



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 114553047 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 27

(21) 申请号 202210074909.6

H02M 1/08 (2006.01)

(22) 申请日 2022.01.21

H02M 1/12 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

H02M 1/42 (2007.01)

申请公布号 CN 114553047 A

H02J 3/38 (2006.01)

H02J 3/01 (2006.01)

(43) 申请公布日 2022.05.27

(56) 对比文件

(73) 专利权人 东北电力大学

CN 102163932 A, 2011.08.24

地址 132012 吉林省吉林市船营区长春路
169号

CN 102291019 A, 2011.12.21

审查员 刘姝晗

(72) 发明人 刘闯 蔡国伟 朱炳达 邵鑫铭

郭东波 裴忠晨 朱帝 刘海洋

杨冬锋 王汝田

(74) 专利代理机构 西安弘理专利事务所 61214

专利代理师 王丹

(51) Int. Cl.

H02M 7/68 (2006.01)

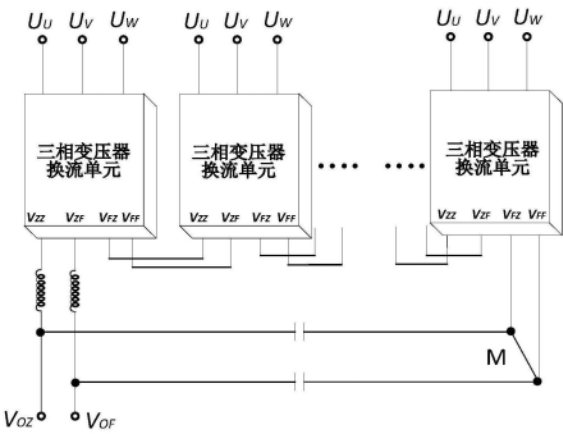
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器

(57) 摘要

本发明公开了基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,包括多个三相变压器换流单元,每个三相变压器换流单元上输入端均连接三相交流输入电压,每个三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口和两个负极输出端口,相邻三相变压器换流单元通过每个负极输出端口连接正极输出端口的形式连接,首端三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个LC滤波器的电容端相接后分别连接尾部三相变压器换流单元的两个负极输出端的端口,两个LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两个直流输出电压端口;将三相交流输入电压变换为两个极性相反的直流输出电压,并且输出电压的幅值和极性均独立可控。



1. 基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,其特征在于,包括多个三相变压器换流单元,每个所述三相变压器换流单元上输入端均连接三相交流输入电压,每个所述三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口 V_{ZZ} 、 V_{ZF} 和两个负极输出端口 V_{FZ} 、 V_{FF} ,前一个三相变压器换流单元负极输出端口连接后一个三相变压器换流单元正极输出端口,首端三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个所述LC滤波器的电容端相接后连接尾部三相变压器换流单元的负极输出端的端口,两个所述LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两相直流输出电压端口。

2. 基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,其特征在于,包括三相变压器换流单元,所述三相变压器换流单元上输入端连接三相交流输入电压,所述三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口 V_{ZZ} 、 V_{ZF} 和两个负极输出端口 V_{FZ} 、 V_{FF} ,所述三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个所述LC滤波器的电容端相接后连接三相变压器换流单元的负极输出端的端口,两个所述LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两相直流输出电压端口,每个所述三相变压器换流单元包括三相变压器和6个级联直接式AC/AC斩波器,所述三相变压器包括三相心式铁芯柱,所述三相心式铁芯柱的每个铁芯柱上连接一个初级绕组和多个次级绕组,每个所述初级绕组正极性线分别连接交流输入电压U相、V相、W相中的其中一相,三个所述初级绕组负极星接或角接,每个铁芯柱对应的多个次级绕组平均连接在两个级联直接式AC/AC斩波器输入端,将U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端作为三相变压器换流单元的正极输出端口,U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端作为三相变压器换流单元的负极输出端口。

3. 根据权利要求1所述基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,其特征在于,每个所述三相变压器换流单元包括三相变压器和6个级联直接式AC/AC斩波器,所述三相变压器包括三相心式铁芯柱,所述三相心式铁芯柱的每个铁芯柱上连接一个初级绕组和多个次级绕组,每个所述初级绕组正极性线分别连接交流输入电压U相、V相、W相中的其中一相,三个所述初级绕组负极星接或角接,每个铁芯柱对应的多个次级绕组平均连接在两个级联直接式AC/AC斩波器输入端,将U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端作为三相变压器换流单元的正极输出端口,U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端作为三相变压器换流单元的负极输出端口。

