第一电感 L1 的一端相连后作为 Z 源网络的第一输入端, 该第一电感 L1 的另一端与第二电容 C2 的一端相连后作为 Z 源网络的第一输出端, 该第二电容 C2 的另一端与第二电感 L2 的一端相连后作为 Z 源网络的第二输入端, 该第二电感 L2 的另一端与第一电容 C1 的另一端相连后作为 Z 源网络的第二输出端。Z 源网络的第一输入端和第二输入端与整流级电路的输出端连接, Z 源网络的第一输出端和第二输出端与逆变级电路的输入端连接。基于 Z 源的矩阵变换器的电压传输比为  $0.866B (B \geq 1)$ , B 为 Z 源网络的

升压因子,  $B = \frac{T_s}{T_s - 2t_0} \geq 1$  其中  $t_0$  为直通零电压状态时间,  $T_s$  为一个开关周期。

[0036] 分控制器电源线与功率开关阵列中的前级三相桥式整流电路的输入端中的任意两相或三相相连, 同时分控制器信号线与前级整流器和后级逆变器相连, 负责控制每个单元的功率器件开关规律, 实现检测、保护、驱动等功能。

[0037] 总控制器与各个分控制器通过光纤连接, 负责协调控制每个分控制器的运行状况。

[0038] 如果需要降低高压变频器的功率开关损耗, 可通过减少功率单元的开关器件数来实现, 也可以采用双极稀疏矩阵变换器与 Z 源串联功率单元, 如图 10 所示。

[0039] 在本发明高压矩阵变频器的另一实施例中, 参照图 10, Z 源网络替换为由第一电感 L1、第二电感 L2、第一电容 C1、第二电容 C2 和二极管组成的 Z 源网络, 第一电容 C1 的一端与第一电感 L1 的一端相连后作为 Z 源网络的输入端, 该第一电感 L1 的另一端经二极管的正端与第二电感 L2 的一端相连后作为 Z 源网络的输出端, 第一电容 C1 的另一端与二极管的负端相连, 第二电容 C2 的另一端与二极管的正端相连, Z 源网络的输入端与整流级电路的正输出端连接, Z 源网络的输出端与逆变级电路的正输入端连接。

[0040] 基于双极矩阵变换器与 Z 源相结合的功率单元构成的高压交 - 交变换器, 均落入本发明的保护范围之内。

[0041] 本技术方案中的矩阵变换器为交 - 交结构, 且中间有 Z 源环节, 相比现有的单元级联型高压变频器功率单元交 - 直 - 交变频器, 技术效果显著:

[0042] 1、成本低、体积小, 寿命长, 且 Z 源环节将主变换电路和电源或者负载耦合在一起能够允许直通状态的存在, 即提高了矩阵变换器的电压传输比, 有提高了逆变器的可可靠性。

[0043] 2、矩阵变换器输入可双向控制, 因而能量可双向流动, 易于实现能量反馈, 电机可四象限运行。

[0044] 3、移相隔离变压器起到降压隔离作用,避免传统矩阵变换器直流回路短路风险,使变频器工作安全、稳定。

[0045] 上面所述的实施例仅仅是对本发明的优选实施方式进行了描述,并非对本发明的构思和范围进行限定,在不脱离本发明设计方案前提下,本领域中普通工程技术人员对本发明的技术方案做出的各种变型和改进,均应落入本发明的保护范围,本发明请求保护的技术内容,已经全部记载在权利要求书中。

