



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115249571 A

(43) 申请公布日 2022. 10. 28

(21) 申请号 202210448722.8

(22) 申请日 2022.04.26

(30) 优先权数据

63/179,784 2021.04.26 US

17/471,142 2021.09.09 US

(71) 申请人 台达电子工业股份有限公司

地址 中国台湾桃园市

(72) 发明人 王汝锡 沈志宇 张驰 包彼得

(74) 专利代理机构 隆天知识产权代理有限公司

72003

专利代理师 闫华

(51) Int. Cl.

H01F 27/32 (2006.01)

H01F 27/29 (2006.01)

H01F 27/28 (2006.01)

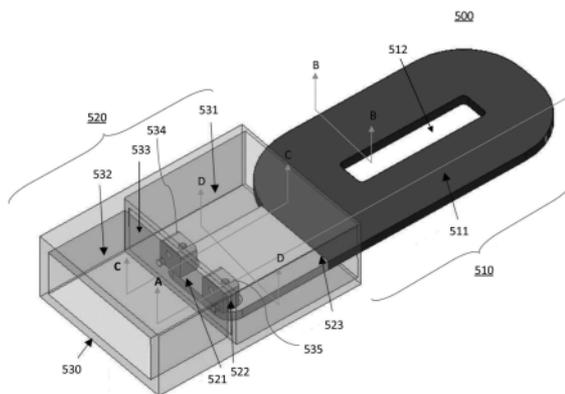
权利要求书2页 说明书12页 附图18页

(54) 发明名称

平面绕组结构

(57) 摘要

本发明提供一种平面绕组结构。平面绕组结构用于主电源变压器和/或辅助电源的需求。印刷电路板型的平面绕组结构可以通过磁芯电位控制来限制电场,从而为中压应用创建出无局部放电的设计。同时,绕组结构可以在印刷电路板制造过程中形成,借以创建出更具模块化和可靠性的结构,从而提高可制造性。而终端连接处理、初级和次级绕组布置等技术则可用于控制中压应用中的电应力。



1. 一种平面绕组结构,包括:
  - 一绝缘平板,具有一绕组部和一端子部,其中该绕组部的中央部分具有一通孔;
  - 多个导电层,埋设于该绝缘平板的该绕组部内,且通过一个或多个埋孔而彼此电性连接,其中该多个导电层被图案化以构成围绕该通孔的一变压器绕线;
  - 一第一端子和一第二端子,位于该绝缘平板的该端子部,且每一该第一端子和该第二端子分别电连接到相应的该多个导电层之一;以及
  - 一屏蔽层,涂覆于该绝缘平板的该绕组部的一外表面。
2. 如权利要求1所述的平面绕组结构,还包括一屏蔽边缘处理层,位于该屏蔽层与该第一端子和该第二端子之间的该端子部中。
3. 如权利要求1所述的平面绕组结构,还包括一电气套管,该电气套管具有一灌封部和一中空部,其中该绝缘平板的该端子部容置于该灌封部内。
4. 如权利要求3所述的平面绕组结构,其中该电气套管还包括一端子块,位于该灌封部中,以电性和机械地支撑该第一端子和该第二端子。
5. 如权利要求1所述的平面绕组结构,还包括一均压环结构,嵌设于该绝缘平板的该端子部内。
6. 如权利要求5所述的平面绕组结构,其中该均压环结构包括一外部接地环以及一内部接地环,其中该外部接地环位于该绝缘平板的一外表面,靠近该绕组部和该端子部的一界面,其中该内部接地环嵌设于该绝缘平板中,并通过一个或多个盲孔与该外部接地环电连接。
7. 如权利要求5所述的平面绕组结构,其中该均压环结构包括多个均压环以及至少一电阻器,该多个均压环嵌设于该绝缘平板的该端子部,并自该绕组部与该端子部的一界面沿水平方向延伸,其中该至少一电阻器嵌设于该绝缘平板的该端子部内,且电连接到相邻的该多个均压环。
8. 如权利要求7所述的平面绕组结构,其中该多个均压环中距离该界面最远的一个电连接到该第一端子和该第二端子中的一个。
9. 如权利要求1所述的平面绕组结构,还包括多个电磁干扰屏蔽层,嵌设于该绝缘平板中,其中该导电层嵌设于该绝缘平板,且位于该多个电磁干扰屏蔽层之间。
10. 如权利要求1所述的平面绕组结构,其中该屏蔽层包括一半导体材料。
11. 如权利要求1所述的平面绕组结构,其中该绝缘平板包括一FR4材料。
12. 一种电源变压器,包括:
  - 一平面绕组结构,包括:
    - 一绝缘平板,具有一绕组部和一端子部,其中该绕组部的中央部分具有一通孔;
    - 多个导电层,埋设于该绝缘平板的该绕组部内,且通过一个或多个埋孔而彼此电性连接,其中该多个导电层被图案化以构成围绕该通孔的一变压器绕线;
    - 一第一端子和一第二端子,位于该绝缘平板的该端子部,且每一该第一端子和该第二端子分别电连接到相应的该多个导电层之一;以及
    - 一屏蔽层,涂覆于该绝缘平板的该绕组部的一外表面;
    - 一磁芯;以及
    - 一次级绕组结构,其中该次级绕组结构通过该磁芯与该平面绕组结构磁耦合。

