



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117063383 A

(43) 申请公布日 2023. 11. 14

(21) 申请号 202280024624.X

(22) 申请日 2022.03.30

(30) 优先权数据

21166436.2 2021.03.31 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2023.09.25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2022/058504 2022.03.30

(87) PCT国际申请的公布数据

W02022/207761 EN 2022.10.06

(71) 申请人 日立能源瑞士股份公司

地址 瑞士巴登

(72) 发明人 P·巴卡斯 R·阿尔维斯

J·斯文森

(74) 专利代理机构 北京市汉坤律师事务所

11602

专利代理师 王其文 张涛

(51) Int.Cl.

H02M 5/22 (2006.01)

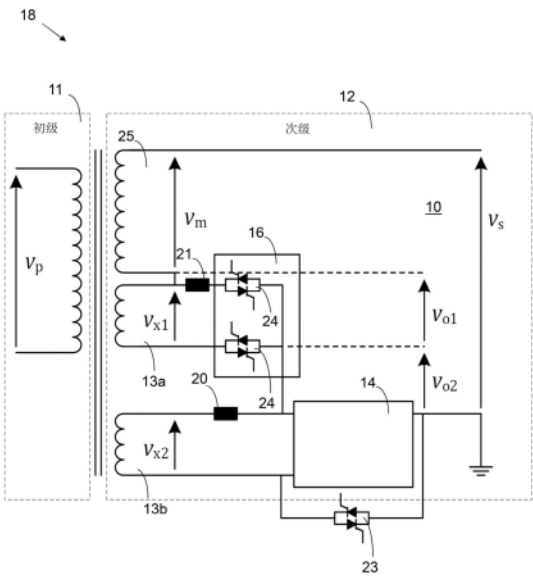
权利要求书2页 说明书8页 附图14页

(54) 发明名称

变压器装置

(57) 摘要

一种变压器装置(18),包括变压器(10),该变压器具有用于从源接收输入电压和电流的初级侧(11)以及用于向负载提供输出电压和电流的次级侧(12)。变压器装置(18)还包括连接到晶闸管(23)的AC-AC PE转换器(14),该晶闸管用于在初级侧(11)和/或次级侧(12)的端子的短路故障的情况下绕过AC-AC PE转换器(14)。变压器装置(18)还包括连接到晶闸管分接绕组(13a)的基于晶闸管的AC-AC PE转换器(16)。AC-AC PE转换器(14)经由基于晶闸管的AC-AC PE转换器(16)与晶闸管分接绕组(13a)连接。基于晶闸管的AC-AC PE转换器(16)连接到阻抗(21),以保护晶闸管分接绕组(13a)免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器(16)的短路故障的影响。



1. 一种变压器装置 (18), 包括:

变压器 (10), 所述变压器 (10) 具有用于从源接收输入电压和电流的初级侧 (11) 以及用于向负载提供输出电压和电流的次级侧 (12);

AC-AC 电力电子 PE 转换器 (14), 所述 AC-AC 电力电子 PE 转换器 (14) 连接到晶闸管 (23), 所述晶闸管 (23) 用于在所述初级侧 (11) 和/或所述次级侧 (12) 的端子中的短路故障的情况下绕过所述 AC-AC PE 转换器 (14);

其中,

所述变压器装置 (18) 还包括连接到晶闸管分接绕组 (13a) 的基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16), 并且其中, 所述 AC-AC PE 转换器 (14) 经由所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 与所述晶闸管分接绕组 (13a) 连接, 并且其中, 所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 连接到阻抗 (21), 以保护所述晶闸管分接绕组 (13a) 免受所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 的短路故障的影响。

2. 根据权利要求 1 所述的变压器装置 (18), 其中, 所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 包括一个或多个并联连接和/或串联连接的晶闸管 (24)。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的变压器装置 (18), 其中, 所述 AC-AC PE 转换器 (14) 与所述晶闸管分接绕组 (13a) 串联连接。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述 AC-AC PE 转换器 (14) 连接到辅助绕组 (13b)。

5. 根据权利要求 4 的变压器装置 (18), 其中, 所述 AC-AC PE 转换器 (14) 连接到阻抗 (20), 以保护所述辅助绕组 (13b) 免受所述 AC-AC PE 转换器 (14) 的短路故障的影响。

6. 根据权利要求 4 所述的变压器装置 (18), 其中, 所述辅助绕组 (13b) 被分接。

7. 根据权利要求 4 所述的变压器装置 (18), 其中, 所述辅助绕组 (13b) 是分离的。

8. 根据权利要求 4 至 7 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述变压器装置 (18) 还包括变压器箱, 并且其中, 所述 AC-AC PE 转换器 (14)、所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 和所述阻抗 (20, 21) 安装在所述变压器箱的内部。

9. 根据权利要求 4 至 7 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述变压器装置 (18) 还包括变压器箱和分离的容器, 其中, 所述阻抗 (20, 21) 安装在所述变压器箱的内部, 并且其中, 所述 AC-AC PE 转换器 (14) 和所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 安装在所述分离的容器中。

10. 根据权利要求 4 至 7 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述变压器装置 (18) 还包括分离的容器, 其中, 所述阻抗 (20, 21)、所述 AC-AC PE 转换器 (14) 和所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 安装在所述分离的容器中。

11. 根据权利要求 1 至 10 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述阻抗 (21) 是连接在所述晶闸管分接绕组 (13a) 的顶部端子或底部端子处的单个阻抗。

12. 根据权利要求 1 至 10 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述阻抗 (21) 被分成两个部分, 所述两个部分中的每一个连接到所述晶闸管分接绕组 (13a) 的顶部端子和底部端子。

13. 根据权利要求 1 至 10 中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, 所述阻抗 (21) 是耦合阻抗, 其中, 所述耦合阻抗与沿着所述基于晶闸管的 AC-AC PE 转换器 (16) 的短路故障的路

径的高阻抗相关联并且与用于所述晶闸管 (24) 之间的换向的低阻抗相关联。

14. 根据权利要求2至13中任一项所述的变压器装置 (18), 其中, RC缓冲器网络并联连接到每个晶闸管 (24), 其中, 所述RC缓冲器网络 (S) 包括串联和/或并联连接的电阻器和电容器。

15. 根据权利要求14所述的变压器装置 (18), 其中, 另外的RC缓冲器网络 (Sx) 是并联连接到所述晶闸管 (24) 的用于全部晶闸管 (24) 的公共缓冲器网络, 其中, 所述RC缓冲器网络 (Sx) 包括串联和/或并联连接的电阻器和电容器、或者电容器。

变压器装置

技术领域

[0001] 本文中的实施例涉及变压器领域。特别地,本文中的实施例涉及电力电子增强型变压器(Power-Electronics-Enhanced-Transformer, PEET)。

背景技术

[0002] 变压器是在电力网络的电网中使用的装备。变压器转换电压和电流,以便传输和分配电能。电力电子(Power Electronic, PE)转换器使用电力电子部件(诸如绝缘栅双极晶体管(IGBT))来控制 and 转换电力。PE转换器不产生电力,而是变换/转换电力,即将来自源的电力(例如一种频率的交流电(Alternating Current, AC))转换成负载所需的电力的形式(例如另一种频率的AC或直流电(DC))。

[0003] 已经提出了基于PE转换器的不同拓扑来代替常规电压调节变压器(VRT)的机械有载分接开关(On-Load-Tap-Changer, OLTC)。在图1中描绘了采用机械OLTC以用于为变压器增加电压调节功能的常规解决方案的简化单相表示。PE转换器可以用于实现如常规解决方案中的电压调节功能,也可以用于实现常规解决方案不能实现的附加功能,例如电力流控制和相位不平衡缓解。因此,将PE转换器与变压器组合的电路称为PEET。因此,PEET是利用电力电子设备为变压器增加功能(诸如电压调节、电力流控制、相位不平衡缓解等)的电路。

[0004] US20100201338 A1、US2010220499 A1和US20160195891 A1描述了将AC-AC PE转换器与变压器组合的电路。这些电路主要旨在实现电压调节(步进式或无级式)和/或电力流控制,并采用被额定为变压器的电力和电压的一部分的AC-AC PE转换器。AC-AC PE转换器可以具有两种主要类型:

[0005] 1. 间接AC-AC PE转换器,其包括通过具有能量存储元件(例如电容器、电池或电容器+电池)的DC链路互连的两个DC-AC转换器;或者

[0006] 2. 直接AC-AC转换器,其包括四象限开关,该四象限开关阻断两个极性的电压并在两个方向上传导电流,并且不采用具有能量存储元件的DC链路。

[0007] 此外,AC-AC PE转换器可以以三种不同的方式连接到变压器:

[0008] 1. 连接到分接辅助绕组的PE转换器;

[0009] 2. 连接到分离辅助绕组的PE转换器;或者

[0010] 3. 与两个绕组中的一个绕组串联连接的PE转换器。

[0011] 与如图1中示出的常规VRT相比,以上描述的现有技术中提出的电路具有许多优点。这些优点中的一些是快速和无级电压调节、能够减轻电压闪变、以及能够实现附加功能(诸如电力流控制、谐波滤波、无功电力补偿和相位不平衡减轻)。然而,通常由IGBT构成的PE转换器相比于机械OLTC其特征在于更高的成本和显著更高的损耗。