4. 根据权利要求2或3所述基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,其特征在于,每个所述级联直接式AC/AC斩波器包括多个直接式AC/AC斩波器,每个所述直接式AC/AC斩波器输入端正负极均连接一个次级绕组输出端正负极,多个直接式AC/AC斩波器通过输出负极连接相邻直接式AC/AC斩波器输出正极的方式连接,首端直接式AC/AC斩波器输出端正极作为级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,尾端直接式AC/AC斩波器输出负极作为级联直接式AC/AC斩波器负极输出端。

5. 根据权利要求2或3所述基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,其特征在

于,所述级联直接式AC/AC斩波器为直接式AC/AC斩波器,所述直接式AC/AC斩波器输入端正负极均连接一个次级绕组输出端正负极,直接式AC/AC斩波器输出端正极作为级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,直接式AC/AC斩波器输出负极作为级联直接式AC/AC斩波器负极输出端。

基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器

技术领域

[0001] 本发明属于电能变换技术领域,具体涉及基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器。

背景技术

[0002] 整流电路是电力电子电路中出现最早的一种,它的作用是将交流电能变为直流电能,给直流用电设备供电。整流电路的应用十分广泛,例如直流电动机,电镀、电解电源,同步发电机励磁,通信系统电源等。整流电路可分为相位控制(简称相控)整流电路和斩波控制(简称斩控)整流电路,对于电网来说,它们都属于非线性负载,会对电网侧注入电流谐波。

[0003] 电网中的电流谐波会带来不小的危害:1.过高的电网电流谐波会使得电网元件产生额外的损耗,导致整个系统的效率和电能质量严重下降。2.当产生的谐波频率接近电网非线性元件的谐振频率时,会对系统中的电感电容产生损害,严重时会导致电感电容失效。3.过多的谐波会增加电网非线性元件的发热,导致元件的使用寿命严重降低。4.产生的谐波电流对于系统中的一些保护装置来看就像是干扰信号,会使继电保护装置误保护以及自动装置误动作,严重减低了系统的可靠性。5.谐波电流会影响整个通信系统,甚至使整个通信系统失灵。6.大量的谐波会对稳定运行的电网构成威胁,使电网电压出现波动。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,能够将三相交流输入电压变换为两个极性相反的直流输出电压,并且输出电压的幅值和极性均独立可控。

[0005] 本发明所采用的技术方案是,基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,包括多个三相变压器换流单元,每个三相变压器换流单元上输入端均连接三相交流输入电压,每个三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口 V_{ZZ} 、 V_{ZF} 和两个负极输出端口 V_{FZ} 、 V_{FF} ,相邻两个三相变压器换流单元通过每个负极输出端口连接一个正极输出端口的形式连接,首端三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个LC滤波器的电容端相接后分别连接尾部三相变压器换流单元的两个负极输出端的端口,两个LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两个直流输出电压端口。

[0006] 本发明所采用的另一种技术方案是,基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,包括三相变压器换流单元,三相变压器换流单元上输入端连接三相交流输入电压,三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口 V_{ZZ} 、 V_{ZF} 和两个负极输出端口 V_{FZ} 、 V_{FF} ,三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个LC滤波器的电容端相接后连接三相变压器换流单元的负极输出端的端口,两个LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两个直流输出电压端口。

[0007] 本发明的特点还在于:

[0008] 每个三相变压器换流单元包括三相变压器和6个级联直接式AC/AC斩波器,三相变压器包括三相心式铁芯柱,三相心式铁芯柱的每个铁芯柱上连接一个初级绕组和多个次级绕组,每个初级绕组正极性线分别连接交流输入电压U相、V相、W相中的其中一相,三个初级绕组星接或角接,每个铁芯柱对应的多个次级绕组平均连接在两个级联直接式AC/AC斩波器输入端,将U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端作为三相变压器换流单元的正极输出端口,U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端作为三相变压器换流单元的负极输出端口。

[0009] 每个级联直接式AC/AC斩波器包括多个直接式AC/AC斩波器,每个直接式AC/AC斩波器输入端正负极均连接一个次级绕组输出端正负极,多个直接式AC/AC斩波器通过输出负极连接相邻直接式AC/AC斩波器输出正极的方式连接,首端直接式AC/AC斩波器输出端正极作为级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,尾端直接式AC/AC斩波器负极作为级联直接式AC/AC斩波器负极输出端。