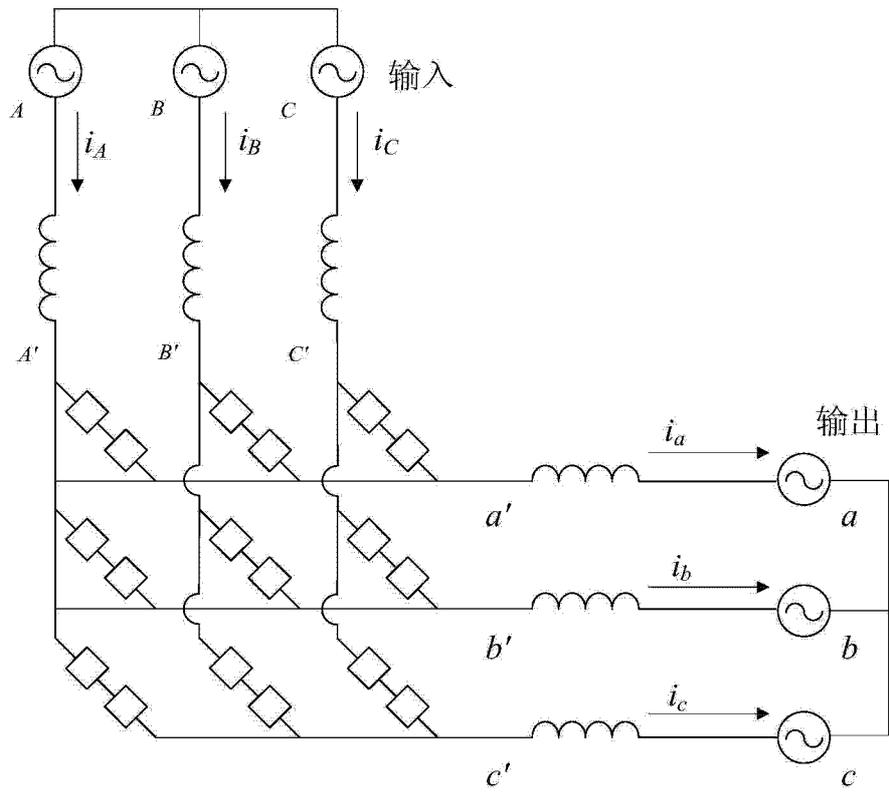


图 1

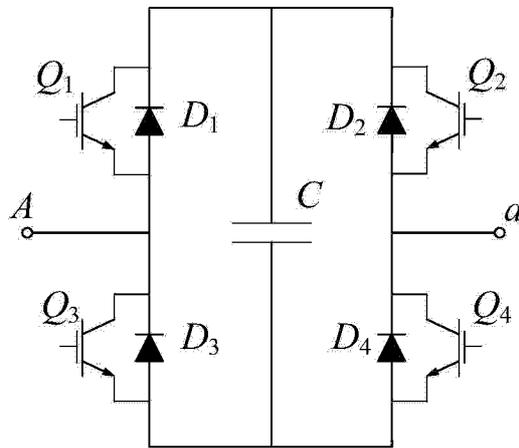


图 2