发明内容

[0012] 本文中的实施例的目的是降低现有技术中提出的PE转换器的成本和损耗。

[0013] 根据一方面,该目的通过提供一种变压器装置来实现。该变压器装置包括变压器,

该变压器具有用于从源接收输入电压和电流的初级侧以及用于向负载提供输出电压和电流的次级侧。变压器装置还包括连接到晶闸管的AC-AC PE转换器,该晶闸管用于在初级侧和/或次级侧的端子中的短路故障的情况下绕过AC-AC PE转换器。变压器装置还包括连接到晶闸管分接绕组的基于晶闸管的AC-AC PE转换器。AC-AC PE转换器经由基于晶闸管的AC-AC PE转换器与晶闸管分接绕组连接。基于晶闸管的AC-AC PE转换器连接到阻抗,以保护晶闸管分接绕组免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器的短路故障的影响。

[0014] 根据一些实施例,基于晶闸管的AC-AC PE转换器包括一个或多个并联连接和/或串联连接的晶闸管。

[0015] 当前的解决方案基于这样的认识:AC-AC PE转换器的一部分可以由基于晶闸管的AC-AC转换器代替,因为与IGBT和具有关断功能的其他器件相比,晶闸管更便宜且更高效。因此,实现了降低AC-AC PE转换器的成本和损耗的变压器装置。

附图说明

[0016] 通过参考附图给出的一个或若干个示例性实施例的以下描述,本发明的另外的技术特征将变得显而易见,在附图中:

[0017] 图1是描绘了采用机械OLTC来实现电压调节功能的常规电压调节变压器的示意性概述图;

[0018] 图2a是示出根据本文中的实施例的具有分接辅助绕组的变压器装置的示意性概述图;

[0019] 图2b是描绘根据本文中的实施例的具有分离辅助绕组的变压器装置的示意性概述图;

[0020] 图2c是描绘根据本文中的实施例的具有与晶闸管分接绕组串联连接的AC-AC PE转换器的变压器装置的示意性概述图;

[0021] 图3a是描述相对于地浮置的AC-AC PE转换器的示例的示意性概述图;

[0022] 图3b是描述相对于地浮置的AC-AC PE转换器的另一示例的示意性概述图;

[0023] 图3c是描述相对于地浮置的AC-AC PE转换器的另一示例的示意性概述图;

[0024] 图4a是描绘基于晶闸管的AC-AC PE转换器的开关状态的示例的示意性概述图;

[0025] 图4b是描绘基于晶闸管的AC-AC PE转换器的开关状态的另一示例的示意性概述图;

[0026] 图5是示出晶闸管的换向的示意性概述图;

[0027] 图6a是示出利用晶闸管分接绕组的单个阻抗的实施方式的示意性概述图;

[0028] 图6b是示出利用晶闸管分接绕组的两个阻抗的实施方式的示意性概述图;

[0029] 图6c是示出利用晶闸管分接绕组的耦合阻抗的实施方式的示意性概述图;

[0030] 图7a是示出了缓冲器网络的变型的示意性概述图;

[0031] 图7b是示出了缓冲器网络的另一变型的示意性概述图;以及

[0032] 图8是三相Y-Y连接的示意性概述图。

[0033] 应当注意,附图不一定是按比例绘制的,并且为了清楚起见,某些元件的尺寸可能被夸大。

具体实施方式

[0034] 如上所述,本文中的实施例旨在利用基于晶闸管的AC-AC转换器替换AC-AC PE转换器的一部分。与IGBT和具有关断功能的其他器件相比,晶闸管更便宜并且更高效。因此,根据本文中的实施例的解决方案的目的是降低现有技术中提出的PE转换器的成本和损耗。

[0035] 图2a示意性地示出了根据本文中的实施例的变压器装置18。变压器装置18包括变压器10。变压器10具有用于从源接收输入电压和电流的初级侧11以及用于向负载提供输出电压和电流的次级侧12。变压器装置18还包括连接到晶闸管23的AC-AC PE转换器14。晶闸管用于在初级侧11和/或次级侧12的端子中的短路故障的情况下绕过AC-AC PE转换器14。变压器装置18还包括连接到晶闸管分接绕组13a的基于晶闸管的AC-AC PE转换器16。AC-AC PE转换器14经由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16利用晶闸管分接绕组13a进行扩充,即与其连接。晶闸管分接绕组13a可以例如串联连接在AC-AC PE转换器14的输入(左手侧端子)处。基于晶闸管的AC-AC PE转换器16连接到阻抗21,以保护晶闸管分接绕组13a免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障的影响。阻抗21也可以连接到晶闸管分接绕组13a。根据一些实施例,阻抗21可以是连接在晶闸管分接绕组13a的顶部端子或底部端子处的单个阻抗。根据一些实施例,阻抗21可以分成两个部分,该两个部分中的每一个连接到晶闸管分接绕组13a的顶部端子和底部端子。根据一些实施例,阻抗21可以是耦合阻抗,其中该耦合阻抗与沿着基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障路径的高阻抗相关联,并且与用于晶闸管24之间的换向的低阻抗相关联。连接到基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的阻抗21将在下面参考图6a至图6c进一步详细描述。

[0036] 根据一些实施例,基于晶闸管的AC-AC PE转换器16包括一个或多个并联连接和/或串联连接的晶闸管24。

[0037] 根据一些实施例,AC-AC PE转换器14连接到辅助绕组13b。如图2a所示,可以分接辅助绕组13b。辅助绕组13b被分接意味着它串联连接到次级主绕组25,并且根据晶闸管开关状态,还串联连接到晶闸管分接绕组13a。因此,流过分接辅助绕组的电流具有与次级主绕组和晶闸管分接绕组的电流相同的大小。

[0038] 根据一些实施例,AC-AC PE转换器14连接到阻抗20,以保护辅助绕组13b免受AC-AC PE转换器14的短路故障的影响。阻抗20也可以连接到辅助绕组13b。连接到AC-AC PE转换器14的阻抗20和连接到基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的阻抗21不一定需要具有相同的阻抗值。

[0039] 图2b示意性地示出了根据本文中的实施例的变压器装置18。变压器装置18包括变压器10。变压器10具有用于从源接收输入电压和电流的初级侧11以及用于向负载提供输出电压和电流的次级侧12。变压器装置18还包括连接到晶闸管23的AC-AC PE转换器14。晶闸管用于在初级侧11和/或次级侧12的端子中的短路故障的情况下绕过AC-AC PE转换器14。变压器装置18还包括连接到晶闸管分接绕组13a的基于晶闸管的AC-AC PE转换器16。AC-AC PE转换器14经由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16利用晶闸管分接绕组13a进行扩充,即与其连接。晶闸管分接绕组13a可以例如串联连接在AC-AC PE转换器的输出(右手侧端子)处。基于晶闸管的AC-AC PE转换器16连接到阻抗21,以保护晶闸管分接绕组13a免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障的影响。阻抗21也可以连接到晶闸管分接绕组13a。根据一些实施例,阻抗21可以是连接在晶闸管分接绕组13a的顶部端子或底部端子处的单个阻

抗。根据一些实施例,阻抗21可以分成两个部分,该两个部分中的每一个连接到晶闸管分接绕组13a的顶部端子和底部端子。根据一些实施例,阻抗21可以是耦合阻抗,其中该耦合阻抗与沿着基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障路径的高阻抗相关联,并且与用于晶闸管24之间的换向的低阻抗相关联。连接到基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的阻抗21将在下面参考图6a至图6c进一步详细描述。

[0040] 根据一些实施例,基于晶闸管的AC-AC PE转换器16包括一个或多个并联连接和/或串联连接的晶闸管24。

[0041] 根据一些实施例,AC-AC PE转换器14连接到辅助绕组13b。如图2b所示,辅助绕组13b可以是分离的。辅助绕组13b是分离的意味着它不直接连接到次级主绕组25或直接连接到晶闸管分接绕组13a,而是通过AC-AC PE转换器14。因此,辅助绕组13b的电流不需要具有与主绕组25和晶闸管分接绕组13a的电流相同的大小。这意味着分离辅助绕组13b的设计比晶闸管分接辅助绕组13a的设计更灵活。

[0042] 根据一些实施例,AC-AC PE转换器14连接到阻抗20,以保护辅助绕组13b免受AC-AC PE转换器14的短路故障的影响。阻抗20也可以连接到辅助绕组13b。连接到AC-AC PE转换器14的阻抗20和连接到基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的阻抗21不一定需要具有相同的阻抗值。

[0043] 图2c示意性地示出了根据本文中的一些实施例的变压器装置18。变压器装置18包括变压器10。变压器10具有用于从源接收输入电压和电流的初级侧11以及用于向负载提供输出电压和电流的次级侧12。变压器装置18还包括连接到晶闸管23的AC-AC电力电子(PE)转换器14。晶闸管用于在初级侧11和/或次级侧12的端子中的短路故障的情况下绕过AC-AC PE转换器14。变压器装置18还包括连接到晶闸管分接绕组13a的基于晶闸管的AC-AC PE转换器16。AC-AC PE转换器14经由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16利用晶闸管分接绕组13a进行扩充,即与其连接。AC-AC PE转换器14可以与晶闸管分接绕组13a串联连接。在一些实施例中,AC-AC PE转换器14串联连接到主绕组25,并且不连接到晶闸管分接绕组13a或任何辅助绕组。基于晶闸管的AC-AC PE转换器16连接到阻抗21,以保护晶闸管分接绕组13a免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障的影响。基于晶闸管的AC-AC PE转换器16可以包括一个或多个并联连接和/或串联连接的晶闸管24。

