



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 114171309 A

(43) 申请公布日 2022.03.11

(21) 申请号 202111498975.8

H01F 27/42 (2006.01)

(22) 申请日 2021.12.09

(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 曹国恩 王一波 张玉波 王环

(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 宋宝库 屠晓旭

(51) Int. Cl.

H01F 38/16 (2006.01)

H01F 27/28 (2006.01)

H01F 27/32 (2006.01)

H01F 27/34 (2006.01)

H01F 27/40 (2006.01)

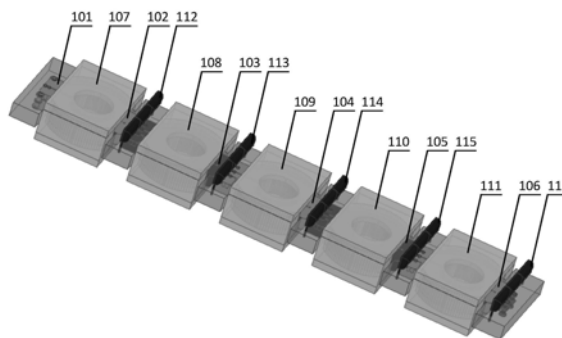
权利要求书1页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

高压隔离耐压串联型平面变压器及变压器电压补偿方法

(57) 摘要

本发明属于高压隔离耐压变压器领域,具体涉及了一种高压隔离耐压串联型平面变压器及方法,旨在解决常规高压高频变压器耐压水平低、结构复杂、体积大、成本高的问题。本发明包括:通过绕组和磁芯的磁通耦合串联的N个平面变压器构成的高压隔离耐压串联型平面变压器;N个平面变压器分别并联用于实现N个平面变压器的绕组之间的电压平衡的N个均压元件,且N个均压元件之间为串联关系;N个平面变压器包括N个磁芯、N+1个绕组和N个均压元件(N≥2)。本发明高压隔离耐压串联型平面变压器具有结构简单、体积小、成本低、效率高的优点,特别适合应用于高压直流电源等对绝缘耐压有较高要求的应用中。



1. 一种高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,该串联型平面变压器包括N个平面变压器,其中, $N \geq 2$;

所述N个平面变压器,通过绕组和磁芯的磁通耦合串联,实现电压隔离的同时进行功率传输。

2. 根据权利要求1所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述串联型平面变压器的N个平面变压器分别并联用于实现N个平面变压器的绕组之间的电压平衡的N个均压元件,所述N个均压元件之间为串联关系。

3. 根据权利要求2所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述N个均压元件均为高压电阻或高压电容,并通过电阻或电容分压为所述N个平面变压器的绕组提供固定的平衡电位。

4. 根据权利要求1所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述N个平面变压器包括N个磁芯和N+1个绕组,其中,第n个平面变压器包括第n个磁芯、第n个绕组和第n+1个绕组, $1 \leq n \leq N$;

所述N+1个绕组中的第1个绕组连接至电源低压端,第N+1个绕组连接至电源高压端,所述第n个绕组和第n+1个绕组通过第n个磁芯进行磁通耦合。

5. 根据权利要求4所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述第n个绕组,其相对电源低压端的电位为固定的 $(n+1)V_G$,其中, V_G 代表两个绕组之间的隔离耐压。

6. 根据权利要求4所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述N+1个绕组均为分布在同一个印制电路板中的铜箔构成的PCB平面绕组,所述第n个绕组和所述第n+1个绕组之间通过环氧树脂填充。

7. 根据权利要求6所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述PCB平面绕组上设置有增加爬电距离的开槽。

8. 根据权利要求7所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述N+1个绕组均分布在印制电路板内层,且位于靠内侧的绕组宽度比位于靠外侧的绕组窄。

9. 根据权利要求4所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,其特征在于,所述N个磁芯,其第n个磁芯与所述第n个绕组之间通过导体相连,以使所述第n个磁芯与所述第n个绕组具有相同的电位。

10. 一种高压隔离耐压串联型平面变压器的电压补偿方法,其特征在于,基于权利要求1-9任一项所述的高压隔离耐压串联型平面变压器,该方法包括:

步骤S10,在所述N个平面变压器的第n个和第n+1个平面变压器中间增加补偿电容 C_n ;其中, $1 \leq n \leq N$;

步骤S20,通过所述补偿电容 C_n 与所述第n个和第n+1个平面变压器的漏感的串联谐振,使谐振频率与输入功率信号频率相等,完成变压器的电压补偿。

高压隔离耐压串联型平面变压器及变压器电压补偿方法

技术领域

[0001] 本发明属于高压隔离耐压变压器领域,具体涉及了一种高压隔离耐压串联型平面变压器。

背景技术

[0002] 高压直流电源是静电除尘、真空电子束焊接、X射线成像等应用中的核心装备,其将几百伏的低压交/直流电转换为作为数千伏或数万伏以上的直流电压为输出负载供电。作为系统的动力装置,高压直流电源的技术水平直接影响到整机系统的性能,小型化、轻量化、高效率和高可靠性一直是其发展的重要目标。

[0003] 采用高频电力电子变换技术的高频高压直流电源相比传统低频方案具有体积小、纹波小、效率高等优点,是目前发展的主要方向。高压隔离耐压高频变压器是高频高压直流电源的关键部件,其主要用于实现中高压隔离、功率传输、电压变换等关键功能,高频变压器的隔离耐压水平直接决定了高压电源的绝缘性能。然而,目前高压隔离耐压高频变压器存在耐压水平低、结构复杂、体积大、成本高等缺点,高压绝缘材料和工艺一直是限制其体积和重量减小的重要因素。

