



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114171306 A

(43) 申请公布日 2022. 03. 11

(21) 申请号 202111506319.8

(22) 申请日 2021.12.10

(71) 申请人 中国科学院电工研究所
地址 100190 北京市海淀区中关村北二条6号

(72) 发明人 尹靖元 韩立博 孙龙飞 韦统振
霍群海 吴理心 彭祥华 张桐硕

(74) 专利代理机构 北京瀚仁知识产权代理事务
所(普通合伙) 11482
代理人 屠晓旭 宋宝库

(51) Int. Cl.
H01F 29/04 (2006.01)
H01F 27/40 (2006.01)
H01F 27/28 (2006.01)

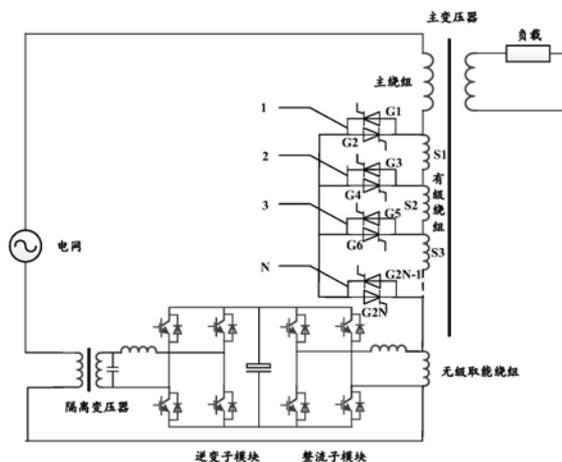
权利要求书2页 说明书6页 附图4页

(54) 发明名称

非隔离取能型有载调压变压器

(57) 摘要

本发明涉及变压器技术领域,具体提供一种非隔离取能型有载调压变压器,旨在解决如何使有载调压变压器实现无级调压并提高有载调压的速度与可靠性的问题。本发明的有载调压变压器的一次侧包括至少一相与电网的供电线路连接的有载调压装置,有载调压装置包括一次侧绕组、绕组投切模块和电能变换模块,一次侧绕组包括共磁芯的主绕组、无级取能绕组和有级绕组。绕组投切模块可以对有级绕组进行投切控制,电能变换模块可以对无级取能绕组的绕组电压进行电能变换并将电能变换后的绕组电压通过供电线路施加到一次侧绕组上,从而实现对一次侧绕组的绕组电压进行无级调节。同时,基于柔性开关中的电力电子器件能够快速且可靠地对有级绕组进行投切控制。



1. 一种非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述有载调压变压器的一次侧包括至少一相与电网的供电线路连接的有载调压装置;所述有载调压装置包括一次侧绕组、绕组投切模块和电能变换模块,所述一次侧绕组包括共磁芯的主绕组、无级取能绕组和至少一个有级绕组;

所述绕组投切模块包括与所述有级绕组连接的柔性开关,所述绕组投切模块被配置成通过所述柔性开关控制至少一个有级绕组接入所述一次侧绕组或从所述一次侧绕组中切除至少一个有级绕组;

所述电能变换模块的第一端与所述无级取能绕组连接,所述电能变换模块的第二端与所述供电线路连接,所述电能变换模块被配置成对所述无级取能绕组的绕组电压进行电能变换并将电能变换后的绕组电压通过所述供电线路施加到所述一次侧绕组上,以实现与所述一次侧绕组的绕组电压进行无级调节;

其中,所述柔性开关是由电力电子器件组成的开关。

2. 根据权利要求1所述的非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述电力电子器件至少包括晶闸管,所述柔性开关包括至少N个晶闸管组件且 $N \geq 2$,每个晶闸管组件分别包括两个反向并联的晶闸管;

所述至少一个有级绕组依次串联并且首个有级绕组的第一端与所述主绕组连接,最后一个有级绕组的第二端与无级取能绕组连接;

第1至N-1个晶闸管组件的第一端分别与每个有级绕组的第一端连接,第1至N个晶闸管组件的第二端相互连接,第N个晶闸管组件的第一端与所述最后一个有级绕组的第二端连接。

3. 根据权利要求1所述的非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述电能变换模块包括整流子模块、逆变子模块和隔离变压器;

所述整流子模块的交流侧与所述电能变换模块的第一端连接,所述整流子模块的直流侧与所述逆变子模块的直流侧连接;

所述逆变子模块的交流侧与所述隔离变压器的第一端连接,所述隔离变压器的第二端与所述电能变换模块的第二端连接。

4. 根据权利要求3所述的非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述整流子模块是由电力电子器件组成的H桥整流子模块,所述逆变子模块是由电力电子器件组成的H桥逆变子模块。

5. 根据权利要求4所述的非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述整流子模块的电力电子器件是可控型电力电子器件或不可控型电力电子器件。