[0010] 级联直接式AC/AC斩波器为直接式AC/AC斩波器,直接式AC/AC斩波器输入端正负极均连接一个次级绕组输出端正负极,直接式AC/AC斩波器输出端正极作为级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,直接式AC/AC斩波器负极作为级联直接式AC/AC斩波器负极输出端。

[0011] 本发明益效果是:

[0012] (1) 本发明能够实现将三相交流输入变换为直流输出,并且输出电压的幅值和极性均独立可控。

[0013] (2) 本发明能够实现功率的双向流动,将三相系统和直流系统构成互联。

[0014] (3) 本发明直流变换器不含整流环节,拥有更好的输入电流质量,并且输入电流的相位是可调的,因此输入功率因数能够被控制。

[0015] (4) 本发明直流变换器不含直流电容,拥有更低的成本和体积,也不存在电容均压或电容启动问题,降低了控制系统的复杂程度。

附图说明

[0016] 图1是本发明基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器拓扑结构图;

[0017] 图2是本发明中的三相变压器换流单元结构图;

[0018] 图3是本发明中级联直接式AC/AC斩波器时的拓扑结构图;

[0019] 图4是本发明基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器一种拓扑结构图;

[0020] 图5是采用本发明基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器输出正极性直流电压的波形图;

[0021] 图6是采用本发明基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器输出负极性直流电压的波形图。

具体实施方式

[0022] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0023] 本发明基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,如图1所示,包括多个三相

变压器换流单元,每个三相变压器换流单元上输入端均连接三相交流输入电压,每个三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口 V_{ZZ} 、 V_{ZF} 和两个负极输出端口 V_{FZ} 、 V_{FF} ,相邻两个三相变压器换流单元通过每个负极输出端口连接一个正极输出端口的形式连接,首端三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个LC滤波器的电容端相接后分别连接尾部三相变压器换流单元的两个负极输出端的端口,两个LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两个直流输出电压端口。

[0024] 本发明的采用一个三相变压器换流单元时,结构为三相变压器换流单元上输入端连接三相交流输入电压,三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口 V_{ZZ} 、 V_{ZF} 和两个负极输出端口 V_{FZ} 、 V_{FF} ,三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个LC滤波器的电容端相接后连接三相变压器换流单元的负极输出端的端口,两个LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两个直流输出电压端口。

[0025] 如图2所示,每个三相变压器换流单元包括三相变压器和6个级联直接式AC/AC斩波器,三相变压器包括三相心式铁芯柱,每个三相心式铁芯柱的每个铁芯柱上连接一个初级绕组和多个次级绕组,每个铁芯柱上对应的次级绕组个数为偶数个,每个铁芯柱上的初级绕组和次级绕组匝数比均相同,每个初级绕组正极性线分别连接交流输入电压U相、V相、W相中的其中一相,三个初级绕组负极相互星接或角接,每个铁芯柱对应的多个次级绕组平均连接在两个级联直接式AC/AC斩波器输入端,将U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端作为三相变压器换流单元的正极输出端口,U相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,V相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端连接W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,W相对应的两个级联直接式AC/AC斩波器负极输出端作为三相变压器换流单元的负极输出端口。

[0026] 如图3所示,每个级联直接式AC/AC斩波器包括多个直接式AC/AC斩波器,每个直接式AC/AC斩波器输入端正负极均连接一个次级绕组输出端正负极,多个直接式AC/AC斩波器通过输出负极连接相邻直接式AC/AC斩波器输出正极的方式连接,首端直接式AC/AC斩波器输出端正极作为级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,尾端直接式AC/AC斩波器负极作为级联直接式AC/AC斩波器负极输出端,各个直接式AC/AC斩波器的输入端接绕组,一个绕组给一个直接式AC/AC斩波器供电。图3中各个带有黑色实心圆点的线即为各个绕组的正极性线。绕组的正极性线和负极性线分别连接直接式AC/AC斩波器的输入正极和负极端口。各个直接式AC/AC斩波器的输出端进行串联连接,并构成正极和负极输出二端口。

[0027] 级联直接式AC/AC斩波器另一种方案为直接式AC/AC斩波器,直接式AC/AC斩波器输入端正负极均连接一个次级绕组输出端正负极,直接式AC/AC斩波器输出端正极作为级联直接式AC/AC斩波器正极输出端,直接式AC/AC斩波器输出负极作为级联直接式AC/AC斩波器负极输出端。