[0004] 因此,如何实现一种高压隔离耐压、高功率密度、低成本且对绝缘结构、工艺无特殊要求的高频变压器,在是目前高压电源优化设计中亟需解决的问题。

发明内容

[0005] 为了解决现有技术中的上述问题,即常规高压高频变压器耐压水平低、结构复杂、体积大、成本高的问题,本发明提供了一种高压隔离耐压串联型平面变压器,该串联型平面变压器包括N个平面变压器,其中, $N \geq 2$;

[0006] 所述N个平面变压器,通过绕组和磁芯的磁通耦合串联,实现电压隔离的同时进行功率传输。

[0007] 在一些优选的实施例中,所述串联型平面变压器的N个平面变压器分别并联用于实现N个平面变压器的绕组之间的电压平衡的N个均压元件,所述N个均压元件之间为串联关系。

[0008] 在一些优选的实施例中,所述N个均压元件均为高压电阻或高压电容,并通过电阻或电容分压为所述N个平面变压器的绕组提供固定的平衡电位。

[0009] 在一些优选的实施例中,所述N个平面变压器包括N个磁芯和N+1个绕组,其中,第n个平面变压器包括第n个磁芯、第n个绕组和第n+1个绕组, $1 \leq n \leq N$;

[0010] 所述N+1个绕组中的第1个绕组连接至电源低压端,第N+1个绕组连接至电源高压端,所述第n个绕组和第n+1个绕组通过第n个磁芯进行磁通耦合。

[0011] 在一些优选的实施例中,所述第n个绕组,其相对电源低压端的电位为固定的 $(n+1) V_G$,其中, V_G 代表两个绕组之间的隔离耐压。

[0012] 在一些优选的实施例中,所述N+1个绕组均为分布在同一个印制电路板中的铜箔

构成的PCB平面绕组,所述第n个绕组和所述第n+1个绕组之间通过环氧树脂填充。

[0013] 在一些优选的实施例中,所述PCB平面绕组上设置有增加爬电距离的开槽。

[0014] 在一些优选的实施例中,所述N+1个绕组均分布在印制电路板内层,且位于靠内侧的绕组宽度比位于靠外侧的绕组窄。

[0015] 在一些优选的实施例中,所述N个磁芯,其第n个磁芯与所述第n个绕组之间通过导体相连,以使所述第n个磁芯与所述第n个绕组具有相同的电位。

[0016] 本发明的另一方面,提出了一种高压隔离耐压串联型平面变压器的电压补偿方法,基于上述的高压隔离耐压串联型平面变压器,该方法包括:

[0017] 步骤S10,在所述N个平面变压器的第n个和第n+1个平面变压器中间增加补偿电容 C_n ;其中, $1 \leq n \leq N$;

[0018] 步骤S20,通过所述补偿电容 C_n 与所述第n个和第n+1个平面变压器的漏感的串联谐振,使谐振频率与输入功率信号频率相等,完成变压器的电压补偿。

[0019] 本发明的有益效果:

[0020] (1) 本发明高压隔离耐压串联型平面变压器,将对传统单个变压器的高耐压要求分散到串联的多个变压器中,采用串联绕组和分散磁芯的方式,简化了对单个变压器的绝缘设计要求,多个变压器串联后具有耐压水平高、结构简单、工艺简单等优点。

[0021] (2) 本发明高压隔离耐压串联型平面变压器,多个串联的绕组分布在PCB的内层,高压隔离耐压由PCB层间绝缘材料来实现,具有体积小、重量轻、成本低等优点。

[0022] (3) 本发明高压隔离耐压串联型平面变压器,分布在PCB的内层的绕组,其靠内侧的绕组宽度比靠外侧的绕组窄,以减小PCB表面的电场强度,避免局部放电问题。

[0023] (4) 本发明高压隔离耐压串联型平面变压器,多个串联的变压器与均压器件并联,绕组和磁芯均具有固定的电位,因此可进行多个变压器的可靠串联,实现极高的隔离耐压,具有可靠性高、参数一致性好等优点。

[0024] (5) 本发明高压隔离耐压串联型平面变压器,在串联多个平面变压器导致输出电压下降、变压器效率降低的情况下,在串联的平面变压器间增加补偿电容,通过补偿电容与变压器的漏感的串联谐振,使得谐振频率与输入功率信号的频率相等,从而实现变压器的电压补偿,保证了变压器的工作效率。

附图说明

[0025] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述,本申请的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0026] 图1是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的结构示意图;

[0027] 图2是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的原理示意图;

[0028] 图3是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的2种绕组结构示意图;

[0029] 图4是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的单个平面变压器绕组边沿电场分布图;

[0030] 图5是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的串联型平面变压器绕

组边沿电场分布图；

[0031] 图6是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的耐压100kVG时PCB绕组表面的电场分布俯视图；

[0032] 图7是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的耐压100kVG时低压侧两个变压器绕组内部电场分布侧视图；

[0033] 图8是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的耐压100kVG时高压侧三个变压器绕组内部电场分布侧视图；

[0034] 图9是本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的电压补偿电容设置示意图。

具体实施方式

[0035] 下面结合附图和实施例对本申请作进一步的详细说明。可以理解的是，此处所描述的具体实施例仅用于解释相关发明，而非对该发明的限定。另外还需要说明的是，为了便于描述，附图中仅示出了与有关发明相关的部分。