6. 根据权利要求3所述的非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述电能变换模块被进一步配置成执行下列操作对所述无级取能绕组的绕组电压进行电能变换:

以所述整流子模块的直流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对所述整流子模块进行双闭环控制,同时以所述逆变子模块的交流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对所述逆变子模块进行双闭环控制,实现对所述无级取能绕组的绕组电压的电能变换。

7. 根据权利要求1所述的非隔离取能型有载调压变压器,其特征在于,所述有载调压变压器的一次侧包括三相有载调压装置并且三相有载调压装置通过三角形连接方式或星形

连接方式连接后与电网的供电线路连接。

非隔离取能型有载调压变压器

技术领域

[0001] 本发明涉及变压器技术领域,具体提供一种非隔离取能型有载调压变压器。

背景技术

[0002] 目前常规的有载调压变压器(On-Load Tap Changer, OLTC)主要是通过机械开关并根据变压器一次侧绕组组合确定好的有载调压范围,按照预设的固定步长进行调压(有级调压)。由于只能按照预设的固定步长进行调压,导致调压过程中电压波形过渡地不够平滑,无法实现无级调压。同时,调压过程中变压器分压接头受限于机械开关的机械特性,在动作时会存在一定的时间延迟,调压响应时间较长,无法快速地完成有载调压。此外,分压接头的动作次数有限,超出一定次数后,分压接头的机械寿命会极大地降低,无法保证变压器继续可靠地进行有载调压。

[0003] 相应地,本领域需要一种新的有载调压变压器方案来解决上述问题。

发明内容

[0004] 为了克服上述缺陷,提出了本发明,以提供解决或至少部分地解决如何使有载调压变压器实现无级调压并提高有载调压的速度与可靠性的技术问题的非隔离取能型有载调压变压器,所述有载调压变压器的一次侧包括至少一相与电网的供电线路连接的有载调压装置;所述有载调压装置包括一次侧绕组、绕组投切模块和电能变换模块,所述一次侧绕组包括共磁芯的主绕组、无级取能绕组和至少一个有级绕组;

[0005] 所述绕组投切模块包括与所述有级绕组连接的柔性开关,所述绕组投切模块被配置成通过所述柔性开关控制至少一个有级绕组接入所述一次侧绕组或从所述一次侧绕组中切除至少一个有级绕组;

[0006] 所述电能变换模块的第一端与所述无级取能绕组连接,所述电能变换模块的第二端与所述供电线路连接,所述电能变换模块被配置成对所述无级取能绕组的绕组电压进行电能变换并将电能变换后的绕组电压通过所述供电线路施加到所述一次侧绕组上,以实现所述一次侧绕组的绕组电压进行无级调节;

[0007] 其中,所述柔性开关是由电力电子器件组成的开关。

[0008] 在上述非隔离取能型有载调压变压器的一个技术方案中,所述电力电子器件至少包括晶闸管,所述柔性开关包括至少N个晶闸管组件且 $N \geq 2$,每个晶闸管组件分别包括两个反向并联的晶闸管;

[0009] 所述至少一个有级绕组依次串联并且首个有级绕组的第一端与所述主绕组连接,最后一个有级绕组的第二端与无级取能绕组连接;

[0010] 第1至N-1个晶闸管组件的第一端分别与每个有级绕组的第一端连接,第1至N个晶闸管组件的第二端相互连接,第N个晶闸管组件的第一端与所述最后一个有级绕组的第二端连接。

[0011] 在上述非隔离取能型有载调压变压器的一个技术方案中,所述电能变换模块包括

整流子模块、逆变器模块和隔离变压器；

[0012] 所述整流子模块的交流侧与所述电能变换模块的第一端连接，所述整流子模块的直流侧与所述逆变器模块的直流侧连接；

[0013] 所述逆变器模块的交流侧与所述隔离变压器的第一端连接，所述隔离变压器的第二端与所述电能变换模块的第二端连接。

[0014] 在上述非隔离取能型有载调压变压器的一个技术方案中，所述整流子模块是由电力电子器件组成的H桥整流子模块，所述逆变器模块是由电力电子器件组成的H桥逆变器模块。

[0015] 在上述非隔离取能型有载调压变压器的一个技术方案中，所述整流子模块的电力电子器件是可控型电力电子器件或不可控型电力电子器件。

[0016] 在上述非隔离取能型有载调压变压器的一个技术方案中，所述电能变换模块被进一步配置成执行下列操作对所述无级取能绕组的绕组电压进行电能变换：

[0017] 以所述整流子模块的直流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对所述整流子模块进行双闭环控制，同时以所述逆变器模块的交流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对所述逆变器模块进行双闭环控制，实现对所述无级取能绕组的绕组电压的电能变换。

[0018] 在上述非隔离取能型有载调压变压器的一个技术方案中，所述有载调压变压器的一次侧包括三相有载调压装置并且三相有载调压装置通过三角形连接方式或星形连接方式连接后与电网的供电线路连接。