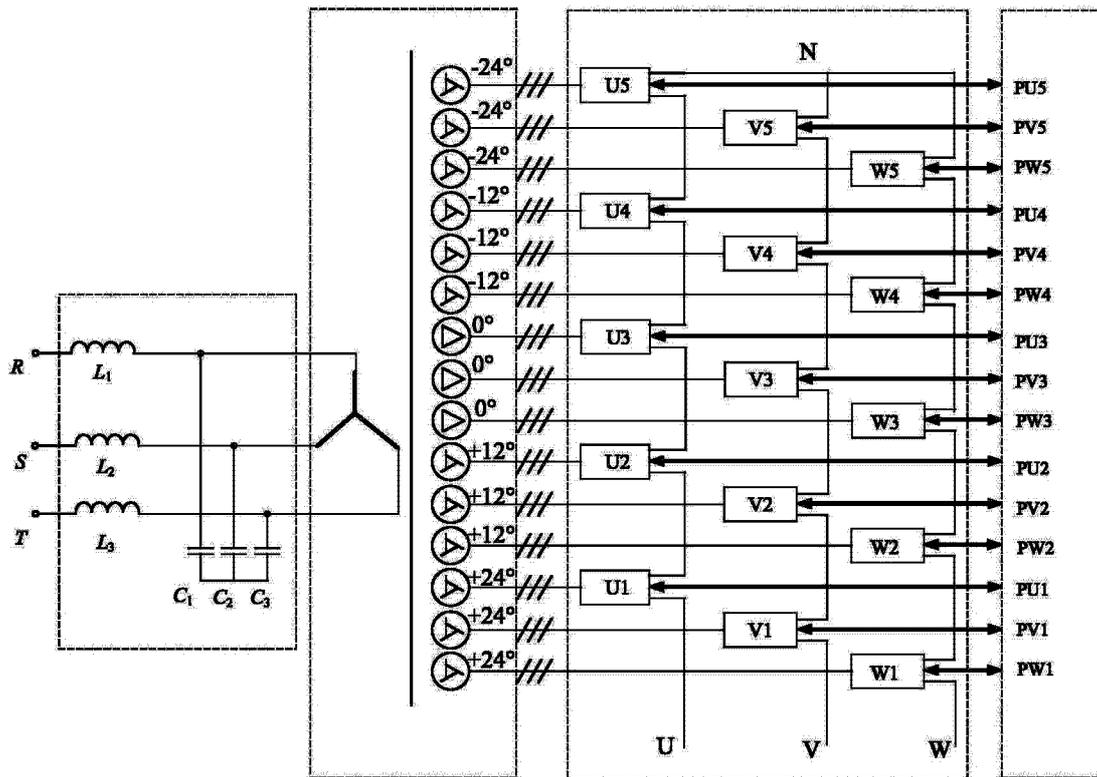


图 3

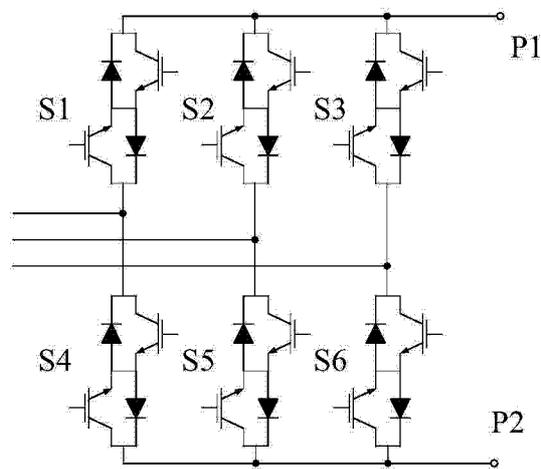


图 4