[0036] 需要说明的是，在不冲突的情况下，本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0037] 本发明的一种高压隔离耐压串联型平面变压器，该串联型平面变压器包括N个平面变压器，其中， $N \geq 2$ ；

[0038] 所述N个平面变压器，通过绕组和磁芯的磁通耦合串联，实现电压隔离的同时进行功率传输。

[0039] 为了更清晰地对本发明高压隔离耐压串联型平面变压器进行说明，下面结合图1对本发明实施例中各模块展开详述。

[0040] 本发明第一实施例的高压隔离耐压串联型平面变压器，各模块详细描述如下：

[0041] 高压隔离耐压串联型平面变压器包括通过绕组和磁芯的磁通耦合串联的5个平面变压器，其组成相应包括磁芯107、磁芯108、磁芯109、磁芯110和磁芯111以及绕组101、绕组102、绕组103、绕组104、绕组105和绕组106，其中，第n个平面变压器包括第n个磁芯、第n个绕组和第n+1个绕组， $1 \leq n \leq N$ 。

[0042] 例如，绕组101、绕组102通过磁芯107进行磁通耦合构成第一个平面变压器，绕组102、绕组103通过磁芯108进行磁通耦合构成第二个平面变压器，用于实现电压隔离的同时进行功率传输，依此类推，可以看出除第一个绕组和最后一个绕组之外的绕组，既包括了前一个平面变压器的副边绕组，又包括了相邻的后一个平面变压器的原边绕组。

[0043] 5个平面变压器分别并联5个用于实现5个平面变压器的绕组之间的电压平衡的均压元件，均压元件112、均压元件113、均压元件114、均压元件115和均压元件116，且均压元件112、均压元件113、均压元件114、均压元件115和均压元件116之间为串联关系。

[0044] 5个均压元件均为高压电阻或高压电容，并通过电阻或电容分压为5个平面变压器的绕组提供固定的平衡电位。

[0045] 如图2所示，为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的原理示意图，5个均压元件中，第1个均压电阻112（也可以采用均压电容）的两端分别连接至第1个绕组101（同时也是系统电源的低压端）和第2个绕组102，第2个均压电阻113

(也可以采用均压电容)的两端分别连接至第2个绕组102和第3个绕组103,……,第n个均压元件(可以采用均压电阻,也可以采用均压电容)的两端分别连接至第n个绕组和第n+1个绕组,第5个均压电阻116(也可以采用均压电容)的两端分别连接至第5个绕组105和第6个绕组106(同时也是系统电源的高压端),5个均压元件依次串联后实现6个绕组之间的电压平衡,为避免变压器串联中的原边漏感和副边漏感带来的电压下降,在变压器之间串联补偿电容,通过补偿电容与原边漏感、副边漏感进行串联谐振,使得谐振频率与输入功率信号频率相等,实现变压器的电压补偿,图2中的电容C1、电容C2、电容C3和电容C4为本发明一个实施例的补偿电容连接结构,在其他实施例中,也可以根据需要在任一个或多个位置设置补偿电容,使得补偿电容可以漏感进行串联谐振,并根据设置计算补偿电容的电容值,本发明在此不一一详述。

[0046] 第1个平面变压器的副边绕组101连接到第2个变压器的原边绕组102,设两个绕组之间的隔离耐压为VG,则通过5个均压元件进行电压平衡后的第6个绕组和第1个绕组之间的隔离耐压为5VG,通过串联更多的具有相同耐压的平面变压器可以实现更高的隔离电压。

[0047] 以上述过程类推,第1个绕组连接至电源系统的低压端,第N+1个绕组连接至电源系统的高压端,通过均压元件进行均压后,第n个绕组相对低压端的电位固定且为(n+1)VG。

[0048] 设图1实施例中的5个串联的高压隔离耐压串联型平面变压器的隔离耐压要求为100kV,则两个绕组之间的隔离耐压仅为20kV,这大大降低了对每个绕组绝缘的要。由于采用了高压电阻或电容进行分压,第n个绕组相对低压端的固定电位为(n+1)20kV。

[0049] 本发明一个实施例中,6个绕组均为分布在同一个PCB(印制电路板)中的铜箔,即构成PCB平面绕组,第n个绕组和第n+1个绕组之间通过PCB的环氧树脂填充,以承受较高的电压。

[0050] 如图3所示,为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的2种绕组结构示意图,图3上图中,各平面变压器的结构和绕组分布是相同的,且各变压器之间的连接方式相同(图中只示出了第1个变压器和第2个变压器的结构示意图)。图3上图中,PCB为6层板,其中第1个绕组101作为第1个变压器的原边,分布在PCB的第2层和第5层。第2个绕组分为102a和102b两部分,第2个绕组102a作为第1个变压器的副边,分布在PCB的第3层和第4层,第2个绕组102b作为第2个变压器的原边,分布在PCB的第2层和第5层,102a和102b通过过孔102c进行连接;第3个绕组103作为第2个变压器的副边,分布在PCB的第3层和第4层。PCB的各层之间通过环氧树脂FR-4材料进行填充,其中第2层和第3层、第4层和第5层的FR-4较厚,用于承受较高的绝缘耐压。

[0051] 图3下图中,相邻的两个平面变压器的绕组分布是不同的,其中,第1个绕组101作为第1个变压器的原边,分布在PCB的第2层和第5层,第2个绕组102同时作为第1个变压器的副边和第2个变压器的原边,分布在PCB的第3层和第4层。PCB中环氧树脂FR-4的填充要求与图3上图的填充要求相同。