13. 如权利要求12所述的电源变压器,其中该磁芯的一部分设置于该绝缘平板的该通孔内。

14. 如权利要求12所述的电源变压器,其中该次级绕组结构电性连接至该平面绕组结构的该屏蔽层。

15. 一种平面绕组结构,包括:

一绝缘平板,其中该绝缘平板的中央部分具有一通孔,用以容置一磁芯;

一第一绕线组,设置于该绝缘平板上,且该第一绕线组环绕该通孔并靠近该通孔的一周围;以及

一第二绕线组,设置于该绝缘平板上,且该第二绕线组环绕该通孔,其中该第二绕线组与该通孔的该周围相隔一第一距离,并与该平面绕线结构的一边缘相隔一第二距离。

16. 如权利要求15所述的平面绕组结构,还包括一第三绕线组,设置于该绝缘平板上,且该第三绕线组环绕该通孔,且靠近该绝缘平板的该边缘。

17. 如权利要求15所述的平面绕组结构,其中该第一距离和该第二距离相等。

18. 如权利要求15所述的平面绕组结构,其中该第一距离和该第二距离的百分比差异小于20%。

19. 一种平面绕组结构,包括:

一绝缘平板,具有一第一通孔和一第二通孔,用以容置一磁芯;

一第一高压绕组,设置于该绝缘平板上,其中该第一高压绕组环绕该第一通孔,并靠近该第一通孔的一周围;以及

一第一低压绕组,设置于该绝缘平板上,其中该第一低压绕组环绕该第二通孔,并与该第二通孔的一周围相隔一第一距离。

20. 如权利要求19所述的平面绕组结构,还包括:

一第二高压绕组,设置于该绝缘平板上,其中该第二高压绕组环绕该第二通孔,并靠近该第二通孔的该周围;以及

一第二低压绕组,设置于该绝缘平板上,其中该第二低压绕组环绕该第一通孔,并与该第一通孔的该周围相隔一第二距离。

21. 如权利要求20所述的平面绕组结构,其中该第一低压绕组和该第二低压绕组串联电连接。

## 平面绕组结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种于电源变压器中使用的平面绕组结构,尤其涉及一种用于中压电源变压器的平面绕组结构。

### 背景技术

[0002] 由于中压配电在数据中心、电动汽车充电和其他新兴应用中的使用增加,其低传导损耗和潜在的较小占用空间也变得越来越受青睐。在中压应用中(例如,4kV左右至13.8kV左右),传统作法需要体积庞大的电源频率变压器(line frequency transformer)来将中压交流(medium voltage alternating current,MVAC)的电源降压至低压交流(alternating current,AC)或直流(direct current,DC)的电源,以供负载直接使用。为了克服电源频率变压器的缺点,遂开发了固态变压器(solid-state transformer,SST)的技术,以利用半导体元件的高频操作来创建高频脉宽调制(pulse width modulation,PWM)的交流链路。其中,因所采用的伏秒(volt-seconds)低许多,故有可能减少无源式变压器的占用空间(参见参考文献[1])。然而,高频无源式变压器的尺寸减小与工作频率并不成反比,原因在于可靠的绝缘必须介于高压和低压绕组之间(参见参考文献[2])。