[0044] 因此,图2a、图2b和图2c示出了利用一个或多个基于晶闸管的AC-AC PE转换器16扩充的电路。对于基于晶闸管的AC-AC PE转换器16,瞬时输出电压由下式给出:

[0045] a) $v_s = v_m + v_{o1} + v_{o2}$,

[0046] 其中 v_m 是主绕组25的瞬时电压, v_{o1} 是由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16生成的瞬时电压,以及 v_{o2} 是由AC-AC PE转换器14生成的瞬时电压。 v_s 的调节通过控制 v_{o1} 和 v_{o2} 来实现。对于US20100201338 A1、US2010220499 A1和US20160195891 A1中示出的现有技术电路,瞬时输出电压 v_s 由下式给出

[0047] b) $v_s = v_m + v_o$,

[0048] 其中 v_m 是主绕组25的瞬时电压,以及 v_o 是由PE转换器生成的瞬时电压。 v_s 的调节通过控制 v_o 来实现。

[0049] 从上述a)和b)中显而易见的是,对于某个调节范围 $\pm \Delta V$,以下情况适用:

[0050] -生成 v_o 的现有技术的PE转换器必须被额定为提供全调节范围 $\pm \Delta V$;

[0051] -生成 v_{o2} 的图2a、图2b和图2c的AC-AC PE转换器14必须被额定为提供调节范围 $\pm \Delta V$ 的一部分,因为基于晶闸管的AC-AC PE转换器16通过生成 v_{o1} 对电压调节有贡献。然而,AC-AC PE转换器14和基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的额定电压应该足以提供完整的调节范围 $\pm \Delta V$ 。

[0052] 就电流额定而言,基于晶闸管的AC-AC PE转换器16可以被额定为与晶闸管23相同的电流。以这样的方式,基于晶闸管的AC-AC PE转换器16不需要针对次级侧12和/或初级侧11中的短路的额外的过电流保护,并且与被额定为标称电流的晶闸管相比,晶闸管损耗更低。

[0053] 根据一些实施例,AC-AC PE转换器14连接到地或连接为靠近地。这在图2a、图2b和图2c中示出,其中AC-AC PE转换器14连接为靠近地,以便最小化所需的绝缘电压。然而,根据一些实施例,可能的是使AC-AC PE转换器14相对于地浮置,这在图3a、图3b和图3c中示出。

[0054] 根据一些实施例,AC-AC PE转换器14可以基于IGBT。AC-AC PE转换器14也可以利用其他半导体开关来实现,例如金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、集成门极换向晶闸管(IGCT)或双模式绝缘栅晶体管(BIGT)。而且,基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的每个晶闸管开关可以利用反并联连接的两个分离的相控晶闸管(Phase-Controlled Thyristor,PCT)来实施,或者利用单个双向控制晶闸管(Bidirectionally Controlled Thyristor,BCT)来实施。与利用反并联PCT进行的实施方式相比,利用单个BCT实施的基于晶闸管的AC-AC PE转换器16将两个晶闸管集成在单个封装件中,并且简化了机械设计。

[0055] 基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的工作原理非常相似,并且将针对图2a的电路进行解释。图2a的基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的开关状态在图4a和图4b中示出,并且简要描述如下:

[0056] -开关状态U,在图4a中示出:基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的上晶闸管24导通。因此,晶闸管分接绕组13a被绕过,并且由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16生成的电压 v_{o1} 处于其调节范围的最小值。AC-AC PE转换器14增加或减少电压 v_{o2} 。

[0057] -开关状态L,在图4b中示出:基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的下晶闸管24导通。因此,晶闸管分接绕组13a被插入,并且由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16生成的电压 v_{o1} 处于其调节范围的最大值。AC-AC PE转换器14增加或减少电压 v_{o2} 。

[0058] 换句话说,基于晶闸管的AC-AC PE转换器16提供混合电压调节,其将由基于晶闸管的AC-AC PE转换器16进行的粗略电压调节和由AC-AC PE转换器14进行的精细电压调节组合。粗略电压调节应该比精细电压调节使用得更少,该精细电压调节符合晶闸管24的通常针对传导而不是快速和频繁的开关操作进行优化的特性。

[0059] AC-AC PE转换器14和基于晶闸管的AC-AC PE转换器16可以被额定为提供调节范围 $\pm \Delta V$ 的任何比例。然而,基于图4a和图4b中示出的工作原理,以及基于先前描述的a) $v_s = v_m + v_{o1} + v_{o2}$ 和b) $v_s = v_m + v_o$,可以得出以下观察:

[0060] -如果AC-AC PE转换器14相比于基于晶闸管的AC-AC PE转换器16被额定为提供 $\pm \Delta V$ 的更小部分,则电压调节将不是无级的。这是因为开关状态U的最大电压 $v_{o1} + v_{o2}$ (其等于最大电压 v_{o2} (v_{o1} 等于晶闸管24和阻抗21的电压降,其被假定为接近于零))低于开关状态U的最小电压 $v_{o1} + v_{o2}$ (其等于最大电压 v_{o1} 加上最小电压 v_{o2})。

[0061] -如果AC-AC PE转换器14相比于基于晶闸管的AC-AC PE转换器16被额定为提供 $\pm \Delta V$ 的更大部分,则电压调节将是无级的,但是AC-AC PE转换器14的成本不会被最小化。

[0062] 基于以上提及的观察,如果每种类型的转换器被额定为提供 $\pm \Delta V$ 的一半,则可以利用最小的PE转换器成本实现无级电压调节。以这样的方式,可以通过采用以下方式来实现电压调节:

[0063] -调节 $-\Delta V$ 至0:基于晶闸管的AC-AC PE转换器16处于开关状态U,并且AC-AC PE转换器14在其 $\Delta V/2$ 的全范围内调节。注意,开关状态U对应于基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的 $-\Delta V/2$ 的电压调节。

[0064] -调节0至 ΔV :基于晶闸管的AC-AC PE转换器16处于开关状态L,并且AC-AC PE转换器14在其 $\pm \Delta V/2$ 的全范围内调节。注意,开关状态L对应于基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的 $+\Delta V/2$ 的电压调节。

[0065] 晶闸管24的换向可以基于图5中示出的原理。晶闸管24在图5中被示出为24a和24b。为了在上晶闸管24a和下晶闸管24b之间进行电流换向,可以对以粗体示出的晶闸管24a施加脉冲,而不应向晶闸管24b发送栅极脉冲。需要被触发的晶闸管取决于电流方向,并且成功的换向取决于换向电压(vcom)的极性和栅极脉冲的时刻。

[0066] 图5示出了对于不同的电流方向需要被施加脉冲的晶闸管24a中的情况。更具体地说,上晶闸管开关和下晶闸管开关之间的电流换向应该通过对晶闸管24a施加脉冲来执行,而不应该向晶闸管24b发送栅极脉冲。通过触发晶闸管24a,电流可以从一个晶闸管转移到另一个晶闸管(取决于换向电压vcom的极性),而不会导致短路电流在晶闸管分接绕组13a的端子之间流动,因为该电流被两个晶闸管24a中的一个阻断。电流换向可以按以下方式进行:

[0067] -对于从上晶闸管开关到下晶闸管开关的换向:换向电压vcom应该具有分别反向偏置上晶闸管和正向偏置下晶闸管的极性。

[0068] -对于从下晶闸管开关到上晶闸管开关的换向:换向电压vcom应该具有分别反向偏置下晶闸管和正向偏置上晶闸管的极性。

[0069] 如果换向电压vcom的极性不合适,则可以允许短期短路(例如在几毫秒的范围内),因为阻抗21(例如短路限制电抗)的尺寸被确定为用于保护晶闸管分接绕组13a免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障的影响。

[0070] 基于晶闸管的AC-AC PE转换器16和对应的晶闸管分接绕组13a的保护是基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的重要特征。图6a、图6b和图6c示出了引入阻抗21(例如短路限制电抗)的不同方式,该阻抗被采用用于各种目的,即:1)保护晶闸管分接绕组13a免受基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障的影响,以及2)限制正被导通的晶闸管的电流变化率(di/dt)。典型地,阻抗21(例如用于限制晶闸管的di/dt的电抗)相对较小,因此,短路限制电抗的大小由晶闸管分接绕组13a的短路耐受能力来限定。该阻抗21可以作为单个单元被引入在基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的电路中、连接在晶闸管分接绕组13a的顶部端子或底部端子处,如图6a所示。替代性地,阻抗21可以分成两个部分,该两个部分中的每一个连接到晶闸管分接绕组13a的顶部端子和底部端子,使得基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的电路是对称的,如图6b所示。最后,可以采用特殊类型的耦合阻抗21,如图6c所示。耦合阻抗可以以其满足以下要求的方式进行设计:

[0071] -当电流从晶闸管分接绕组13a的顶部端子流到底部端子时,耦合绕组的通量增加,反之亦然。因此,对于该电流方向,耦合阻抗21的电感将是较高的,这发生在基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的短路故障期间。

[0072] -当电流从晶闸管分接绕组13a的顶部端子和底部端子流到晶闸管的公共端子时,耦合绕组的通量被减去,反之亦然。因此,对于该电流方向,耦合阻抗21的电感将是较低的,这发生在上晶闸管开关和下晶闸管开关之间的电流的换向期间。