[0052] 图3下图中,第2个绕组102不需要过孔进行连接,整体上结构更简洁,但由于相邻两个平面变压器的绕组结构不同,其电场分布特性不同,可在整体设计中进行考虑。

[0053] PCB平面绕组上设置有增加爬电距离的开槽。

[0054] N+1个绕组(本实施例中6个绕组)均分布在印制电路板内层,且位于靠内侧的绕组宽度比位于靠外侧的绕组窄,以减小PCB表面的电场强度,避免局部放电问题。

[0055] 此外,第n个磁芯与所述第n个绕组之间通过导体相连,以使所述第n个磁芯与所述第n个绕组具有相同的电位。

[0056] 如图4所示,为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的单个平面变压器绕组边沿电场分布图,其中实线为等电位线、虚线为电场强度线。由于两个绕组之间要承受整个系统的绝缘耐压,因此绕组之间具有较高的场强,且在绕组边沿,电场分布发生严重畸变,因此会引起较强烈的局部放电,甚至击穿PCB造成绝缘失效。

[0057] 如图5所示,为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的串联型平面变压器绕组边沿电场分布图,由于采用N个平面变压器进行串联,且经过均压后变压器的相对电位是固定的,其需承受的耐压为系统绝缘耐压的1/N,因此各变压器内部绕组之间的场强较弱,且在绕组边沿的电场分布畸变较小,可以是系统承受较高绝缘耐压的同时,保证可靠绝缘。

[0058] 需要说明的是,本发明高压隔离耐压串联型平面变压器并非多个单独的平面变压器之间简单的串联。与低压变压器不同,高压隔离耐压变压器的电场分布对于隔离耐压的能力至关重要,局部电场过高会引起局部放电甚至击穿,降低整体的隔离耐压水平。因此,在本发明中,首先通过增加绕组铜箔的厚度来增加绕组边沿的电晕阈值以减小绕组局部的电场强度,在本发明实施例中,采用铜箔厚度为0.105mm。其次,通过控制PCB内部同一层的相邻平面变压器绕组的间距来实现绕组断开处由边缘效应引起的过高的电场强度,在本实施例中,通过采用二维有限元法得到的20kV隔离耐压下的绕组间距为 $\geq 2\text{mm}$ 。同时,在每个平面变压器内部,可认为原、副边绕组之间电场是均匀分布的,其电场强度为 $E = \gamma VG/d$,其中d为两个绕组之间的环氧树脂的厚度, γ 为修正系数,在本发明实施例中所选取的修正系数 $\gamma = 0.91$,环氧树脂的厚度 $d = 1.5\text{mm}$ 。

[0059] 另外,串联变压器的数量并非越多越好,虽然相同隔离耐压下变压器串联的数量越多,每个变压器的耐压要求越低、可靠性越高,但较多的变压器串联也会导致体积、成本增加,效率降低。因此,如何确定变压器串联的数量也是本发明实施过程中重点考虑的内容之一。在本发明实施例中,采用三维有限元仿真进行电场仿真设计,可知在原副边绕组之间的环氧树脂厚度为1.5mm情况下,单个平面变压器PCB绕组的最高耐压为30kV,因此,实际应用中,综合考虑可靠性和体积,设置每个平面变压器的最大工作隔离电压为20kV。对于隔离耐压要求100kV的应用,采用5个平面变压器进行串联。

[0060] 基于以上设计参数,如图6所示,为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的耐压100kVG时PCB绕组表面的电场分布俯视图,其采用图3上图所示的绕组结构。图7和图8分别为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的5个平面变压器串联的耐压100kVG时低压侧两个变压器、高压侧三个变压器绕组内部电场分布侧视图,通过仿真结果可见,PCB表面的最大场强为13.2kV/mm,且无电场过于集中的点。同时,在5个平面变压器中,各PCB绕组内部的场强分布相同,最大场强为18.3kV/mm,满足设计要求。

[0061] 图6-图8中的E(单位:V/m)代表电场强度,图中越暗的地方电场强度越低,越亮的地方电场强度越高。

[0062] 在实际应用中,高频变压器的原边和副边都存在漏感,一般变压器的漏感远小于励磁电感,因此在单级高频变压器的应用中漏感对于压降的影响可忽略。然而,本发明采用

平面变压器多级串联的结构,多个平板变压器的漏感等效串联在功率回路中,可能会引起输出电压降低,严重情况下甚至导致无功功率较大、无法输出有功功率等问题,因此,对于串联级数较多或者漏感较大的应用,漏感引起的压降问题不能忽略,须采取一定的措施降低漏感的影响。

[0063] 根据上述描述,本发明第二实施例的高压隔离耐压串联型平面变压器的电压补偿方法,基于上述的高压隔离耐压串联型平面变压器,该方法包括:

[0064] 步骤S10,在所述N个平面变压器的第n个和第n+1个平面变压器中间增加补偿电容 C_n ;其中, $1 \leq n \leq N$ 。

[0065] 如图9所示,为本发明高压隔离耐压串联型平面变压器一种实施例的电压补偿电容设置示意图,第n个高频变压器(即本发明所述的平面变压器)的副边漏感为 Lr_n ,第n+1个高频变压器的原边漏感为 Lr_{n+1} ,在第n个和第n+1个高频变压器之间串入补偿电容 C_n 。