[0019] 本发明上述一个或多个技术方案，至少具有如下一种或多种有益效果：

[0020] 在实施本发明的技术方案中，非隔离取能型有载调压变压器的一次侧包括至少一相与电网的供电线路连接的有载调压装置；有载调压装置可以包括一次侧绕组、绕组投切模块和电能变换模块，一次侧绕组可以包括共磁芯的主绕组、无级取能绕组和至少一个有级绕组。绕组投切模块可以包括与有级绕组连接的柔性开关，绕组投切模块可以被配置成通过柔性开关控制至少一个有级绕组接入有载调压装置的一次侧绕组或从有载调压装置的一次侧绕组中切除至少一个有级绕组。电能变换模块的第一端与无级取能绕组连接，电能变换模块的第二端与供电线路连接，电能变换模块可以被配置成对无级取能绕组的绕组电压进行电能变换并将电能变换后的绕组电压通过供电线路施加到有载调压装置的一次侧绕组上，以实现对一次侧绕组的绕组电压进行无级调节。

[0021] 柔性开关是由电力电子器件 (Power Electronic Device) 组成的开关，基于电力电子器件能够快速且可靠地对有级绕组进行投切控制 (控制有级绕组接入一次侧绕组或从一次侧绕组中切除有级绕组)，从而克服了现有技术中采用机械开关对绕组进行投切控制时由于响应时间长而无法快速地完成有载调压，以及当机械开关的机械寿命降低后无法保证变压器继续可靠地进行有载调压的缺陷。

[0022] 通过对一个或多个有级绕组进行投切控制，可以实现对一次侧绕组的绕组电压的有级调节，在有载调压变压器的一次侧接入不同数量的有级绕组，改变一次侧绕组的绕组数量就可以实现不同级别的电压调节。例如，将一个有级绕组接入到有载调压变压器的一次侧可以实现第一级别的电压调节，将两个有级绕组接入到有载调压变压器的一次侧可以实现第二级别的电压调节。而通过电能变换模块对无级取能绕组的绕组电压进行电能变

换,可以将无级取能绕组的绕组电压变换成预设变换范围内任意电压幅值和/或任意电压相位的电压,也就是说,电能变换模块的输出电压是一个电压幅值和相位连续可调的电压。在供电线路中电网的电压是固定不变的情况下,通过改变电能变换模块的输出电压就可以改变有载变压器的一次侧绕组的绕组电压,同时由于电能变换模块的输出电压是连续可调的电压,因此这个一次侧绕组的绕组电压也是连续可调的,也就实现了对一次侧绕组的绕组电压的无级调节。

[0023] 参阅附图1,在一个应用场景的例子中, U_{AB} 表示相电网和相电网之间的线电压, U_1 表示有载调压装置中所有接入一次侧绕组的有级绕组形成的绕组电压, U_2 表示有载调压装置中无级取能绕组的绕组电压, U_3 表示电能变换模块的第二端输入至供电线路的电压, U_{3max} 表示这个电压 U_3 的最大值,电压 U_3 的电压幅值的调节范围是0至最大值之间,电压 U_3 的电压相位的调节范围是0至 360° ,即电能变换模块可以将无级取能绕组的绕组电压 U_2 变换成图1中圆圈所示范围(预设变换范围)内任意电压幅值和/或任意电压相位的电压 U_3 。通过有级调节电压 U_1 的幅值,并同时调节电压 U_3 的幅值和相位,可以连续无级调节 U_1+U_2 的电压和幅值。

附图说明

[0024] 参照附图,本发明的公开内容将变得更易理解。本领域技术人员容易理解的是:这些附图仅仅用于说明的目的,而并非意在对本发明的保护范围组成限制。其中:

[0025] 图1是根据本发明的一个实施例的有载调压变压器的无级调压原理示意图;

[0026] 图2是根据本发明的一个实施例的有载调压变压器的拓扑结构示意图;

[0027] 图3是根据本发明的一个实施例的逆变子模块的双闭环控制原理示意图;

[0028] 图4是根据本发明的一个实施例的整流子模块的双闭环控制原理示意图。

[0029] 图5是根据本发明的另一个实施例的有载调压变压器的拓扑结构示意图;

[0030] 图6是根据本发明的又一个实施例的有载调压变压器的拓扑结构示意图。

具体实施方式

[0031] 下面参照附图来描述本发明的一些实施方式。本领域技术人员应当理解的是,这些实施方式仅仅用于解释本发明的技术原理,并非旨在限制本发明的保护范围。

[0032] 参阅附图2,图2是根据本发明的一个实施例的非隔离取能型有载调压变压器的主要结构示意图。如图2所示,非隔离取能型有载调压变压器的一次侧包括至少一相与电网的供电线路连接的有载调压装置,二次侧的绕组与负载连接。有载调压装置可以包括一次侧绕组、绕组投切模块和电能变换模块,一次侧绕组可以包括共磁芯的主绕组、无级取能绕组和至少一个有级绕组。