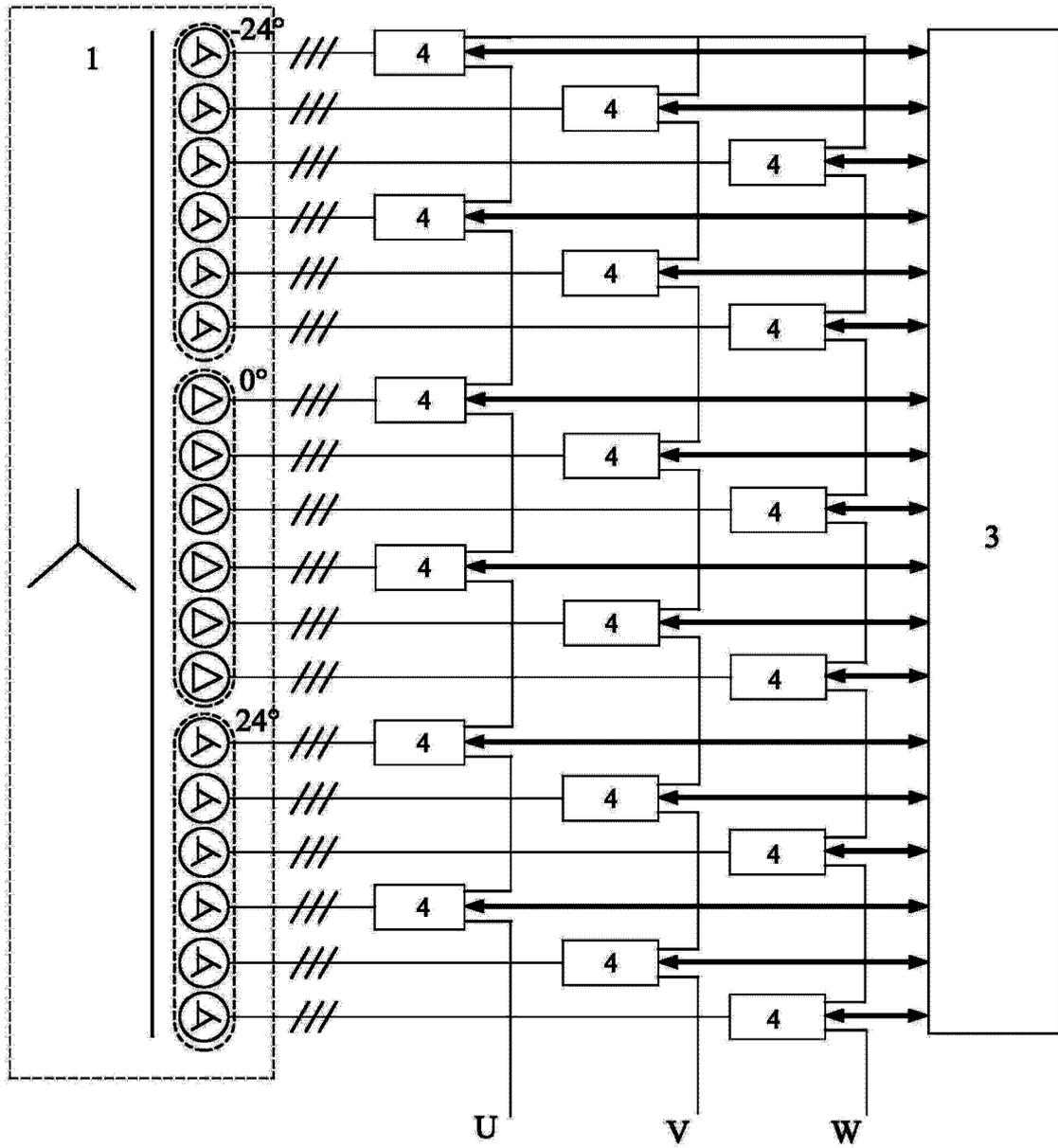


图 5

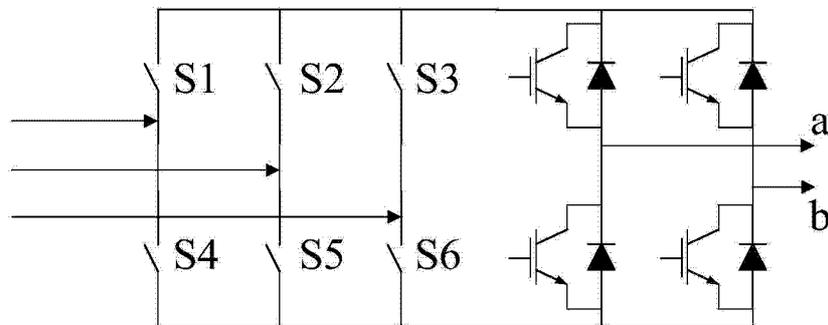


图 6