[0066] 步骤S20,通过所述补偿电容 C_n 与所述第n个和第n+1个平面变压器的漏感的串联谐振,使谐振频率与输入功率信号频率相等,完成变压器的电压补偿。

[0067] 由于谐振频率 f_r 等于输入功率信号的频率 f ,根据频率计算方法可得到频率与漏感、补偿电容之间的关系,如式(1)所示:

$$f_r = f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_n(Lr_n + Lr_{n+1})}} \quad (1)$$

[0068] 其中, C_n 为补偿电容的电容值。因此,从式(1)可以看出,测量出第n个高频变压器的副边漏感 Lr_n 和第n+1个高频变压器的原边漏感 Lr_{n+1} 后,即可计算出补偿电容 C_n 的电容值 C_n 。另外,由于多个平板变压器串联后,其漏感等效为串联在功率回路中,因此补偿电容也可以串入其中一级或多级中。

[0069] 设第n级高频变压器的变比为 N_n ,其原边和副边的漏感分别为 Lrp_n 和 Lrs_n ,其在副边的等效漏感为 $Lrp_n N_n^2 + Lrs_n$,因此,对于第n级高频变压器,其副边侧的总的等效漏感如式(2)所示:

$$Lr_{n_total} = Lrp_1 \prod_{x=1}^n N_x^2 + (Lrs_1 + Lrp_2) \prod_{x=2}^n N_x^2 + \dots + (Lrs_{n-1} + Lrp_n) N_n^2 + Lrs_n \quad (2)$$

[0070] 其中, Lr_{n_total} 为副边侧的总的等效漏感。

[0071] 若第n级平面变压器之前均未采用补偿电容,则在第n级的补偿电容的电容值 C_n 如式(3)所示:

$$C_n = \frac{1}{4\pi^2 f^2 Lr_{n_total}} \quad (3)$$

[0072] 另外,在实际应用中,高压隔离耐压的高频变压器一般采用油浸的方式来强化绝缘并进行有效散热,为保证长期可靠、稳定的工作,一般设计中,变压器油的最大场强阈值

须 $\leq 20\text{kV/mm}$ 。典型环氧树脂FR-4材料如S0165、S1170的击穿场强都 $> 50\text{kV/mm}$ ，因此可设置FR-4材料的最大场强阈值为 25kV/mm 。

[0073] 需要说明的是，上述实施例提供的高压隔离耐压串联型平面变压器及变压器电压补偿方法，仅以上述各功能模块的划分进行举例说明，在实际应用中，可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块来完成，即将本发明实施例中的模块再分解或者组合，例如，上述实施例的模块可以合并为一个模块，也可以进一步拆分成多个子模块，以完成以上描述的全部或者部分功能。对于本发明实施例中涉及的模块的名称，仅仅是为了区分各个模块，不视为对本发明的不当限定。

[0074] 术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象，而不是用于描述或表示特定的顺序或先后次序。

[0075] 术语“包括”或者任何其它类似用语旨在涵盖非排他性的包含，从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备/装置不仅包括那些要素，而且还包括没有明确列出的其它要素，或者还包括这些过程、方法、物品或者设备/装置所固有的要素。

[0076] 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做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。