[0033] 绕组投切模块可以包括与有级绕组连接的柔性开关,绕组投切模块可以被配置成通过柔性开关控制至少一个有级绕组接入有载调压装置的一次侧绕组或从一次侧绕组中切除至少一个有级绕组。通过对一个或多个有级绕组进行投切控制,可以实现对一次侧绕组的绕组电压的有级调节,在有载调压变压器的一次侧接入不同数量的有级绕组,改变一次侧绕组的绕组数量就可以实现不同级别的电压调节。例如,将一个有级绕组接入到有载调压变压器的一次侧可以实现第一级别的电压调节,将两个有级绕组接入到有载调压变

器的一次侧可以实现第二级别的电压调节。

[0034] 柔性开关是由电力电子器件组成的开关,基于电力电子器件能够快速且可靠地对有级绕组进行投切控制,从而克服了现有技术中采用机械开关对绕组进行投切控制时由于响应时间长而无法快速地完成有载调压,以及当机械开关的机械寿命降低后无法保证变压器继续可靠地进行有载调压的缺陷。电力电子器件可以是全控型功率半导体器件,如金属氧化物半导体场效应晶体管(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)、绝缘栅双极型晶体管(Insulated Gate Bipolar Transistor, IGBT)或集成门极换流晶闸管(Integrated Gate Commutated Thyristor, IGCT)或晶闸管(Thyristor)等器件。

[0035] 电能变换模块的第一端与无级取能绕组连接,电能变换模块的第二端与上述供电线路连接,电能变换模块可以被配置成对无级取能绕组的绕组电压进行电能变换并将电能变换后的绕组电压通过供电线路施加到有载调压变压器的一次侧绕组上,以实现一次侧绕组的绕组电压进行无级调节。通过电能变换模块对无级取能绕组的绕组电压进行电能变换,可以将无级取能绕组的绕组电压变换成预设变换范围内任意电压幅值和/或任意电压相位的电压,也就是说,电能变换模块的输出电压是一个电压幅值和相位连续可调的电压。在供电线路中电网的电压是固定不变的情况下,通过改变电能变换模块的输出电压就可以改变有载变压器的一次侧绕组的绕组电压,同时由于电能变换模块的输出电压是连续可调的电压,因此这个一次侧绕组的绕组电压也是连续可调的,也就实现了对一次侧绕组的绕组电压的无级调节。

[0036] 下面分别对绕组投切模块和电能变换模块作进一步说明。

[0037] 1、绕组投切模块

[0038] 在本发明实施例中绕组投切模块的柔性开关至少可以包括N个晶闸管组件且 $N \geq 2$,每个晶闸管组件分别包括两个反向并联的晶闸管(Thyristor),其中,该晶闸管是单向晶闸管。一次侧绕组中的有级绕组依次串联并且首个有级绕组的第一端与主绕组连接,最后一个有级绕组的第二端与无级取能绕组连接。在此基础上,第1至N-1个晶闸管组件的第一端分别与每个有级绕组的第一端连接,第1至N个晶闸管组件的第二端相互连接,第N个晶闸管组件的第一端与最后一个有级绕组的第二端连接。

[0039] 继续参阅附图2,柔性开关包括晶闸管组件1至晶闸管组件N,以晶闸管组件1为例,晶闸管组件1包括反向并联的晶闸管G1和G2,晶闸管组件1的第一端与有级绕组S1的第一端连接,晶闸管组件1的第二端与其他晶闸管组件的第二端连接。其中,晶闸管组件1的第一端指的是晶闸管G1的阳极和晶闸管G2的阴极同时连接的一端,晶闸管组件1的第二端指的是晶闸管G1的阴极和晶闸管G2的阳极同时连接的一端。晶闸管组件2至晶闸管组件N中每个晶闸管组件的连接结构和第一端/第二端的含义均与晶闸管组件1相同,在此不再赘述。

[0040] 在通过柔性开关对有级绕组进行投切控制时,可以通过控制晶闸管组件中晶闸管的导通或关断,将有级绕组接入到有载调压变压器的一次侧绕组或从一次侧绕组中切除。以有级绕组S1为例,如果需要将有级绕组S1接入到有载调压变压器的一次侧绕组中,可以控制晶闸管组件1中的晶闸管G1和G2关断;如果需要将有级绕组S1从一次侧绕组中切除,可以根据经电网的供电线路输入至一次侧绕组的交流电的正负极性控制晶闸管组件1中的晶闸管G1和G2交替导通/关断。