[0073] 而且,为了实施基于晶闸管的AC-AC PE转换器16,可能需要附加的无源部件来保护晶闸管24在关断之后免受高电压变化率(dv/dt)的影响。图7a和图7b示出了将限制关断的晶闸管的 dv/dt 的缓冲器网络的两种变型。更具体地:

[0074] -图7a仅示出了专用于每个晶闸管24(例如晶闸管开关)的RC缓冲器网络(由符号S表示的分支)。也就是说,RC缓冲器可以并联连接到每个晶闸管24。

[0075] 图7b示出了公共电容器(C)或RC网络(由符号 S_x 表示的分支)与并联连接到每个晶闸管24的RC缓冲器(由符号S表示的分支)的组合。

[0076] 因此,根据一些实施例,RC缓冲器网络S可以并联连接到每个晶闸管24,其中RC缓冲器网络S包括串联和/或并联连接的电阻器和电容器。并且,根据一些实施例,另外的RC缓冲器网络 S_x 是并联连接到晶闸管24的用于全部晶闸管24的公共缓冲器网络,其中RC缓冲器网络 S_x 包括串联和/或并联连接的电阻器和电容器、或者电容器。 S_x 可以被定义为用于两个晶闸管的公共缓冲器,并且可以并联连接到两个晶闸管(即晶闸管桥),而不是分离地连接到每个晶闸管。每个电阻器和电容器可以由多个较小电阻器和电容器的串联和并联连接构成,也就是说,电阻器可以是单个电阻器或串联和/或并联的几个较小电阻器,电容器可以是单个电容器或串联和/或并联的几个较小电容器。

[0077] 图7a和图7b的变型之间的主要区别在于,对于前者,晶闸管24的 dv/dt 限制直接限定了S分支的电容,但是对于后者限定了 S_x 和S分支的有效电容。因此,图7b的变型允许在设计S分支方面的一定的自由度,例如,不超过 dv/dt 限制所需的较大电容可以安装在公共 S_x 分支中,而较小的电容可以安装在S分支中。 S_x 分支可以以以下方式实施:

[0078] -单个电容器;

[0079] -并联连接的电容器;

[0080] -串联连接的电容器;

[0081] -串并联连接的电容器的矩阵;

[0082] -与串联到每个单个电容器或串联到电容器的任何组合(串联、并联或串联和并联)的电阻器或电阻器的矩阵相组合的以上全部。所引入的(多个)电阻器对于衰减电路的(多个)电容器和电感元件之间的谐振是有用的。

[0083] S分支可以如上文最后一点中提及的那样实施。最后,图7a或图7b中未示出的特殊电涌放电器(例如变阻器)可以并联连接到S和 S_x 分支,以便保护这些分支和晶闸管24免受过电压瞬变的影响。

[0084] 图2a至图2c和图3a至图3c示出了基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的单相电路。然而,图2a至图2c和图3a至图3c的基于晶闸管的AC-AC PE转换器16可以在次级侧12中以三相星形(Y)或三角形(D)配置来连接,而初级侧11可以以Y或D配置来连接。因此,初级-次级的可能的三相配置可以是Y-Y、D-Y、Y-D、三角形-Y、D-D。图8示出了三相Y-Y连接的示例。

[0085] 因此,就变压器10与AC-AC PE转换器14和基于晶闸管的AC-AC PE转换器16的集成而言,以下选项因此是可能的:

[0086] 完全集成:根据一些实施例,变压器装置18可以进一步包括变压器箱,并且其中AC-AC PE转换器14、基于晶闸管的AC-AC PE转换器16和阻抗20、21安装在变压器箱的内部。

[0087] 部分集成:根据一些实施例,变压器装置18还包括变压器箱和分离的容器,其中阻抗20、21安装在变压器箱的内部,并且其中AC-AC PE转换器14和基于晶闸管的AC-AC PE转换器16安装在分离的容器中。

[0088] 非联接:根据一些实施例,变压器装置18还包括分离的容器,其中阻抗20、21、AC-AC PE转换器14和基于晶闸管的AC-AC PE转换器16安装在分离的容器中。

[0089] 本文中的实施例提供了以下益处和优点:

[0090] -通过无级调节,利用常规OLTC代替步进式调节。

[0091] -与常规VRT相比,通过减少分接头的数量,简化了变压器设计要求。

[0092] -由于减少的绕组和分接头的数量并且由于不太复杂的机械设计,能够降低变压器的制造成本。

[0093] -能够将功能扩展到变压器(例如,闪变缓解、谐波补偿);

[0094] -由于晶闸管的非常低的损耗,与现有技术相比,PE转换器的损耗更低。

[0095] -由于晶闸管的更低成本,与现有技术相比,PE转换器的成本更低。

[0096] 应当注意的是,在适当的情况下,这些方面中的任一个方面的任何特征可以应用于任何其他方面。同样地,这些方面中的任一个方面的任何优点可以应用于其他方面中的任一个方面。

[0097] 一般而言,权利要求中使用的所有术语将根据它们和技术领域中的普通含义来解释,除非本文中另有明确定义。除非另有明确说明,否则对“一/一个/该元件、设备、部件、装置、步骤等”的全部引用应被开放地解释为指该元件、设备、部件、装置、步骤等的至少一个实例。除非明确说明,否则本文公开的任何方法的步骤不必以所公开的确切顺序来执行。对本公开的不同特征/部件使用“第一”、“第二”等仅旨在将这些特征/部件与其他类似的特征/部件区分开,而不是赋予这些特征/部件任何顺序或等级。

[0098] 应当理解的是,前面的描述和附图代表本文教导的方法和绕组布置的非限制性示例。由此,本文教导的绕组布置和技术不受前述描述和附图限制。相反,本文中的实施例仅由所附权利要求及其合法等效物来限制。