[0028] 为了更清晰地表明本发明的工作原理,以图4所示结构为例进行数学推导,这里采用单个三相变压器换流单元,并且三相变压器换流单元中的级联直接式AC/AC斩波器采用单个直接式AC/AC斩波器。图4所示每个铁芯柱上连接四个次级绕组,六个直接式AC/AC斩波器和两个LC滤波器,三相心式多绕组变压器的每个铁芯柱上连接一组绕组,每组绕组均包括一个初级绕组和四个次级绕组,每个初级绕组的正极性线分别连接交流输入电压U相、V

相、W相中的其中一相。所有初级绕组的负极性线连接于一点G(初级绕组采用星接还是角接,星接时中性点悬空还是接地不做限制,根据使用场景而定,这里以星接且中性点悬空为例进行描述)。各个次级绕组均有两根线引出,带有黑色实心圆点的为正极性线,另一根为负极性线。各个直接式AC/AC斩波器的正极输入端口连接于其对应绕组正极性线,负极输入端口连接于其对应绕组的负极性线。

[0029] 如图4所示,输入三相交流电压定义为U相、V相、W相,连接U相的初级绕组对应的级联直接式AC/AC斩波器为 U_z 、 U_F ,连接V相的初级绕组对应的级联直接式AC/AC斩波器为 V_z 、 V_F ,连接W相的初级绕组对应的级联直接式AC/AC斩波器为 W_z 、 W_F ,级联直接式AC/AC斩波器 U_z 输出端口的负极和级联直接式AC/AC斩波器 V_z 输出端口的正极连接,级联直接式AC/AC斩波器 V_z 输出端口的负极和级联直接式AC/AC斩波器 W_z 输出端口的正极连接,级联直接式AC/AC斩波器 W_z 输出端口的负极作为三相变压器换流单元的负极,级联直接式AC/AC斩波器 U_F 输出端口的负极和级联直接式AC/AC斩波器 V_F 输出端口的正极连接,级联直接式AC/AC斩波器 V_F 输出端口的负极和级联直接式AC/AC斩波器 W_F 输出端口的正极连接,级联直接式AC/AC斩波器 W_F 输出端口的负极作为三相变压器换流单元的另一个负极,级联直接式AC/AC斩波器 U_z 输出端口的正极和级联直接式AC/AC斩波器 W_z 输出端口的负极连接一个LC滤波器的输入二端口,级联直接式AC/AC斩波器 U_F 输出端口的正极和级联直接式AC/AC斩波器 W_F 输出端口的负极连接另一个LC滤波器的输入二端口,两个LC滤波器输出二端口的负极连接于一点M,两个LC滤波器输出二端口的正极构成正负极性直流输出电压 V_{ZZ} 、和 V_{ZF} 。

[0030] 两个相LC滤波器均包括一端连接直接式AC/AC斩波器正极的电感,电感另一端连接电容一端,电容的另一端连接点M,电容与电感连接处形成的节点作为正或负极性直流输出电压端口。

[0031] 以图4所示结构为例进行数学推导。图4所示为采用单个三相变压器换流单元,并且三相变压器换流单元中的级联直接式AC/AC斩波器采用单个直接式AC/AC斩波器。这里以正极性直流输出电压 V_{ZZ} 的合成原理为例进行说明,负极性直流输出电压与之对称相似。

[0032] 设三相输入电压为式(1),表达式为:

$$[0033] \quad \begin{cases} U_U = V_{in} \sin(\omega_1 t) \\ U_V = V_{in} \sin(\omega_1 t - 120^\circ) \\ U_W = V_{in} \sin(\omega_1 t + 120^\circ) \end{cases} \quad (1)$$

[0034] 其中 ω_1 为输入电压的角频率, V_{in} 为输入电压的幅值。直接式AC/AC斩波器 U_z 采用调制波 D_U ,直接式AC/AC斩波器 V_z 采用调制波 D_V ,直接式AC/AC斩波器 W_z 采用调制波 D_W 。调制波 D_U 、 D_V 、 D_W 的为式(2):

$$[0035] \quad \begin{cases} D_U = V_D \sin[\omega_1 t + \varphi] \\ D_V = V_D \sin[\omega_1 t + \varphi - 120^\circ] \\ D_W = V_D \sin[\omega_1 t + \varphi + 120^\circ] \end{cases} \quad (2)$$