[0041] 2、电能变换模块

[0042] 继续参阅附图2,电能变换模块可以包括整流子模块、逆变子模块和隔离变压器。整流子模块的交流侧与电能变换模块的第一端连接,整流子模块的直流侧与逆变子模块的直流侧连接;逆变子模块的交流侧与隔离变压器的第一端连接,隔离变压器的第二端与电能变换模块的第二端连接。整流子模块可以将无级取能绕组上的交流电转换成直流电,逆变子模块可以将该直流电转换成交流电,进而通过隔离变压器将该交流电输入至电网的供电线路中,进而通过该供电线路再将该交流电输入至有载调压变压器的一次侧绕组中。

[0043] 在本实施例中可以采用电能变换技术领域常规的整流拓扑结构和逆变拓扑结构分别构建整流子模块和逆变子模块。在一个优选实施方式中,可以采用H桥拓扑结构构建整流子模块和逆变子模块,也就是说,整流子模块可以是由电力电子器件组成的H桥整流子模块,逆变子模块可以是由电力电子器件组成的H桥逆变子模块。在本实施例中可以根据实际需求选用不同类型的电力电子器件构建整流子模块,如图2所示,可以采用可控型电力电子器件如IGBT等构建整流子模块,同时如图6所示,也可以采用不可控型电力电子器件如二极管构建整流子模块。

[0044] 在本实施例中电能变换模块可以被配置成通过执行下列操作对无级取能绕组的绕组电压进行电能变换:

[0045] 以整流子模块的直流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对整流子模块进行双闭环控制,同时以逆变子模块的交流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对逆变子模块进行双闭环控制,实现对无级取能绕组的绕组电压的电能变换。

[0046] 参阅附图3,图3示例性示出了逆变子模块的双闭环控制原理。其中, v_{dref} 表示逆变子模块输出电压的d轴电压分量的给定值, v_d 表示逆变子模块输出电压的d轴电压分量的采样值, v_{qref} 表示逆变子模块输出电压的q轴电压分量的给定值, v_q 表示逆变子模块输出电压的q轴电压分量的采样值, i_{dref} 表示逆变子模块输出电流的d轴电流分量的给定值, i_d 表示逆变子模块输出电流的d轴电流分量的采样值, i_{qref} 表示逆变子模块输出电流的q轴电流分量的给定值, i_q 表示逆变子模块输出电流的q轴电流分量的采样值, v_d^* 表示逆变子模块的PWM(Pulse Width Modulation)调制电压(采用脉冲宽度调制PWM方法得到的电压)中d轴电压分量的指令值, v_q^* 表示逆变子模块的PWM调制电压中q轴电压分量的指令值。如图3所示,以逆变子模块的逆变子模块输出电压(交流侧电压)为外环控制量并以电流为内环控制量对逆变子模块进行双闭环控制,可以改变逆变子模块输出电压的电压幅值和相位。

[0047] 参阅附图4,图4示例性示出了整流子模块的双闭环控制原理。其中, V_{dcref} 表示整流子模块的直流侧电压的指令值, V_{dc} 表示整流子模块的直流侧电压的采样值, i_{dref1} 表示整流子模块输出电流中d轴电流分量的给定值, i_{d1} 表示整流子模块输出电流中d轴电流分量的采样值, i_{qref1} 表示整流子模块输出电流中q轴电流分量的给定值, i_{q1} 表示整流子模块输出电流中q轴电流分量的采样值, v_{d1}^* 表示整流子模块的PWM调制电压中d轴电压分量的指令值, v_{q1}^* 表示整流子模块的PWM调制电压中q轴电压分量的指令值。如图4所示,以整流子模块的直流侧电压为外环控制量并以电流为内环控制量对整流子模块进行双闭环控制,可以对整流子模块的直流侧电压进行稳定控制,而该直流侧电压也是逆变子模块的输入电压,在输入电压稳定的情况下可以使逆变子模块的输出电压保持稳定,从而提高电能变换模块进行电能变换的稳定性。

[0048] 进一步,在根据本发明的另一个非隔离取能型有载调压变压器的实施例中,非隔离取能型有载调压变压器的一次侧可以包括三相有载调压装置并且三相有载调压装置通过三角形连接方式或星形连接方式连接后与电网的供电线路连接,而有载调压装置的拓扑结构与前述非隔离取能型有载调压变压器的实施例中有载调压装置的拓扑结构相同,在此不再赘述。如图5和图6所示,一个实施方式中三相有载调压装置采用三角形连接方式连接,而图5和图6所示有载调压变压器的主要区别是,图5所示有载调压装置中整流子模块的电力电子器件是可控型电力电子器件如IGBT,图6所示有载调压装置中整流子模块的电力电子器件是不可控型电力电子器件如二极管。

[0049] 至此,已经结合附图所示的优选实施方式描述了本发明的技术方案,但是,本领域技术人员容易理解的是,本发明的保护范围显然不局限于这些具体实施方式。在不偏离本发明的原理的前提下,本领域技术人员可以对相关技术特征作出等同的更改或替换,这些更改或替换之后的技术方案都将落入本发明的保护范围之内。