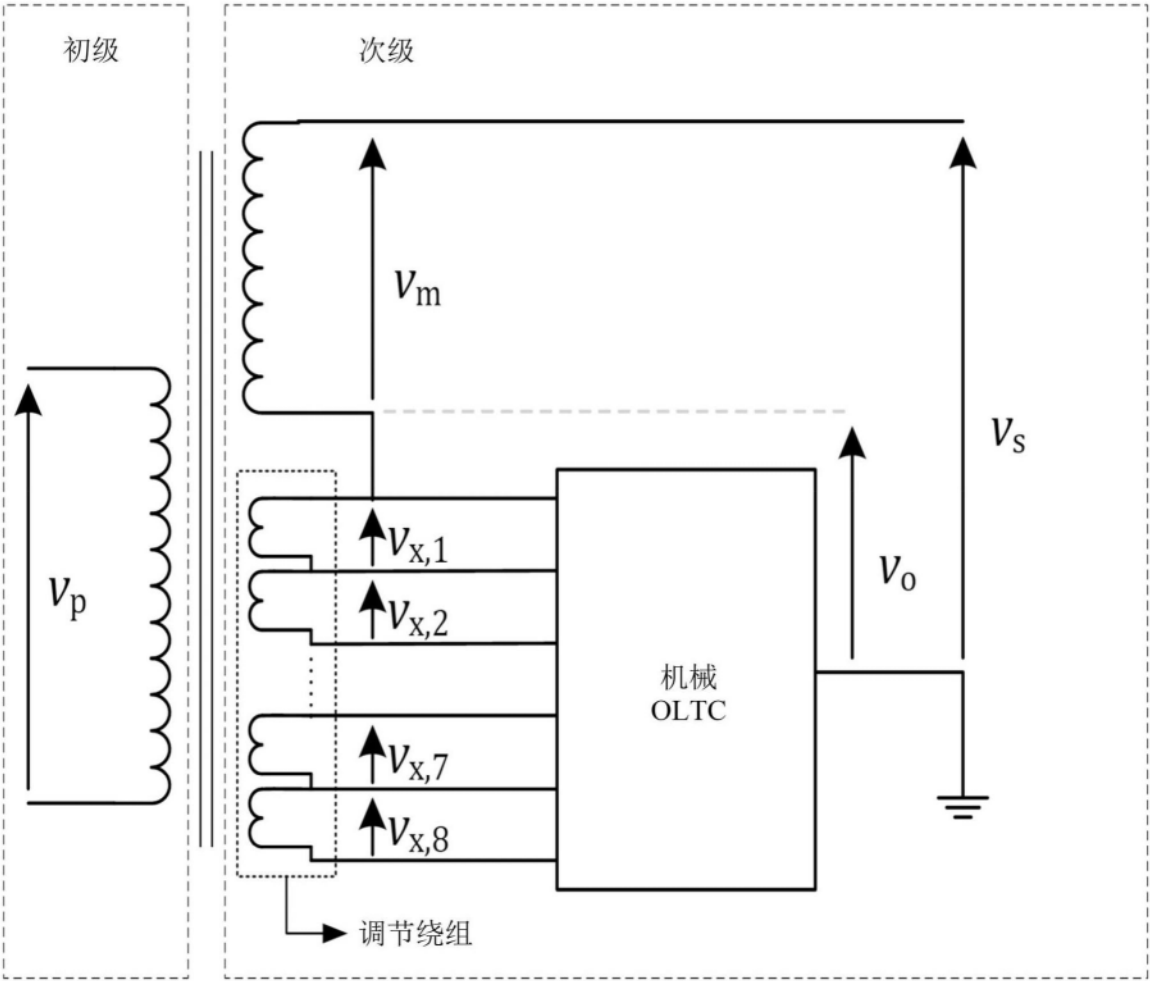


图1

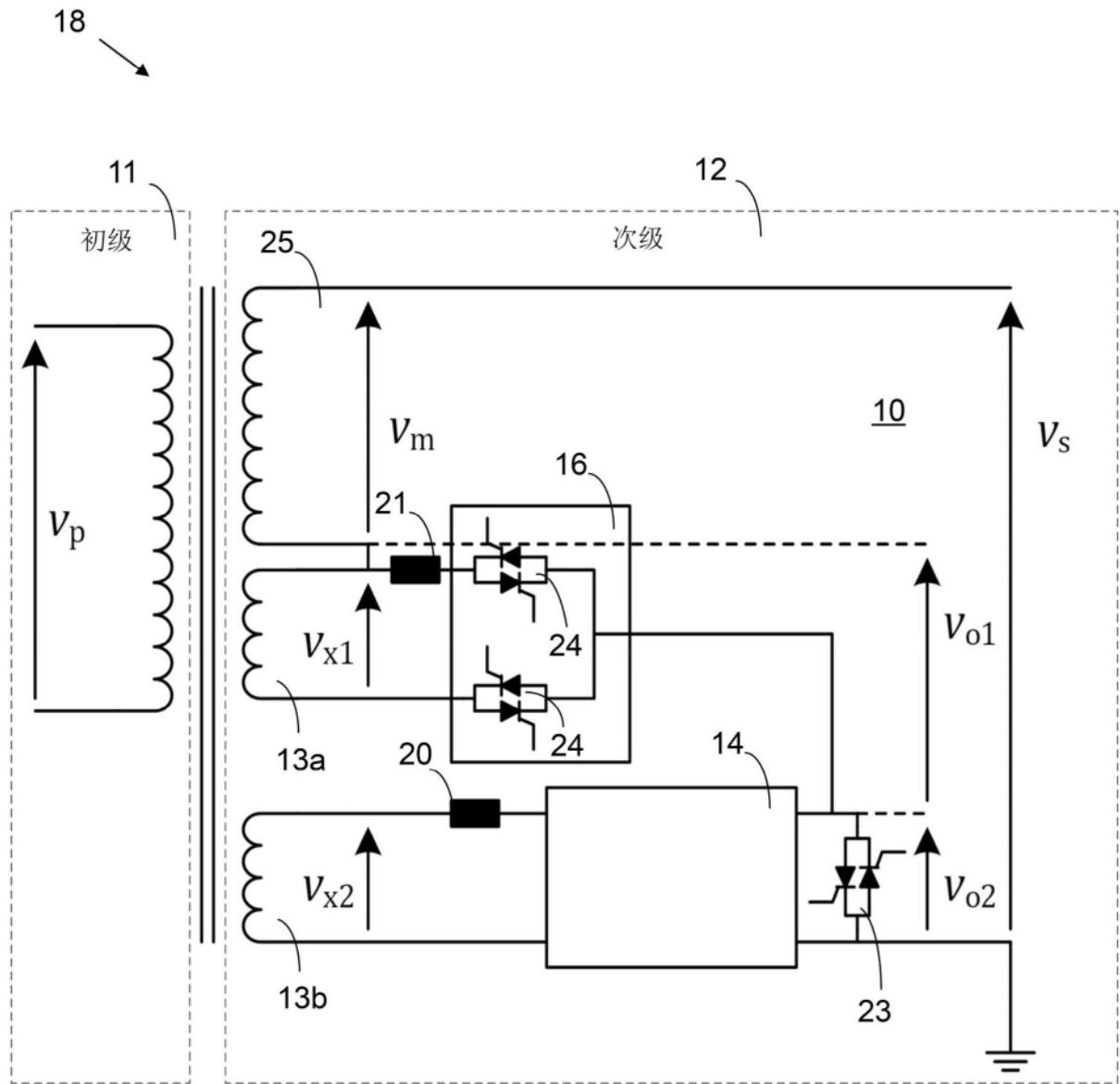


图2b

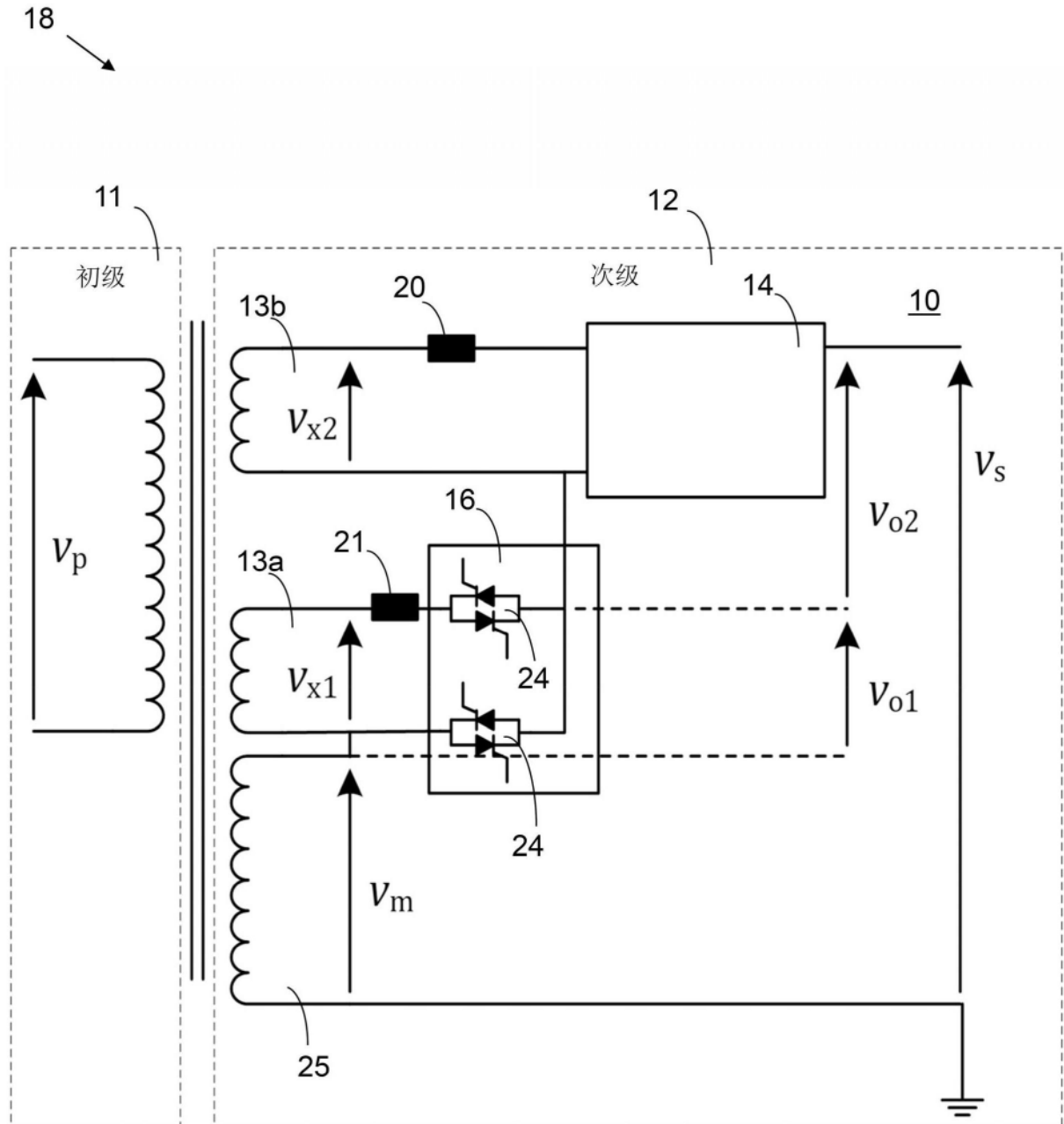


图3a

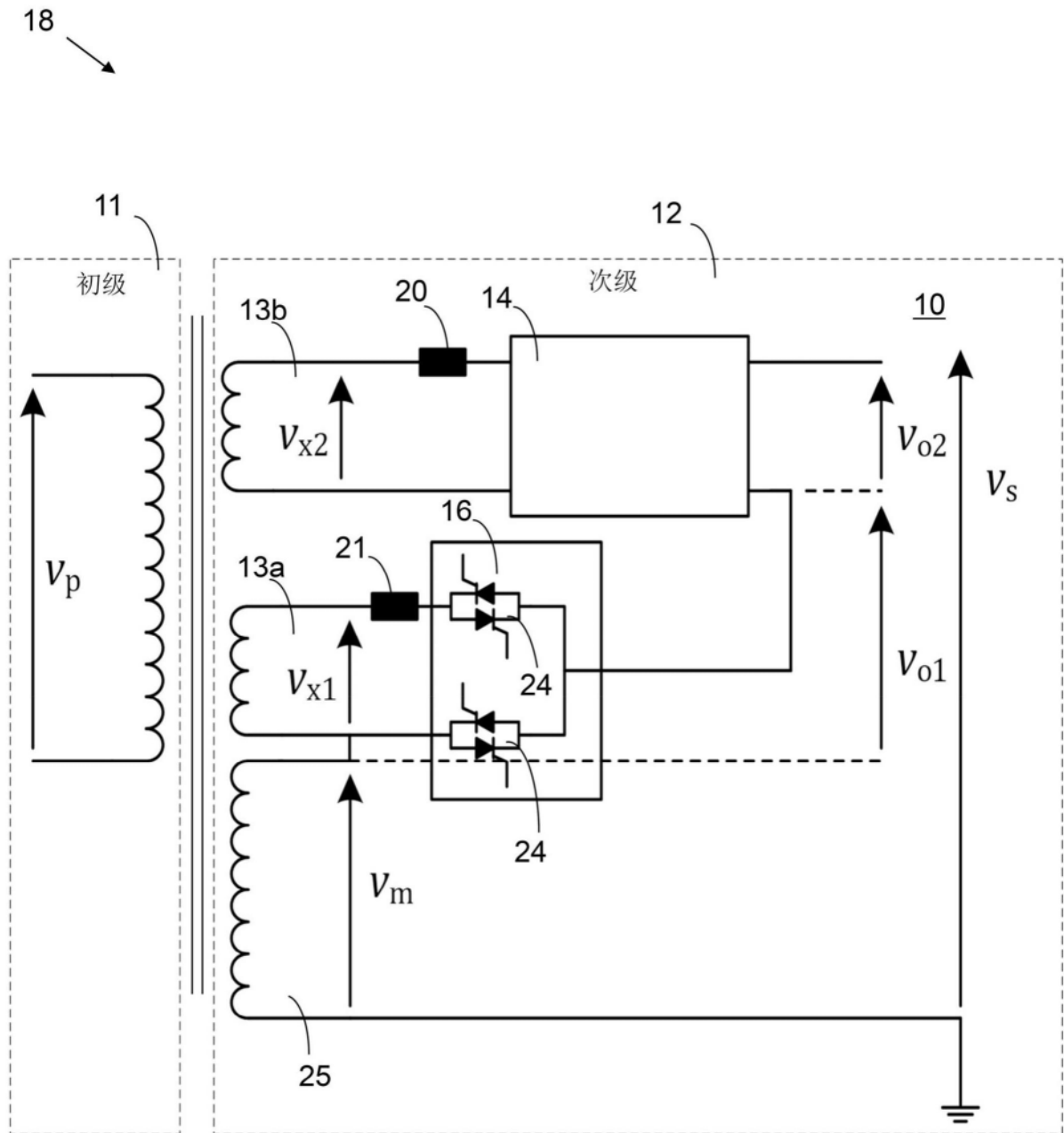