[0036] 其中 ω_1 为输入电压的角频率, V_D 为三个调制波的幅值,取值为0到1。 φ 为调制波 D_U 相对于输入U相电压的初相差。由于直接式AC/AC斩波器 U_z 、 V_z 、 W_z 的输出电压为串联关系,且

每相各个绕组匝数比均相同,则输出电压 V_{OA} 可表示为式(3):

$$[0037] \quad V_{ZZ} = U_U \cdot D_U + U_V \cdot D_V + U_W \cdot D_W \quad (3)$$

[0038] 将式(1)-(2)代入式(3)可得

$$[0039] \quad U_{OZ} = \frac{3}{2} V_D V_{in} \cos(\varphi) \quad (4)$$

[0040] 由式(4)可见,通过本发明可以输出幅值和极性可控的直流电压,通过调节 V_D 或角 φ 即可实现对直流电压的幅值和极性控制。当角 φ 大于 90° 小于 270° 时,输出负电压,当角 φ 大于 -90° 小于 90° 时,输出正电压。

[0041] U_{OF} 的获得方法同 U_{OZ} ,表达式为:

$$[0042] \quad U_{OF} = \frac{3}{2} V_D V_{in} \cos(\varphi + 180^\circ) \quad (5)$$

[0043] 以变压器U相铁芯柱为例,分析谐波电流。直接式AC/AC斩波器 U_Z 和 U_F 的输入侧通过U相铁芯柱磁路进行耦合,耦合电流可由式(6)表示。

$$[0044] \quad I_U = I_{OZ} V_D \sin(\omega t + \varphi) \quad (6)$$

[0045] I_U 为U相输入电流表达式, I_{OZ} 为输出直流电流。可以看出耦合后的电流频率为 ω_1 ,与输入电压电流同频,因此本发明产生的电流与输入电压同频,避免对输入节点造成电流谐波污染。此外,可以看出 I_U 的相位是可调的,因此本发明还可以调节输入功率因数。

[0046] 如图5所示,本发明输出的正极性直流电压的波形图。第一个栅格展示了输入三相电压 U_U, U_V, U_W 的波形图。输入三相电压有效值为220V频率为50Hz。第二个栅格展示了输出正极性直流电压 V_{ZZ} 的波形图,输出直流电压幅值为110V。

[0047] 图6展示了本发明输出的负极性直流电压的波形图。为了便于观察,在同一个栅格展示了输入三相电压 U_U, U_V, U_W 和输出负极性直流电压 V_{OZ} 的波形图。输入三相电压有效值为220V频率为50Hz,输出直流电压幅值为-110V。

[0048] 由图5和图6可以看出本发明能够将三相交流输入电压变换为两个极性相反的直流输出电压,并且输出电压的幅值和极性均独立可控。

[0049] 通过上述方式,本发明基于三相变压器级联的三相交流变直流变换器,包括多个三相变压器换流单元,每个三相变压器换流单元上输入端均连接三相交流输入电压,每个三相变压器换流单元输出端包括两个正极输出端口和两个负极输出端口,相邻三相变压器换流单元通过每个负极输出端口连接正极输出端口的形式连接,首端三相变压器换流单元的两个正极输出端口分别连接一个LC滤波器的电感端,两个LC滤波器的电容端相接后分别连接尾部三相变压器换流单元的两个负极输出端的端口,两个LC滤波器的电感与电容连接的节点处形成两个直流输出电压端口;将三相交流输入电压变换为两个极性相反的直流输出电压,并且输出电压的幅值和极性均独立可控。