[0003] 对中压高频变压器设计而言,其目标可概括如下。首先,中压变压器需无局部放电(partial discharge,PD)。局部放电长期运行中最常见的退化原因之一。若绝缘材料由聚合物材料制成更是如此。无局部放电可确保部署后的长期使用寿命。其次,考虑到成本和制造简易性,模块化解决方案和/或业界长期公认技术即为首选。第三,变压器需要有更高的效率和更高的功率密度。尤其是在固态解决方案与传统的电源频率解决方案进行比较时,高效率更为一个关键的性能指标。同时,由于大多数绝缘材料的导热性较差,因此越高的效率会对变压器产生越小的热应力,故热能可被轻松移除。

[0004] 图1公开公知绞合线封装变压器的解决方案示意图。参见参考文献[3]。在公知绞合线封装变压器的解决方案中,初级侧和次级侧均使用李兹线(Litz wire),即绞合线所构成。由于绞合线是由多股相互电绝缘的小股线所组成,而在灌封过程中很难控制小股线之间的间隙和气泡,因此绞合线与环氧基的绝缘体结合很难控制其绝缘的品质。这主要是因为环氧基绝缘体通常具有较高的粘度,且在绞合线股线之间形成小空隙也是不可避免的。据此,一种解决方案是使用两层绝缘材料分两步施加。而两层结构的制造需使用模具。低粘度绝缘材料,例如硅基绝缘体,可用于形成第一绝缘层。将绞合线放入模具后,即可施加硅基绝缘体。由于硅基绝缘体具有低粘度,因此硅基绝缘体可以填充不同股线之间的小间隙。然后,将硅基绝缘体固化后,再放入第二模具中以形成环氧树脂基绝缘体。其中环氧树脂基绝缘体具有更高的粘度,并可提供更好的击穿强度。此方案无需担心环氧树脂绝缘体中会形成潜在空隙,因为环氧树脂绝缘体并不接触绞合线。待试品用环氧树脂(主绝缘体)层固化后,还可以在绝缘体外部施加额外的屏蔽层,以将电场限制在绝缘体内。然而,此解决方案非常复杂,需要使用定制模具进行多个步骤以完成固化过程,亦不具模块化解决方案的特性,难以量产。

[0005] 图2公开另一公知变压器设计,其于磁芯之间插入间隙,并将变压器分成低压(LV)侧和高压(HV)侧两部分。参见参考文献[4]。在此一解决方案中,初级绕组和次级绕组设置在变压器的两侧,由间隙和其间的绝缘体隔开。磁芯的两个分离部分不再共享相同或相似的电位。由于铁芯之间刻意设置了间隙,因此可以减轻高压侧绕组与高压侧磁芯之间或低压绕组与低压侧磁芯之间的绝缘要求。然而,其衍生的问题可能会消弭此解决方案的好处。首先,由于此解决方案需以间隙结构来提供主要绝缘,因此在此设计中电气性能与绝缘性能具有相关性。然而于一些谐振转换器应用中,变压器的磁感需要控制在一预定范围内以实现软开关并保持较小的循环能量。若间隙太大,磁感可能太小,将使循环能量太多,从而导致不必要的传导损耗。其次,此解决方案在某些应用中无法实现,因为无论是高压侧还是低压侧,磁芯都需接地。

[0006] 图3公开使用同轴结构来形成变压器初级侧和次级侧的公知解决方案示意图。参见参考文献[5]。此一解决方案具有两个好处。首先,其通过同轴电缆绝缘层形成绝缘结构,因此绝缘性能可以在电缆侧获得很好地控制,且不需以环氧树脂或硅基封装进行更多的后续处理。其次,电缆的内导电层内还有另一个中空空间,因此液体冷却是可能的。若有需要,冷却剂可以流入管道以去除热量。但是,此一解决方案也面临一些挑战。首先,电缆的内管由刚性金属所制成。为了形成绕组,金属势必要弯曲。而在满足最小弯曲比的条件下,亦需确保包裹导体的绝缘层无裂纹产生。这意味着难以形成符合较小弯曲比的形状。其次,同轴结构较适合于1:1匝数比设计,却很难实现在中压应用中常见的需降低或升高初级侧和次级侧之间电压的设计。

[0007] 图4公开公知使用印刷电路板进行中压应用的解决方案。参见参考文献[6]。于此一方案中,初级绕组和次级绕组仅呈规则的螺旋结构,并相互堆叠以填充磁芯的窗口区域。参考文献[6]并没有提出任何关于中压运行的结果,但提到此一解决方案可以浸入油箱中,以用于潜在的高压环境。然而,在中压应用中,以干式变压器较易维护。