图3b

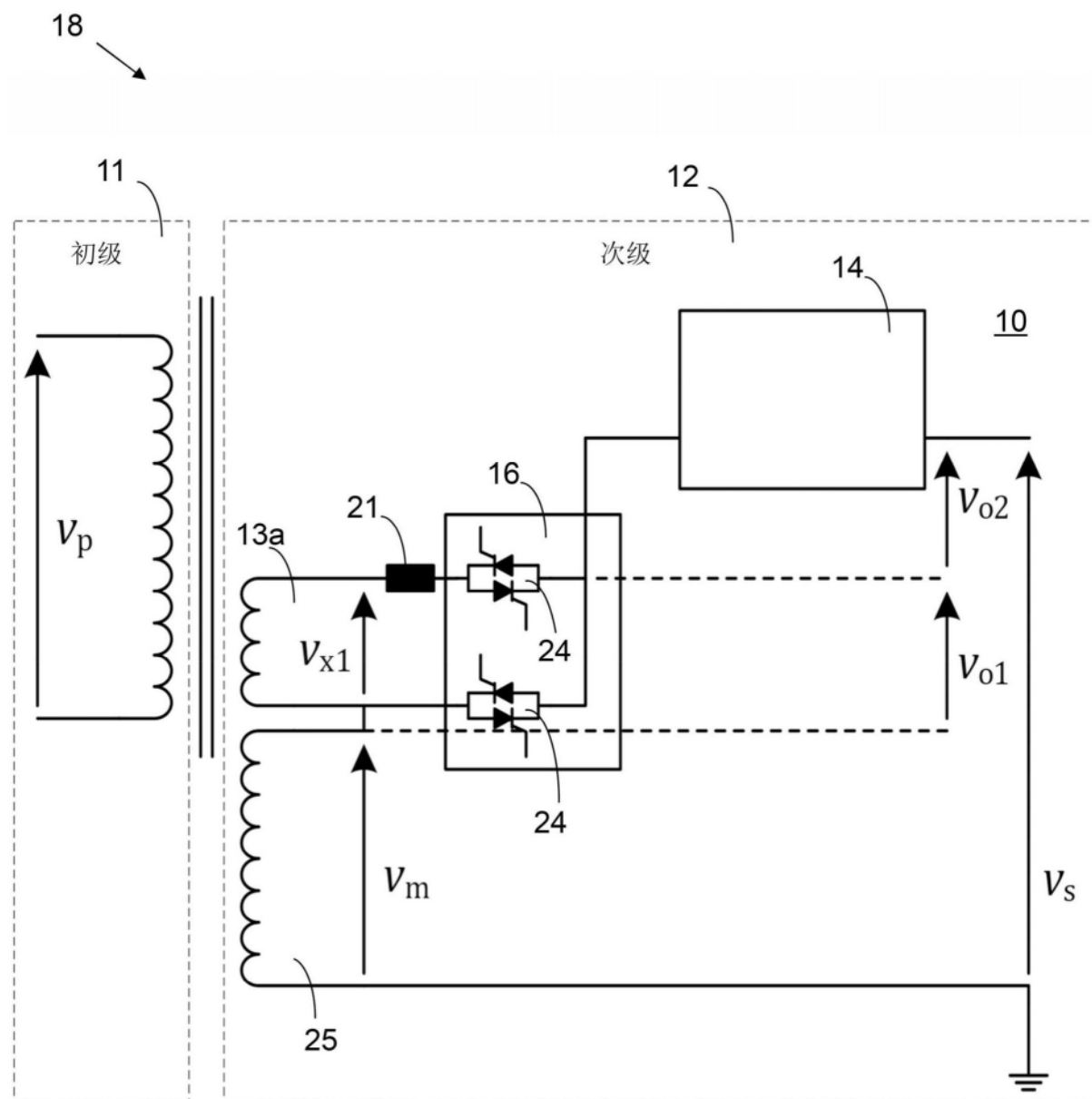


图3c

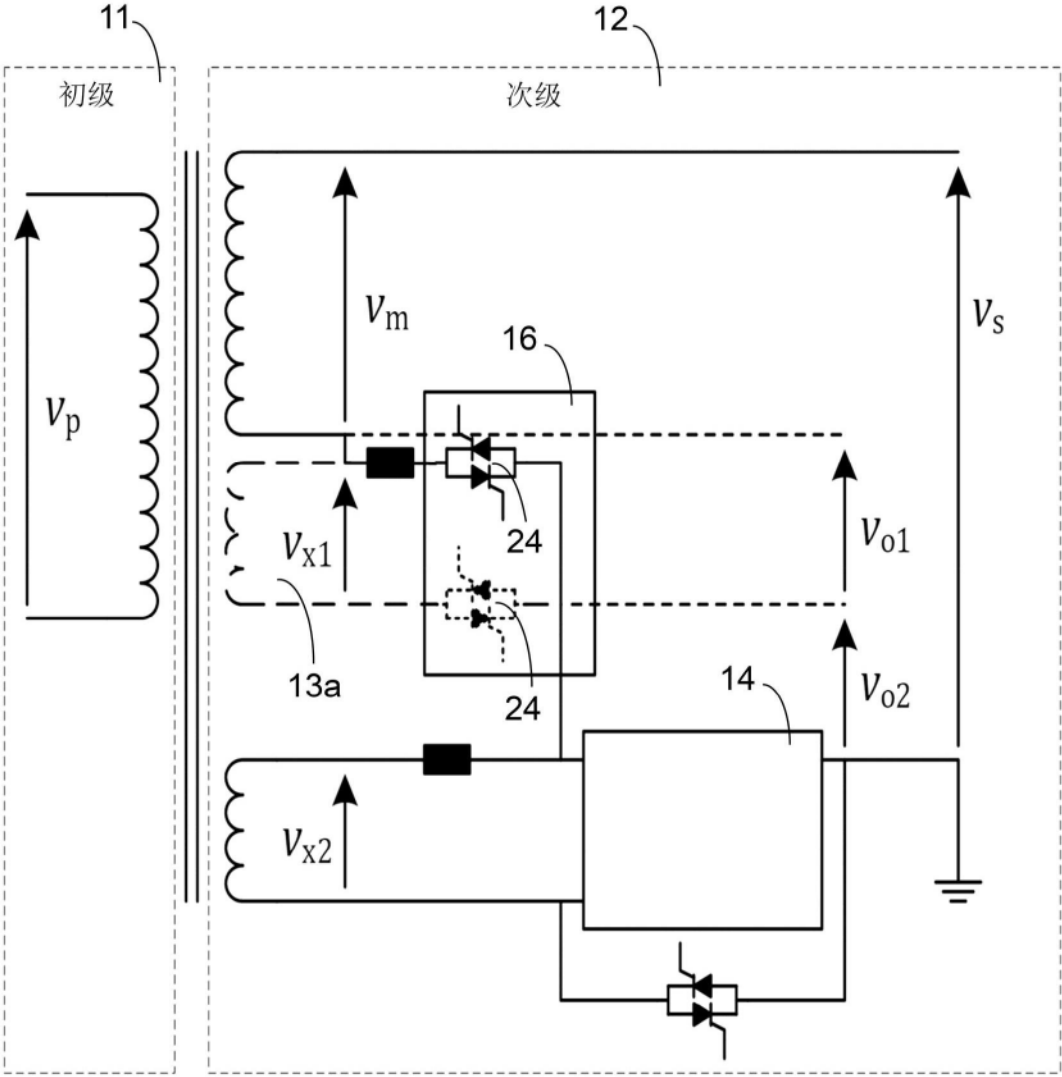


图4a

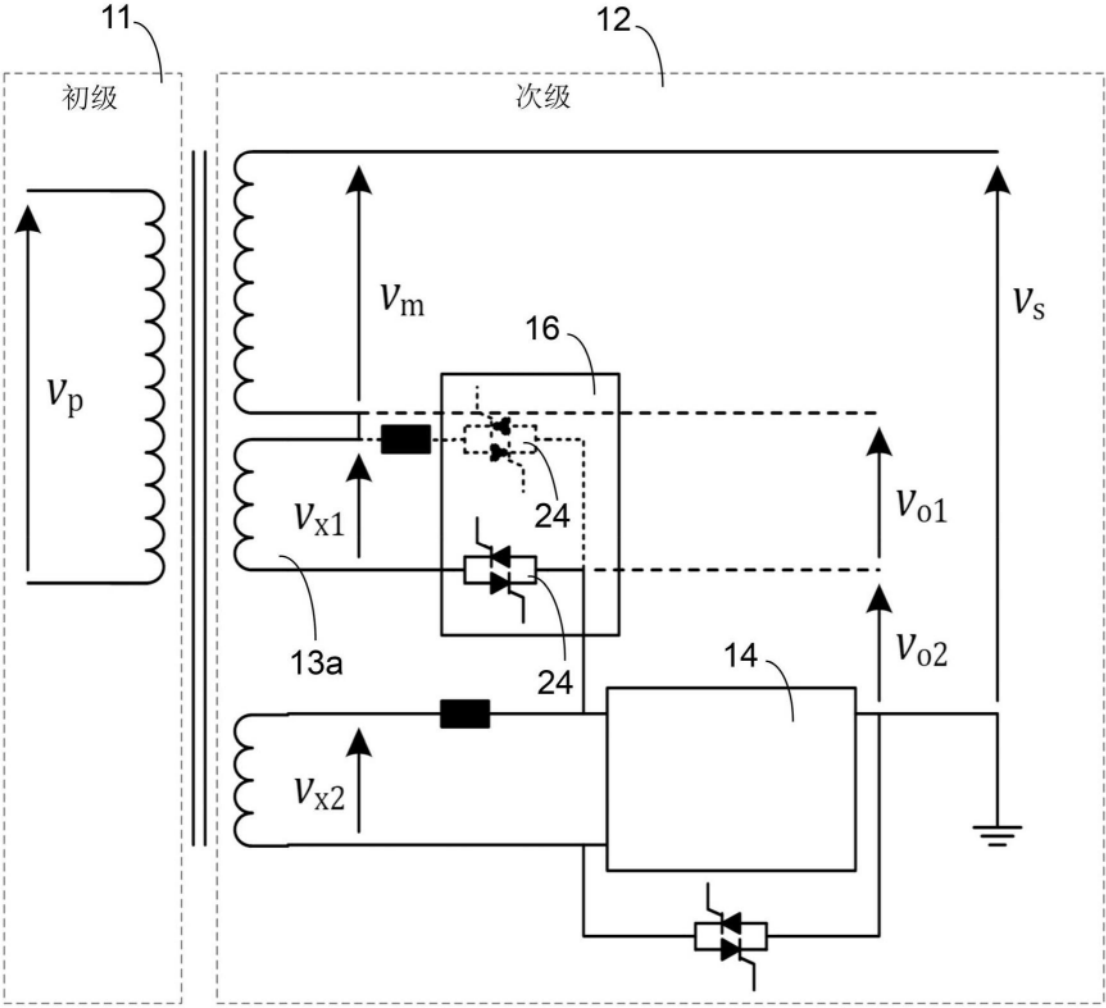


图4b