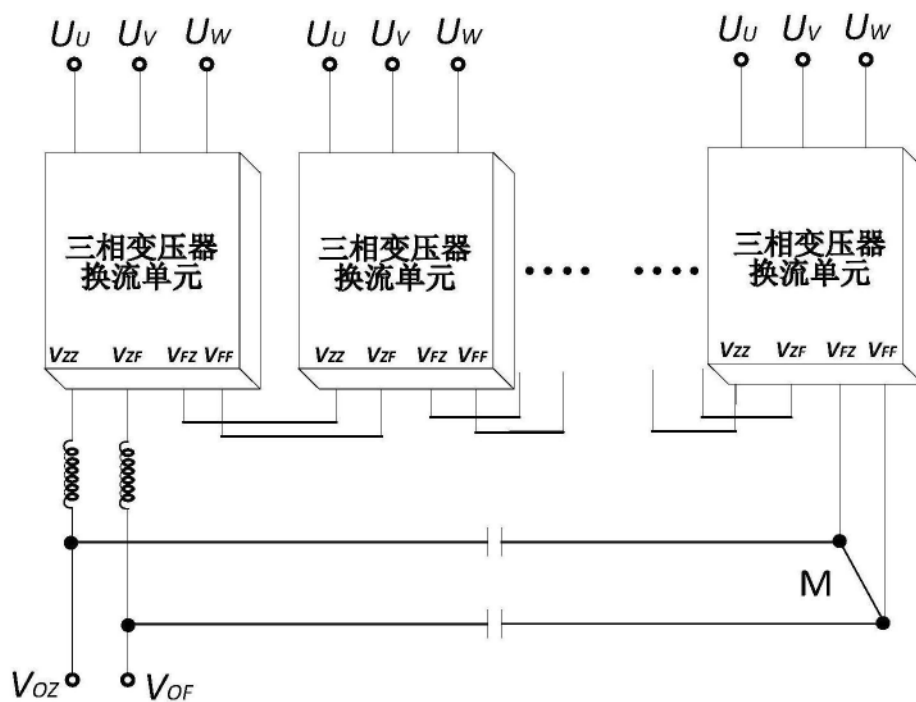


图1

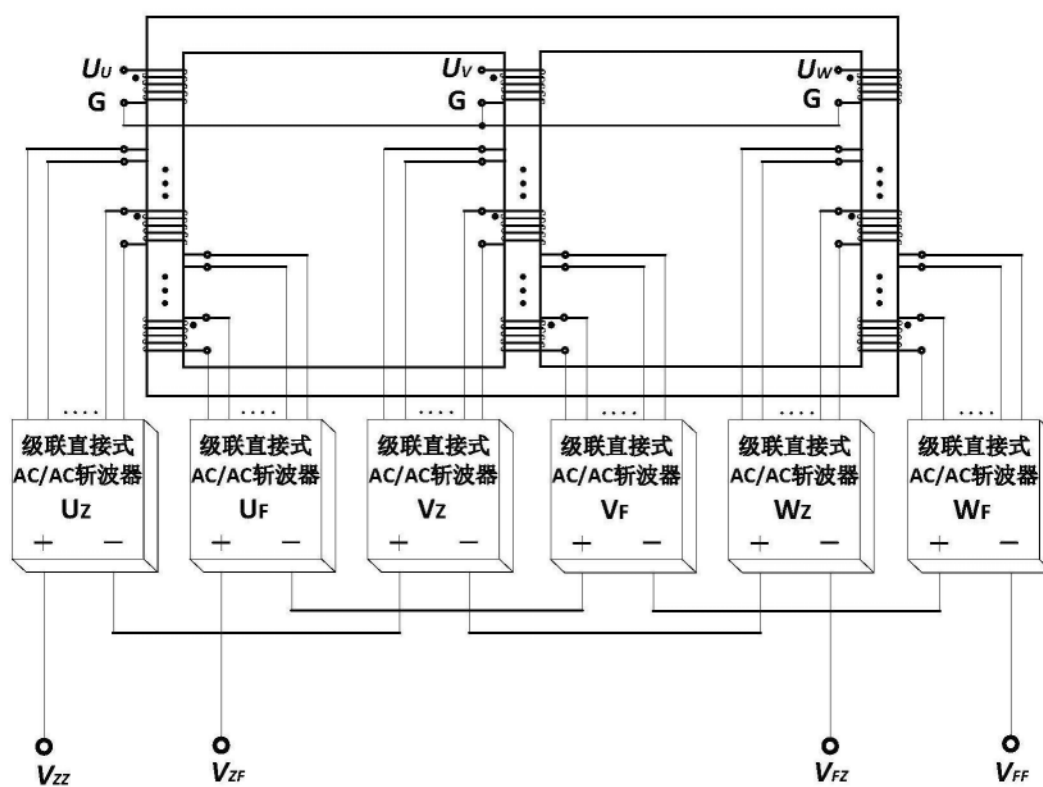


图2