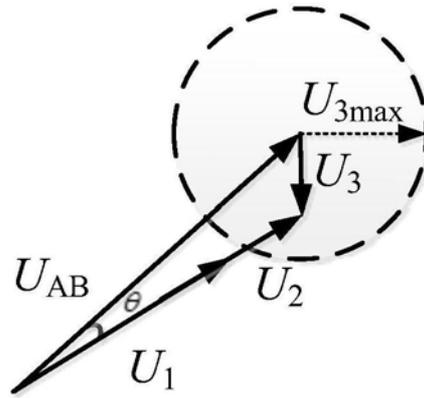


图1

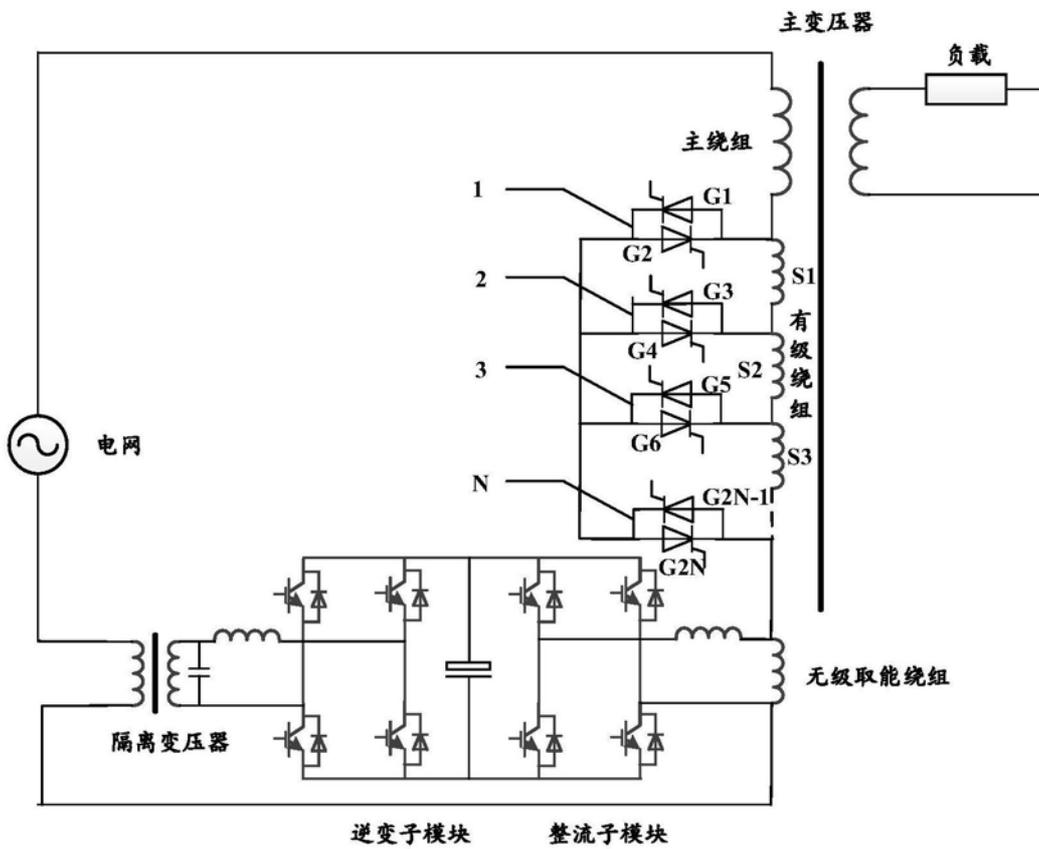


图2