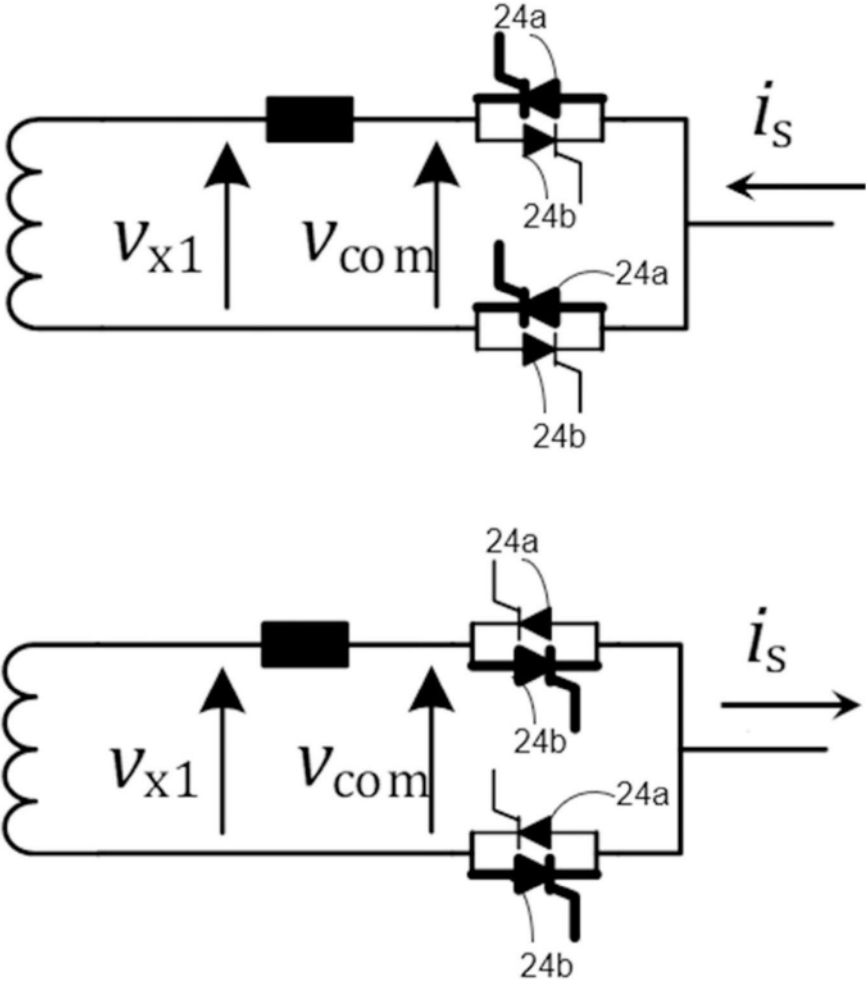


图5

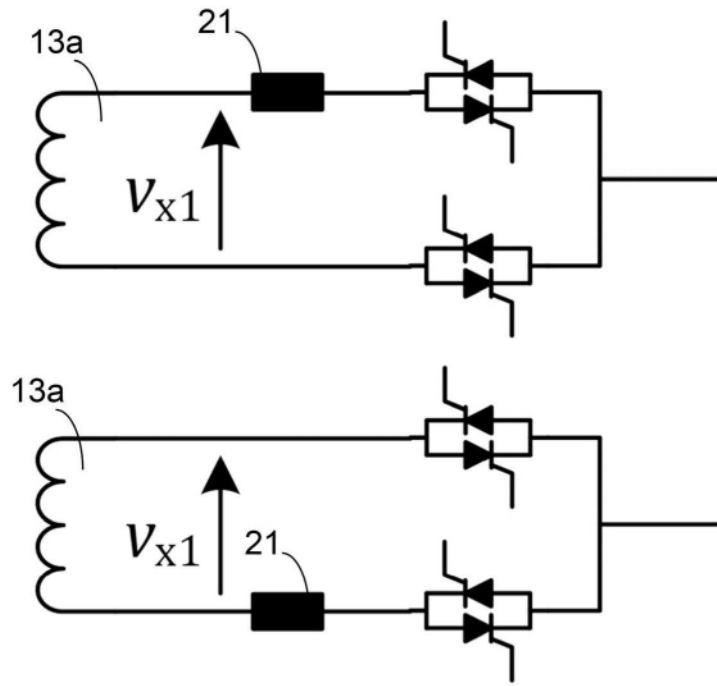


图6a

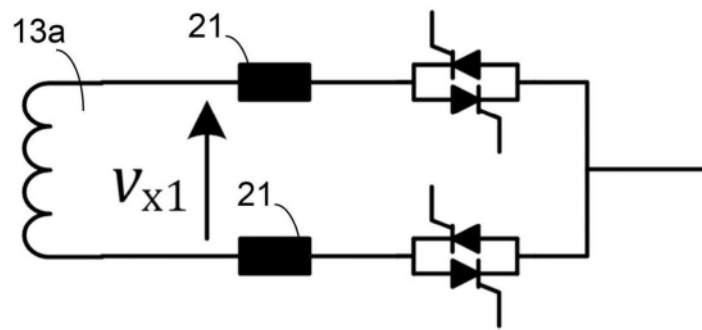


图6b

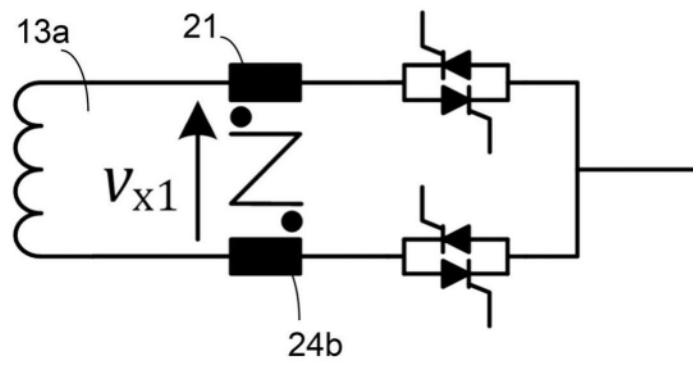