[0008] 有鉴于此,实有必要提供一种模块化且易于制造电源变压器解决方案以进行中压应用。该电源变压器解决方案需要无局部放电,且具有更高的效率和更好的散热能力,并可实现初级和次级之间的低噪声耦合。

[0009] 参考文献:

[0010] 1. J. Wang, A. Q. Huang, W. Sung, Y. Liu and B. J. Baliga, "Smart grid technologies," in IEEE Industrial Electronics Magazine, vol. 3, no. 2, pp. 16-23, June 2009, doi:10.1109/MIE.2009.932583.

[0011] 2. D. Rothmund, G. Ortiz, T. Guillod and J. W. Kolar, "10kV SiC-based isolated DC-DC converter for medium voltage-connected Solid-State Transformers," 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Charlotte, NC, USA, 2015, pp. 1096-1103, doi:10.1109/APEC.2015.7104485.

[0012] 3. Q. Chen, etc "High Frequency Transformer Insulation in Medium Voltage SiC enabled Air-cooled Solid-State Transformers," 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Portland, OR, USA, 2018, pp. 2436-2443, doi:10.1109/ECCE.2018.8557849.

[0013] 4. S. Zhao, Q. Li, F. C. Lee and B. Li, "High-Frequency Transformer Design for

Modular Power Conversion From Medium-Voltage AC to 400VDC,"in IEEE Transactions on Power Electronics,vol.33,no.9,pp.7545-7557,Sept.2018,doi:10.1109/TPEL.2017.2774440.

[0014] 5.L.Heinemann,"An actively cooled high power,high frequency transformer with high insulation capability,"APEC.Seventeenths Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition(Cat.No.02CH37335),Dallas, TX,USA,2002,pp.352-357vol.1,doi:10.1109/APEC.2002.989270.

[0015] 6.C.Loef,R.W.De Doncker and B.Ackermann,"On high frequency high voltage generators with planar transformers,"2014IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition-APEC 2014,Fort Worth,TX,USA,2014, pp.1936-1940,doi:10.1109/APEC.2014.6803571.

## 发明内容

[0016] 本发明的目的在于提供一种平面绕线结构,其结构包括绝缘平板、多个导电层、第一端子和第二端子以及屏蔽层。绝缘平板具有绕组部和端子部,绕组部的中央部分具有通孔。多个导电层埋设于绝缘平板的绕组部内,且通过一或多个埋孔而彼此电性连接。多个导电层被图案化以构成围绕通孔的变压器绕线。第一端子和第二端子位于绝缘平板的端子部,且每一第一端子和第二端子均电连接到相应的一个导电层。屏蔽层涂覆于绝缘平板的绕组部的外表面。

[0017] 于一实施例中,平面绕组结构还包括一屏蔽边缘处理层,位于屏蔽层与第一端子和第二端子之间的端子部中。

[0018] 于一实施例中,平面绕组结构还包括电气套管,电气套管具有灌封部和中空部,其中绝缘平板的端子部容置于灌封部内。

[0019] 于一个实施例中,电气套管还包括端子块,位于灌封部中,以电性和机械地支撑第一端子和第二端子。

[0020] 于一个实施例中,平面绕组结构还包括均压环结构,嵌设于绝缘平板的端子部内。

[0021] 于一个实施例中,均压环结构包括一外部接地环以及一内部接地环。外部接地环位于绝缘平板的一外表面,靠近绕组部和端子部的界面。内部接地环嵌设于绝缘平板中,并通过一个或多个盲孔与外部接地环电连接。

[0022] 于一实施例中,均压环结构包括多个均压环以及至少一电阻器。多个均压环嵌设于绝缘平板的端子部,并自绕组部与端子部的界面沿水平方向延伸。至少一电阻器嵌设于绝缘平板的端子部内,且电连接到相邻的均压环。