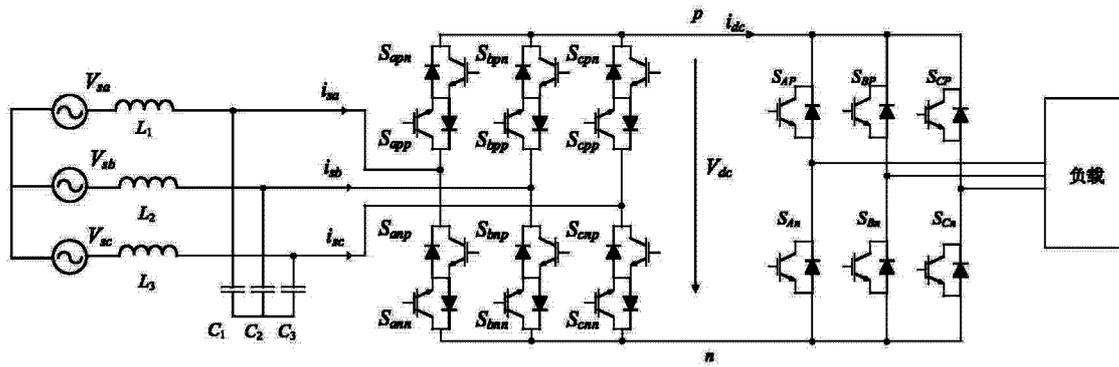


图 7

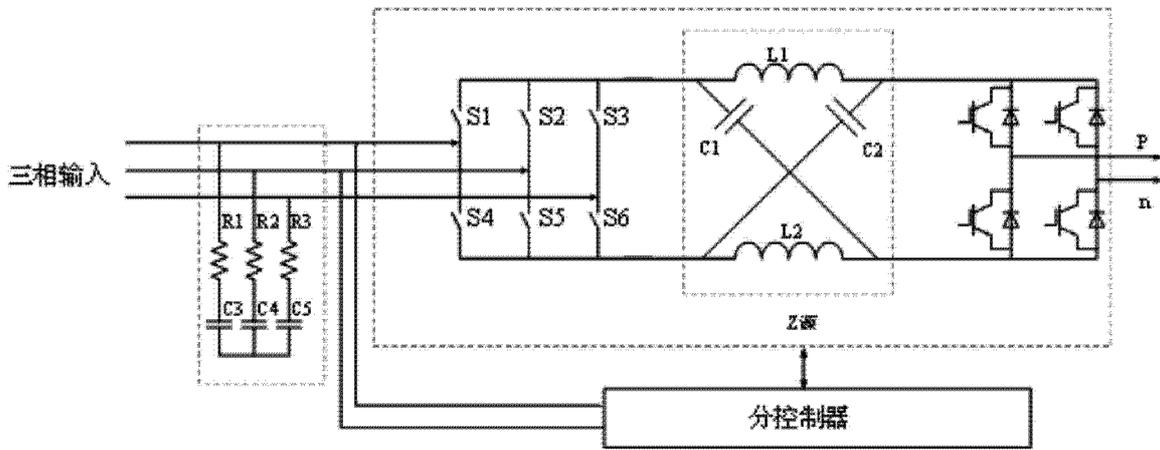


图 8