图6c

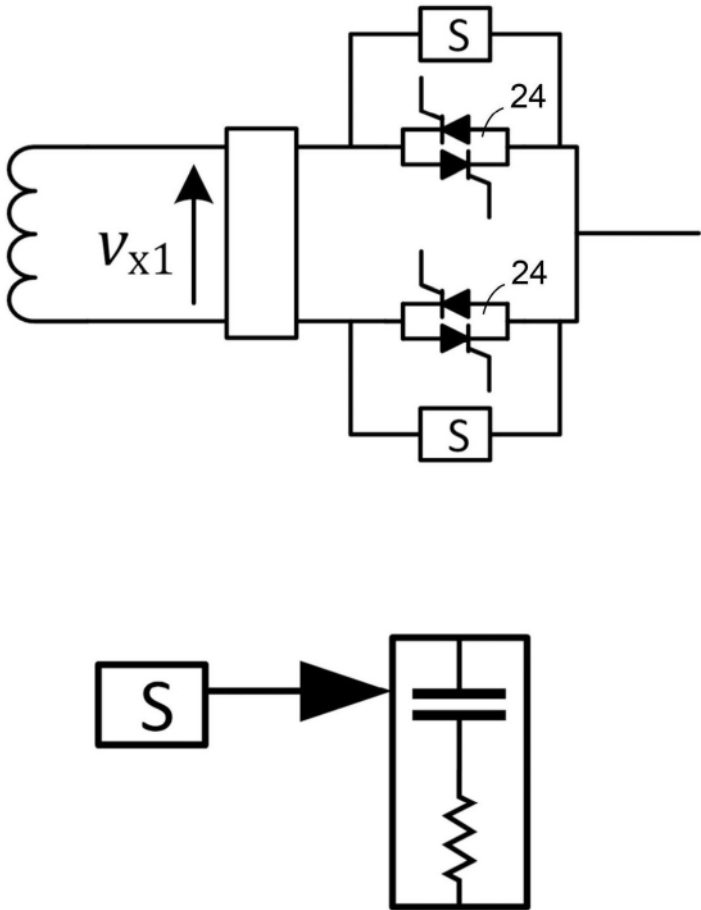


图7a

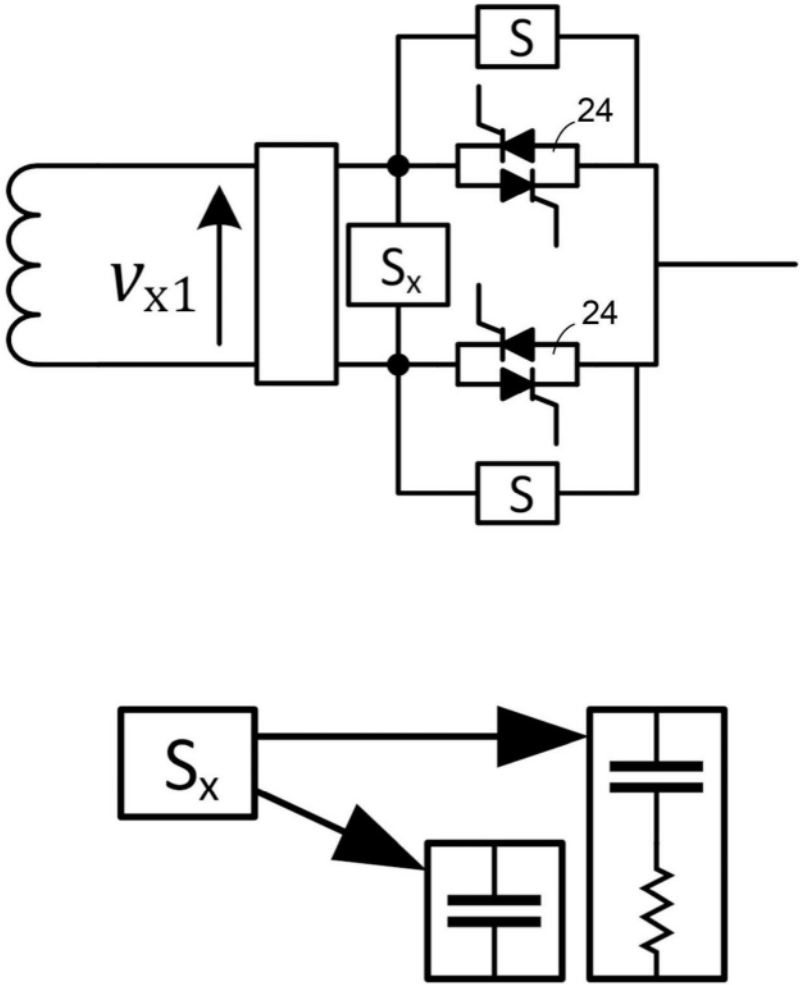


图7b

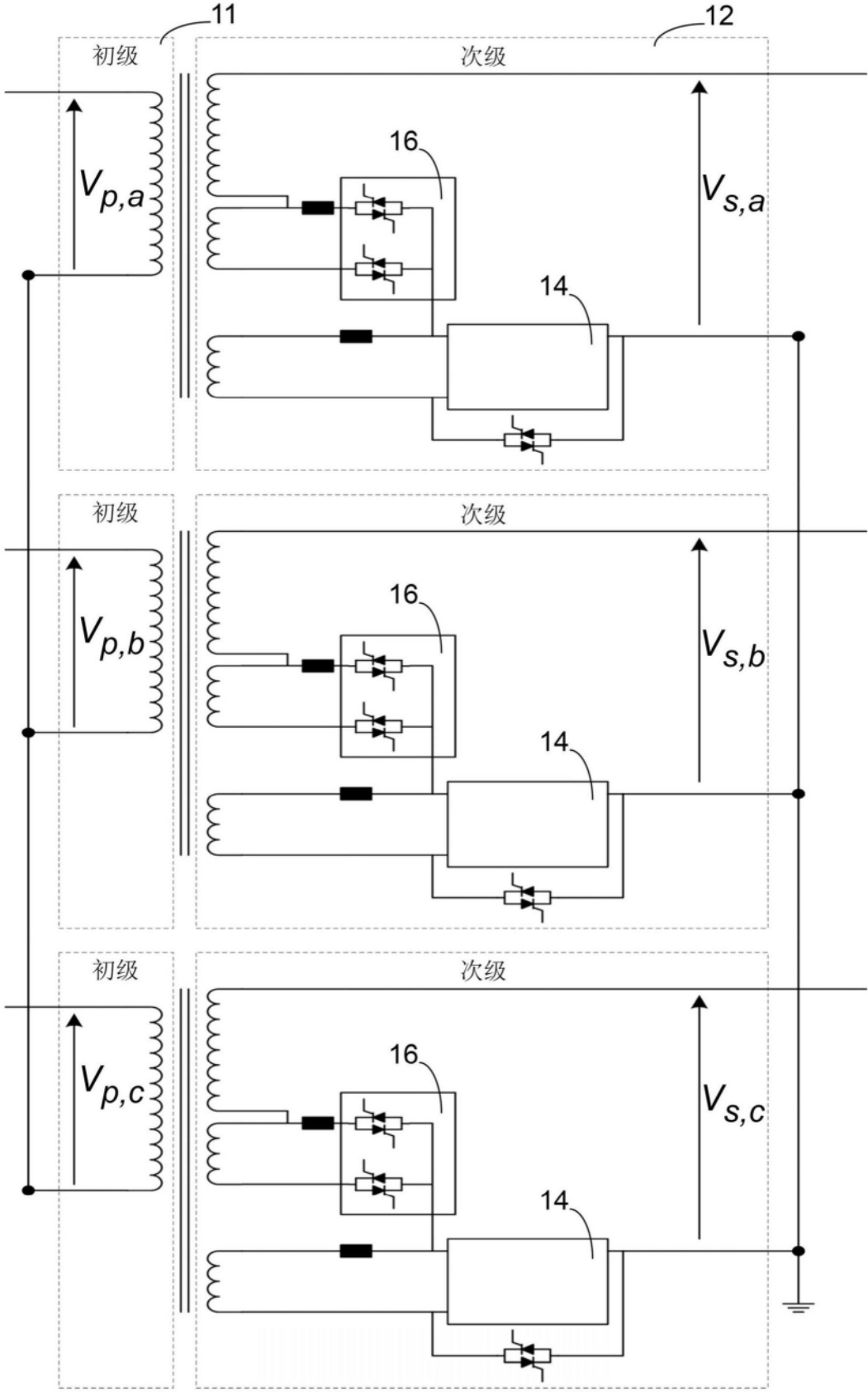


图8