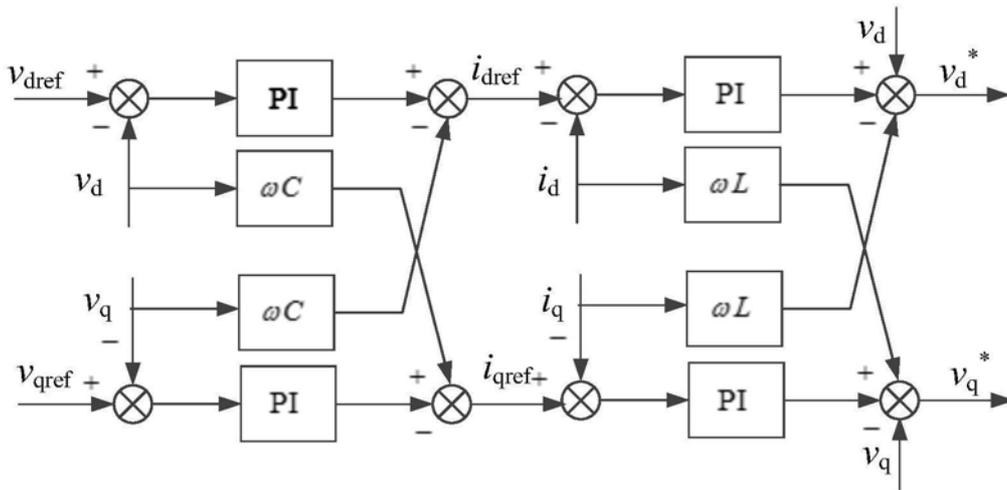


图3

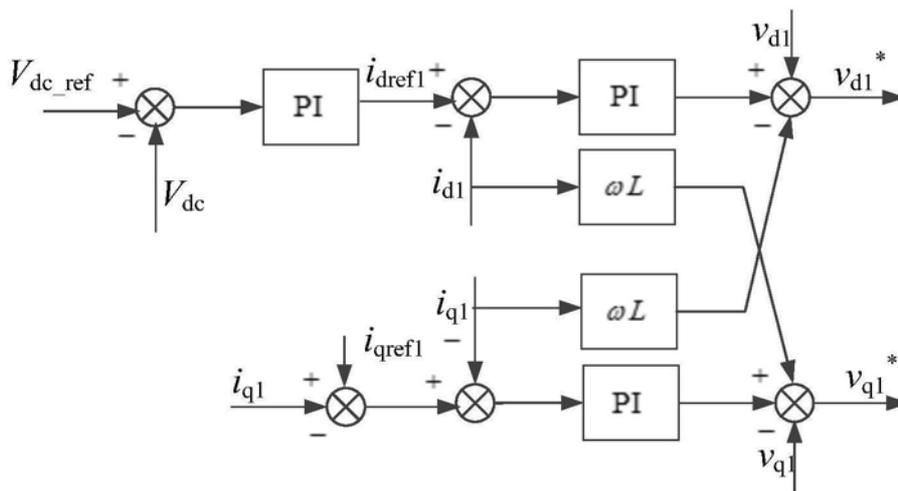


图4