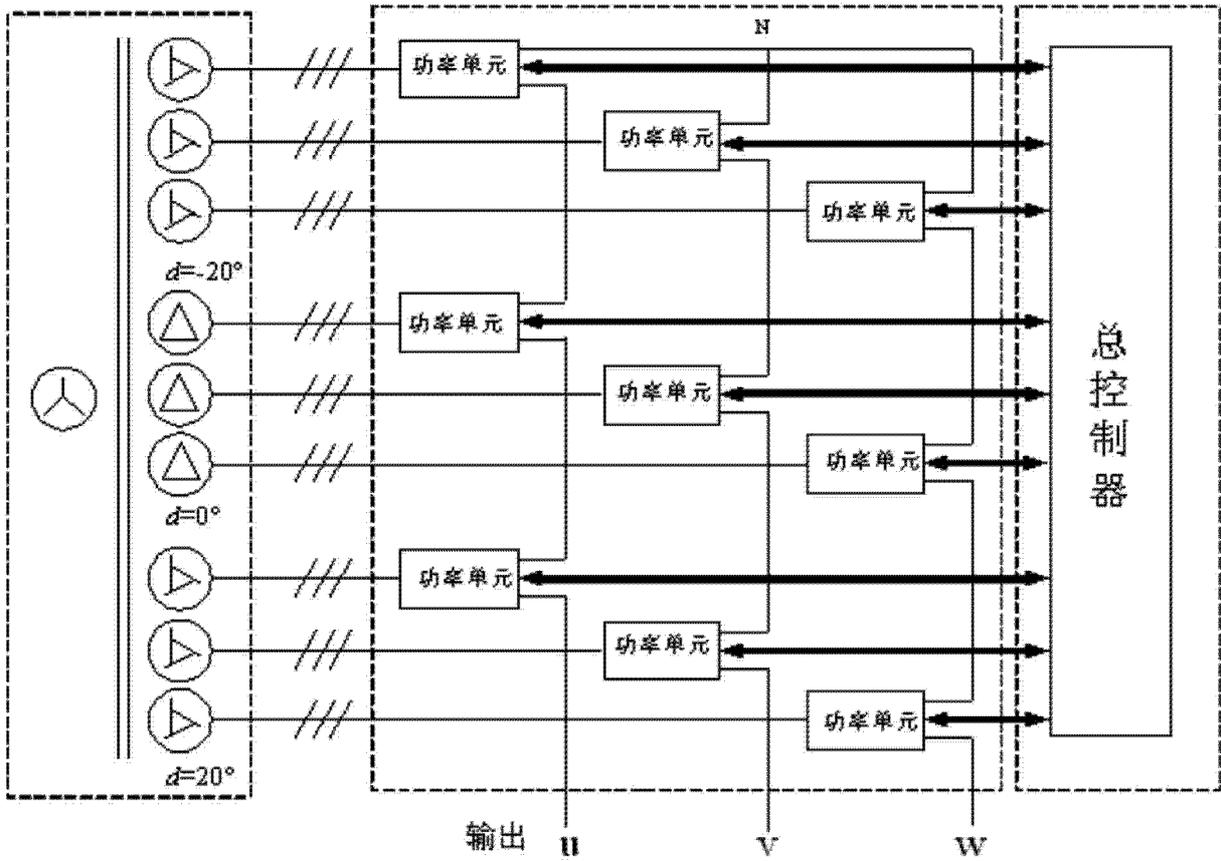


图 9

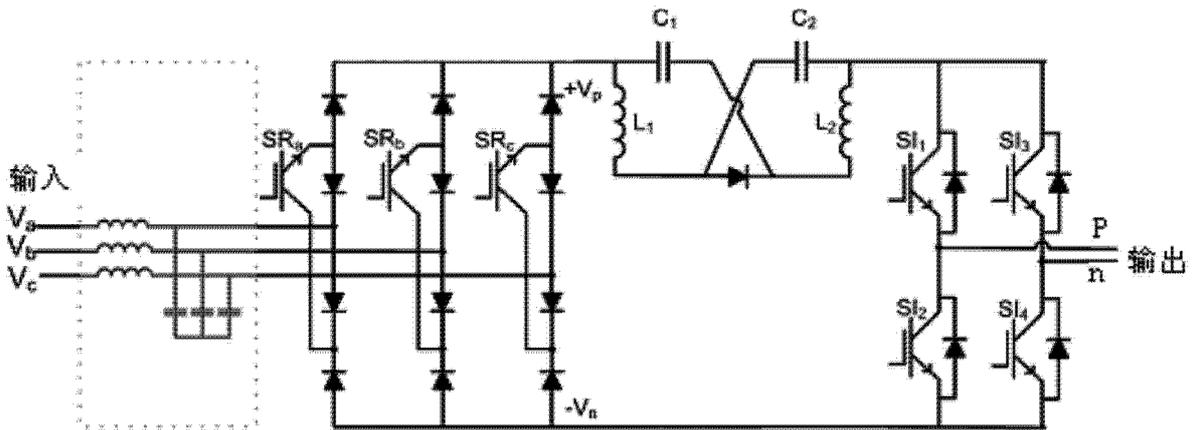


图 10