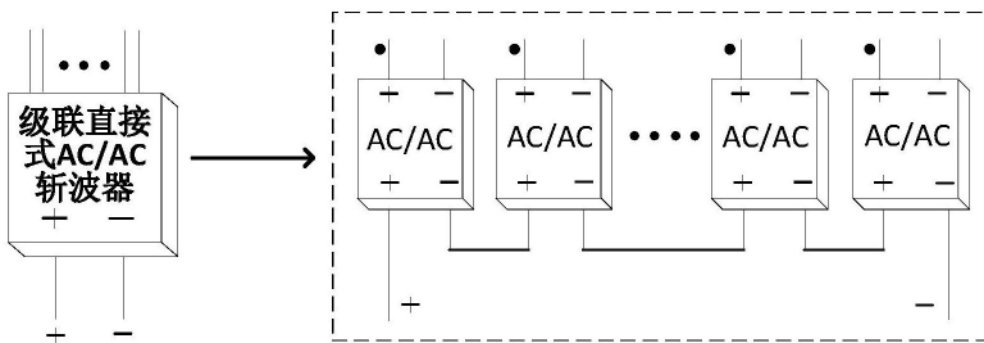


图3

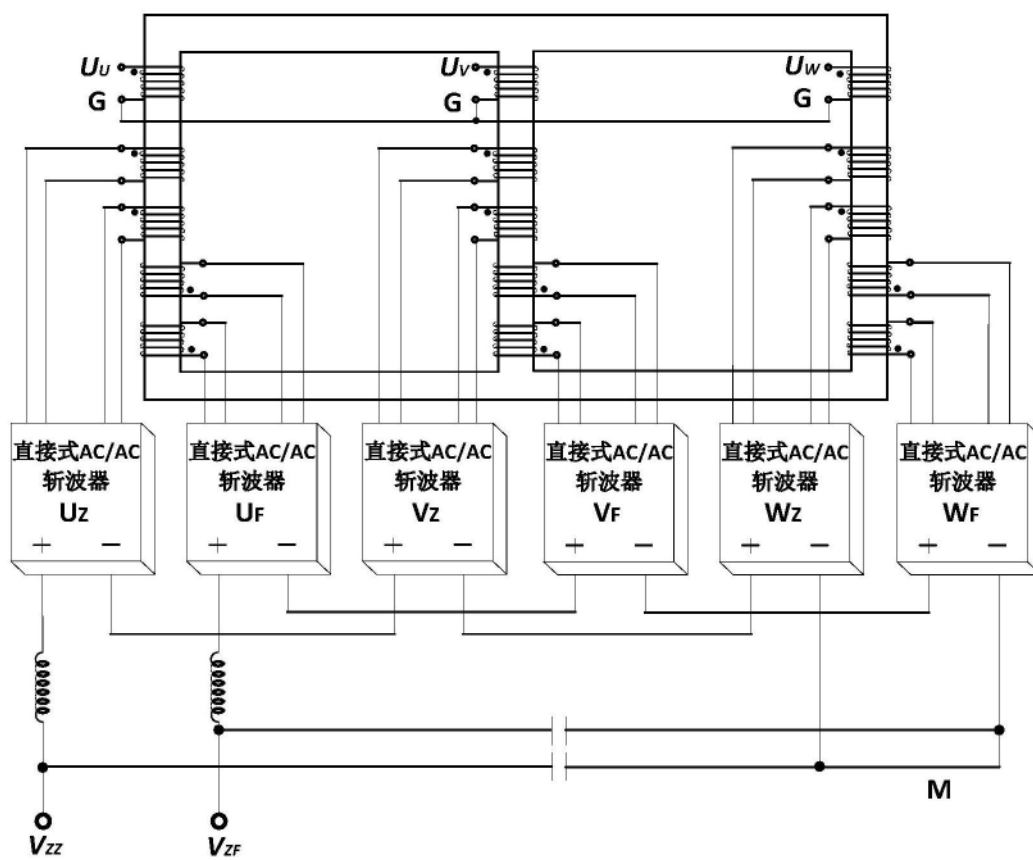


图4