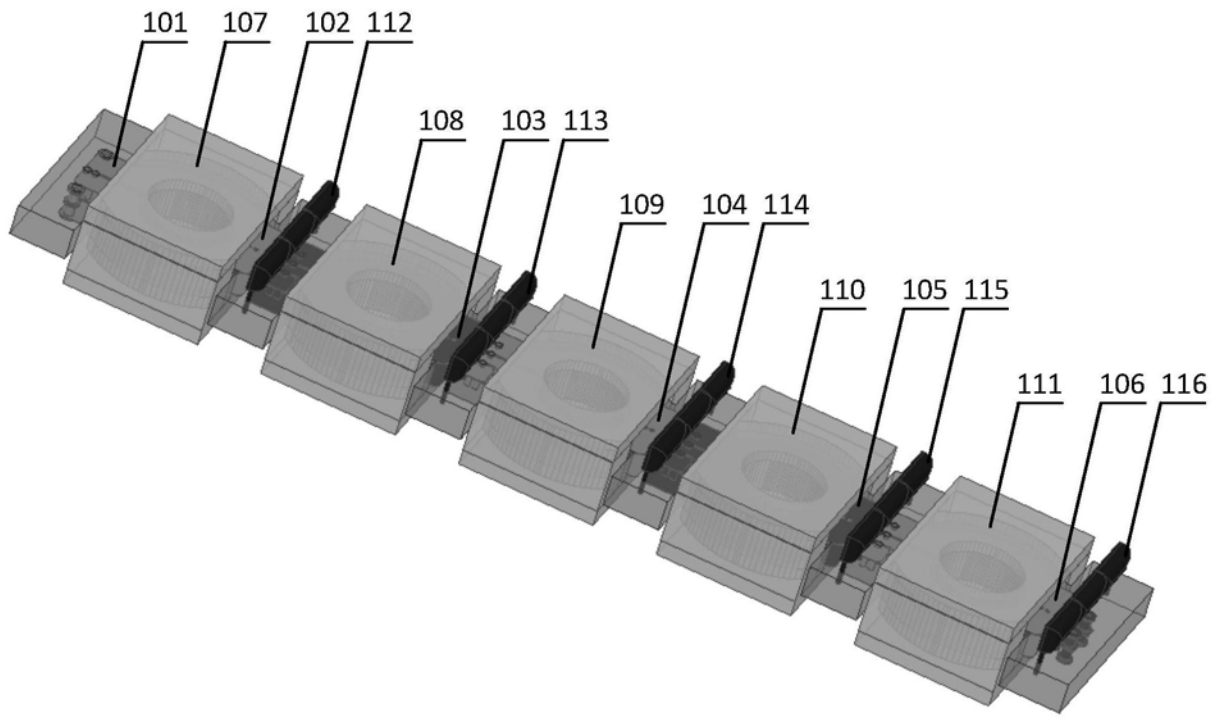


图1

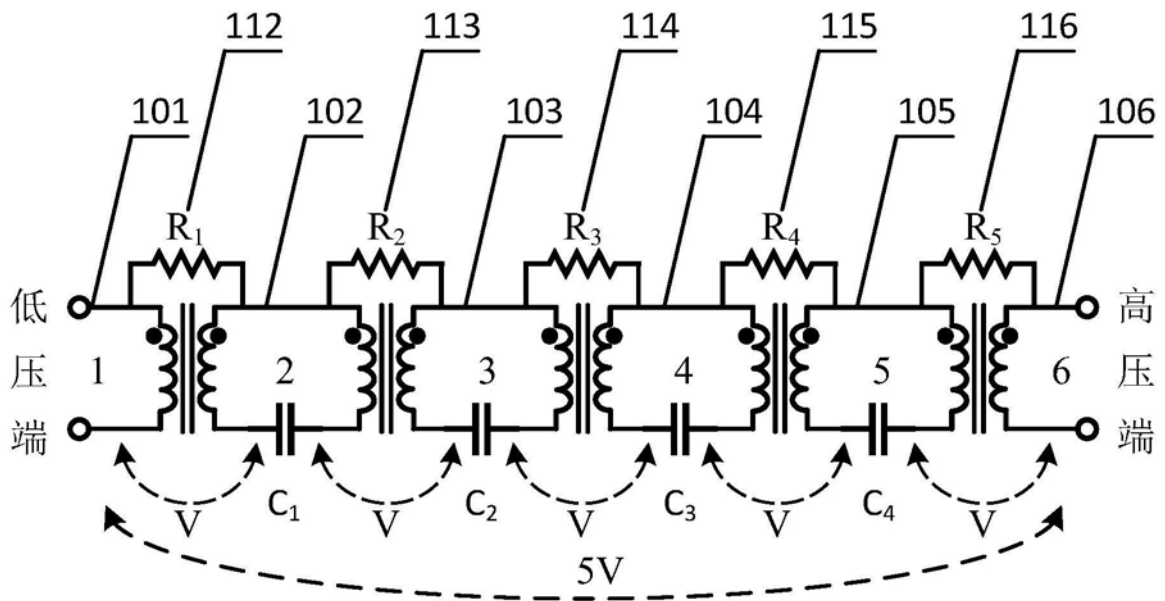


图2

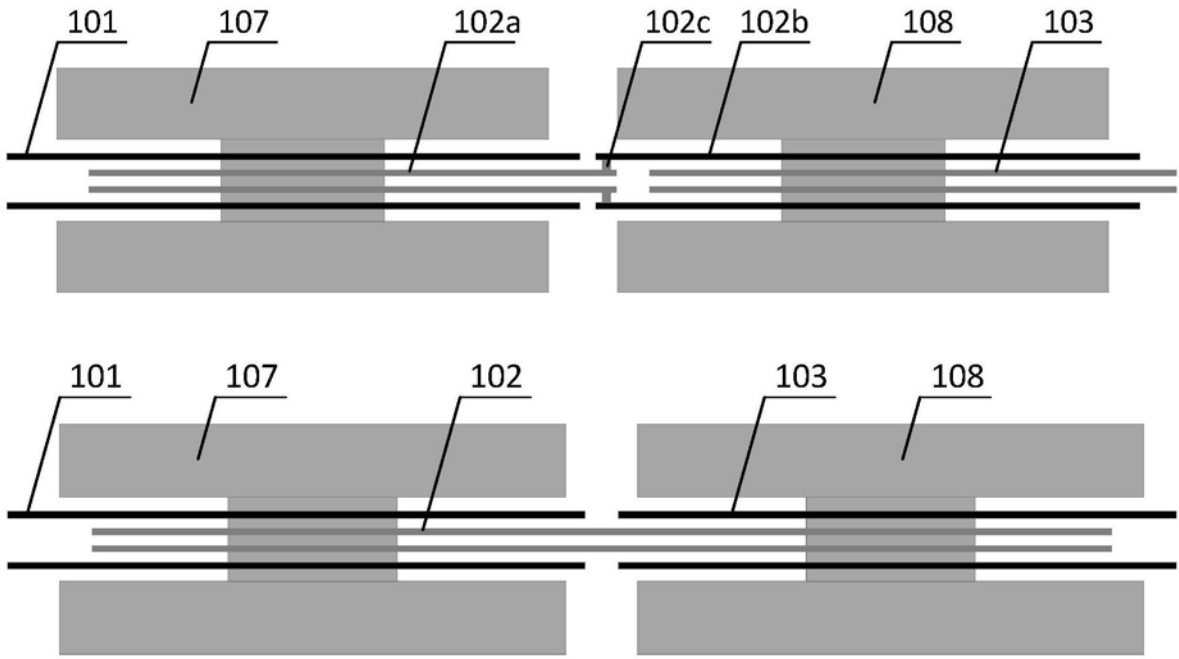


图3