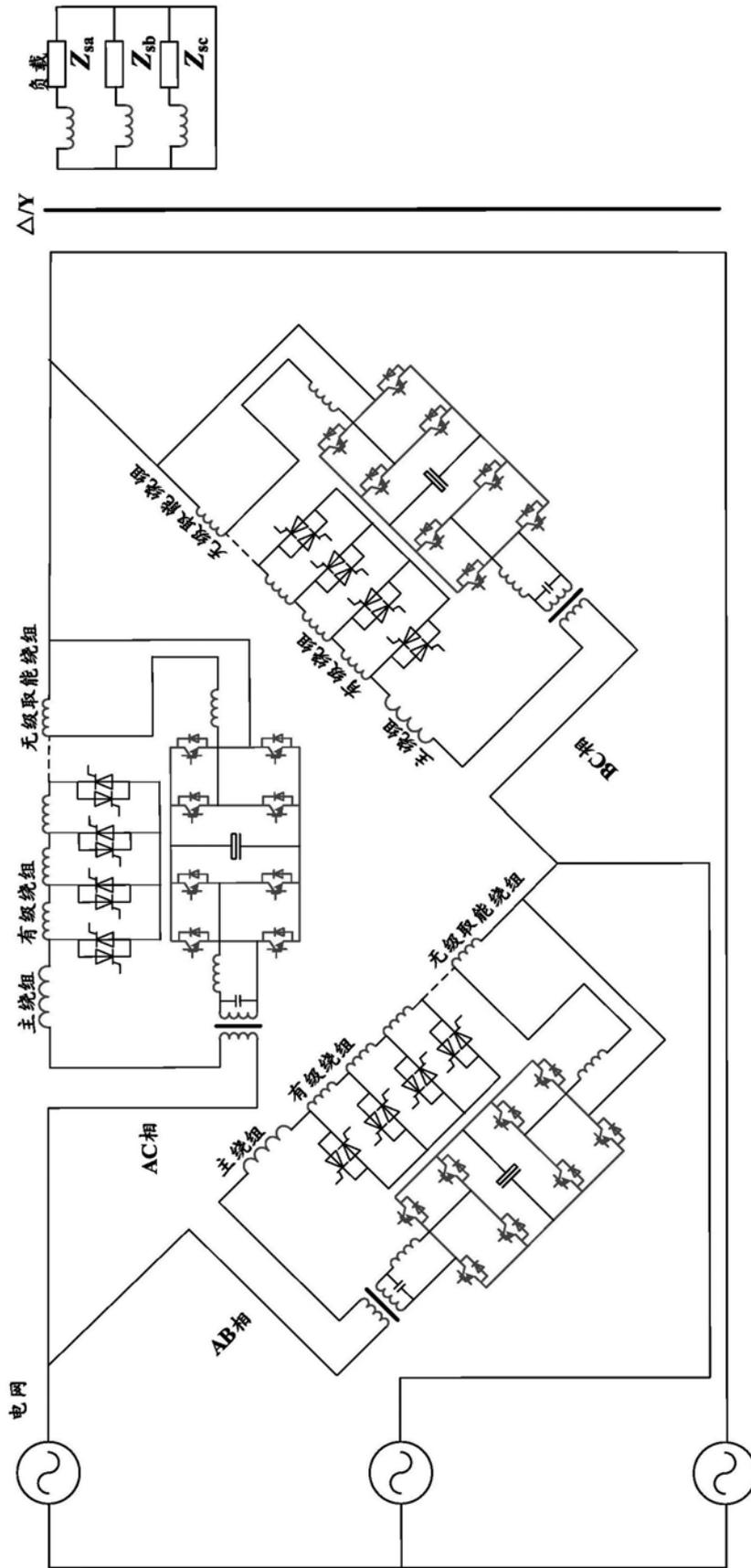


图5

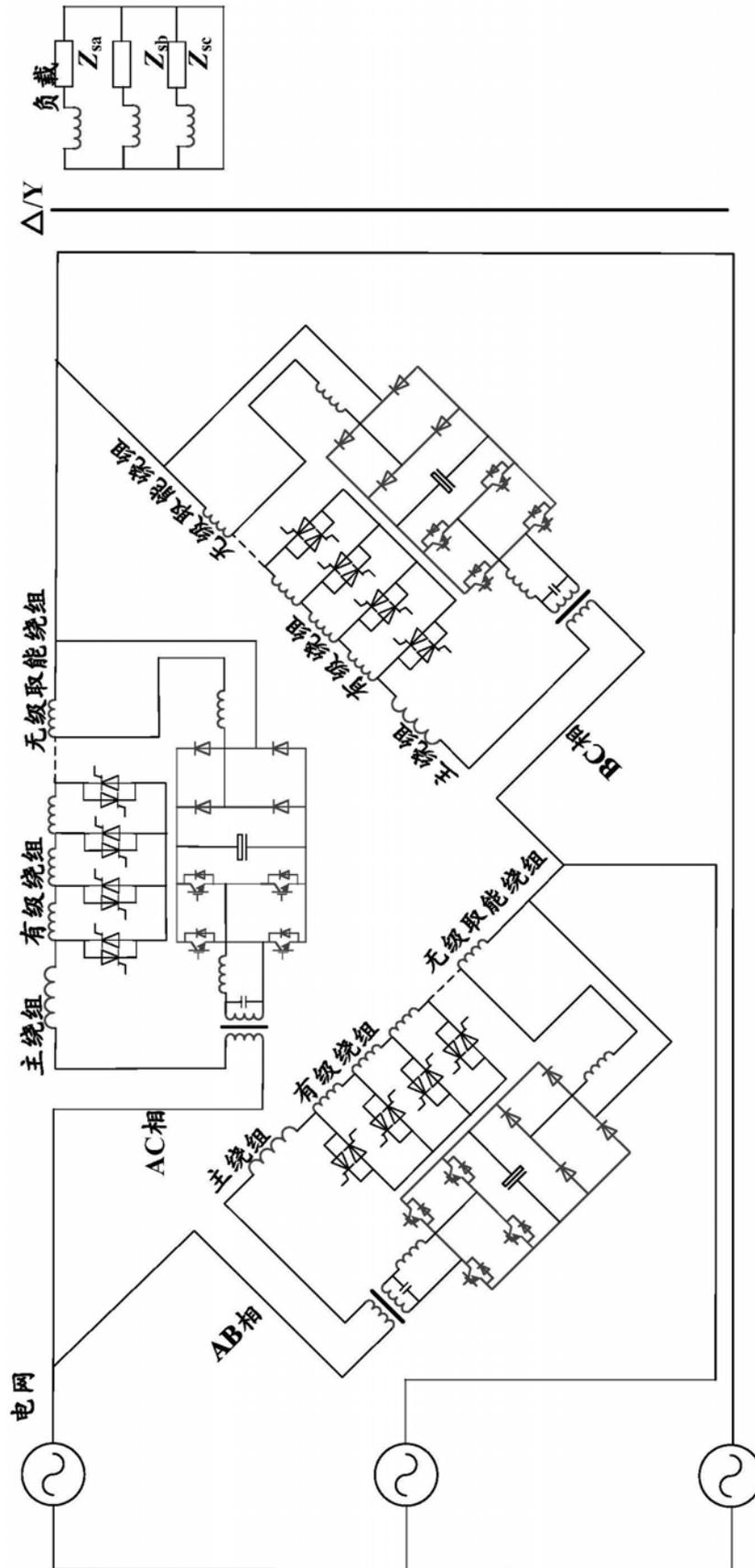


图6