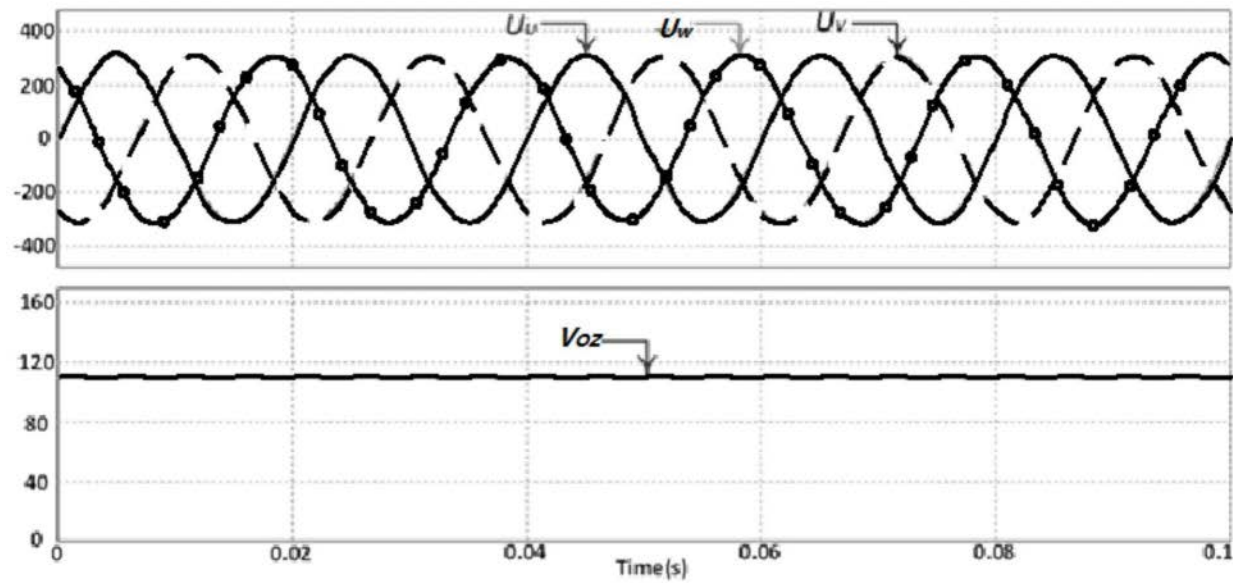


图5

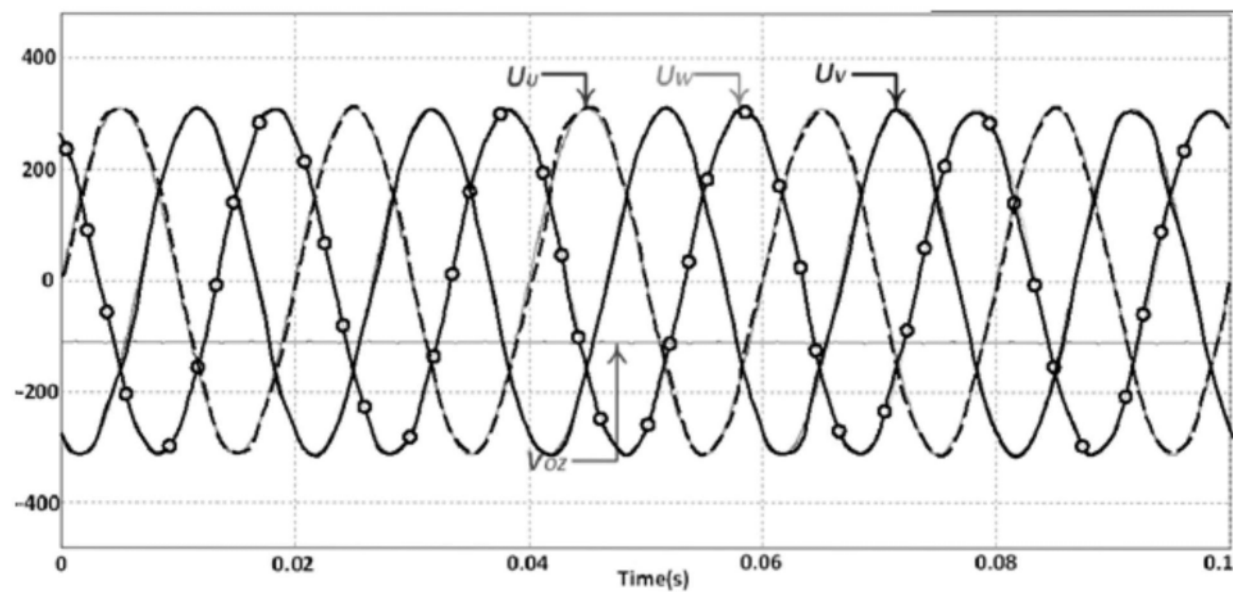


图6