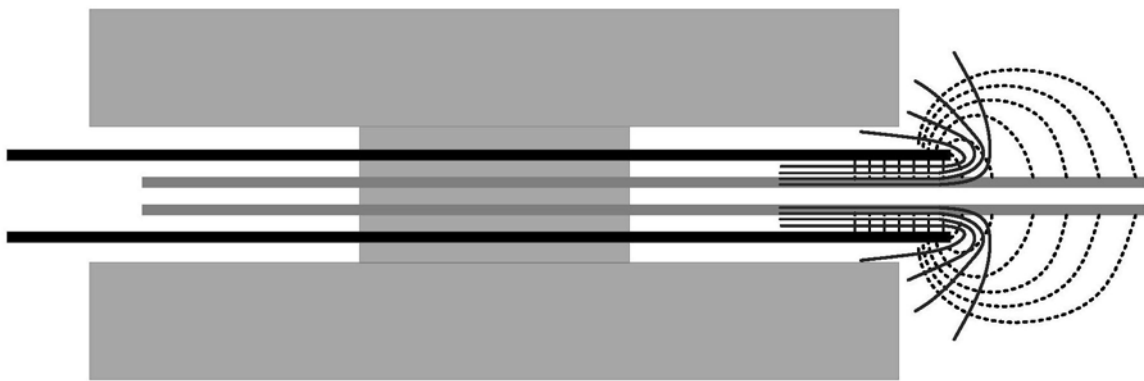


图4

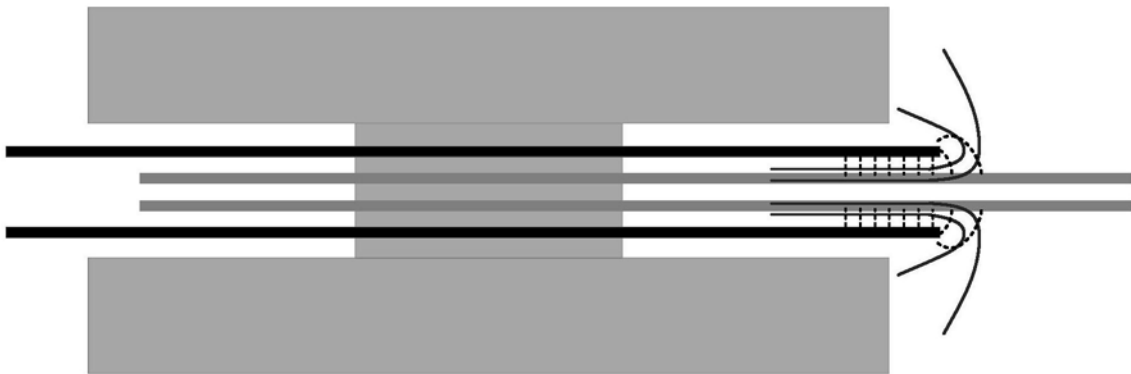


图5

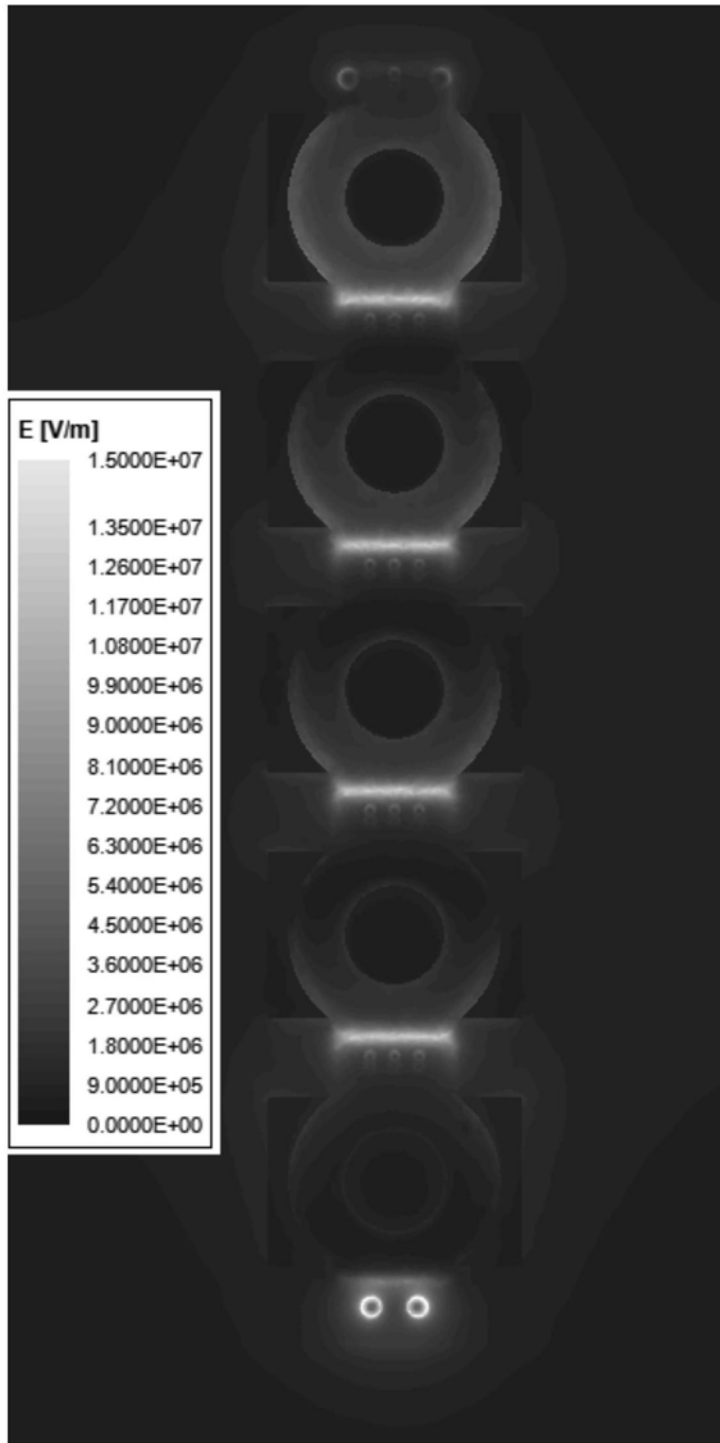


图6

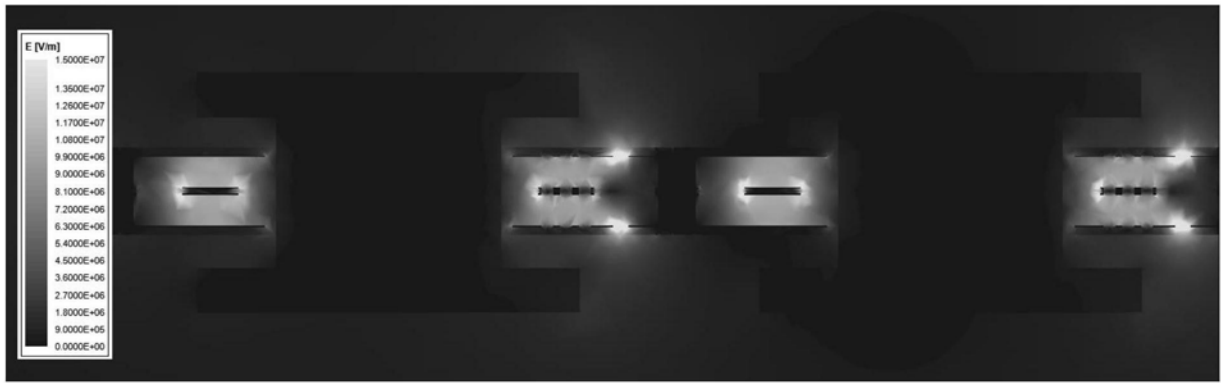


图7

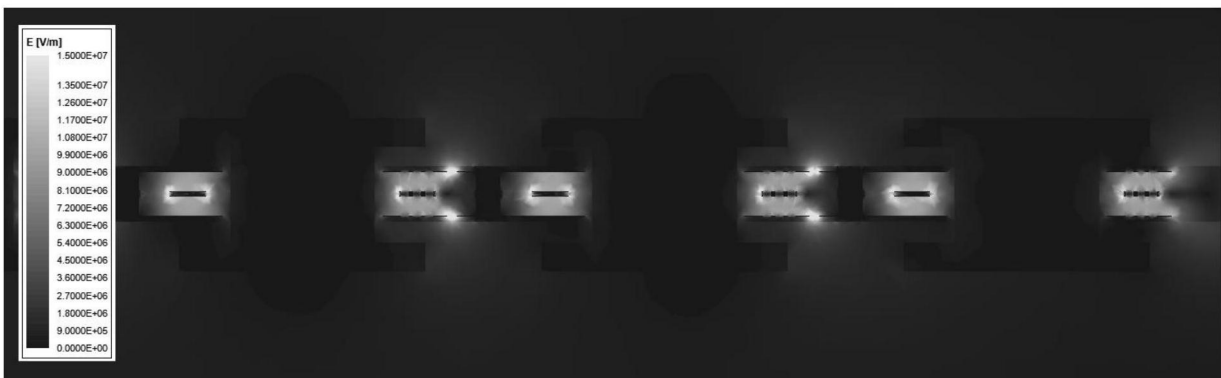


图8

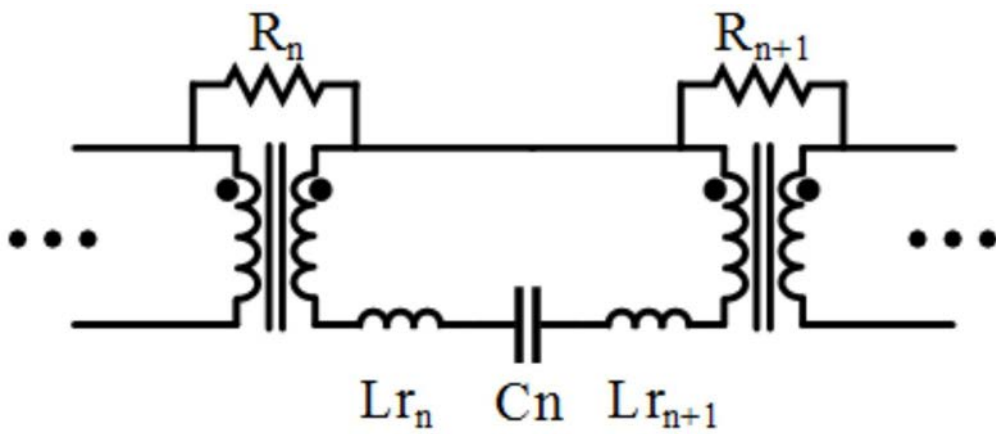


图9