[0023] 于一个实施例中,距离界面最远的一个均压环电连接到第一端子和第二端子中的一个。

[0024] 于一实施例中,平面绕组结构还包括多个电磁干扰屏蔽层,嵌设于绝缘平板中,其中导电层嵌设于绝缘平板,且位于多个电磁干扰屏蔽层之间。

[0025] 于一实施例中,屏蔽层包括一半导体材料。

[0026] 于一实施例中,绝缘平板包括FR4材料。

[0027] 本发明另一目的在于提供一种电源变压器,其结构包括前述平面绕组结构、磁芯

以及次级绕组结构。其中次级绕组结构通过磁芯与平面绕组结构磁耦合。

[0028] 于一实施例中,部分磁芯设置于绝缘平板的通孔内。

[0029] 于一实施例中,次级绕组结构电性连接至平面绕组结构的屏蔽层。

[0030] 本发明再一目的提供一种平面绕组结构,其结构包括绝缘平板、第一绕线组以及第二绕线组。其中绝缘平板的中央部分具有一通孔,以容置一磁芯。第一绕线组设置于绝缘平板上,且第一绕线组环绕通孔并靠近通孔的周围。第二绕线组设置于绝缘平板上,且第二绕线组环绕通孔。第二绕线组与通孔的周围相隔一第一距离,并与平面绕线结构的边缘相隔一第二距离。

[0031] 于一实施例中,平面绕线结构还包括一第三绕线组,设置于绝缘平板上,且第三绕线组环绕通孔且靠近绝缘平板的边缘。

[0032] 于一实施例中,第一距离和第二距离相等。

[0033] 于一实施例中,第一距离和第二距离的百分比差异小于20%。

[0034] 本发明又一目的提供一种平面绕组结构,其结构包括绝缘平板、第一高压绕组以及第一低压绕组。绝缘平板具有第一通孔和第二通孔,用以容置一磁芯。第一高压绕组设置于绝缘平板上。第一高压绕组环绕第一通孔并靠近第一通孔的周围。第一低压绕组设置于绝缘平板上。第一低压绕组环绕第二通孔并与第二通孔的周围相隔一第一距离。

[0035] 于一实施例中,平面绕组结构还包括一第二高压绕组以及一第二低压绕组。第二高压绕组设置于绝缘平板上,第二高压绕组环绕第二通孔并靠近第二通孔的周围。第二低压绕组设置于绝缘平板上,第二低压绕组环绕第一通孔并与第一通孔的周围相隔一第二距离。

[0036] 于一实施例中,第一低压绕组和第二低压绕组串联电连接。

## 附图说明

[0037] 图1为公开公知绞合线封装变压器的解决方案示意图。

[0038] 图2为公开另一公知变压器设计,其于磁芯之间插入间隙,并将变压器分成低压(LV)侧和高压(HV)侧两部分。

[0039] 图3为公开使用同轴结构来形成变压器初级侧和次级侧的公知解决方案示意图。

[0040] 图4为公开公知使用印刷电路板进行中压应用的解决方案。

[0041] 图5为公开本发明实施例中用于电源变压器的印刷电路板(PCB)型平面绕组结构的透视图。

[0042] 图6为公开图5中PCB型平面绕组结构沿A-A线段的截面图,其中包含有本发明实施例的屏蔽边缘处理层。

[0043] 图7为公开图5中PCB型平面绕组结构沿B-B线段的截面图。

[0044] 图8为公开图5中PCB型平面绕组结构沿C-C线段的截面图,其中包含有本实施例的均压环结构。

[0045] 图9为公开图5中PCB型平面绕组结构沿D-D线段的截面图。

[0046] 图10为公开图5中PCB型平面绕组结构沿A-A线段的截面图,其中包含有本发明实施例的嵌入式EMI屏蔽层。

[0047] 图11为公开图10中PCB型平面绕组结构的各个层别俯视图。

- [0048] 图12为公开图10中PCB型平面绕组结构的等效电路图。
- [0049] 图13为公开本发明实施例中包括两相同平面绕组模块的初级绕组组件结构。
- [0050] 图14为公开图13中初级绕组组件结构的等效电路图。
- [0051] 图15为公开本发明实施例中包含图13所示初级绕组组件结构的变压器组件结构。
- [0052] 图16为公开本发明实施例中用以保持图13所示初级绕组组件结构的集成导电线架的截面图。
- [0053] 图17为公开本发明一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的俯视图。
- [0054] 图18为公开本发明一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的截面图。
- [0055] 图19为公开本发明另一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的俯视图。
- [0056] 图20为公开本发明另一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的截面图。
- [0057] 图21为公开本发明再一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的俯视图。
- [0058] 图22为公开本发明再一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的截面图。
- [0059] 图23为公开本发明又一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的俯视图。
- [0060] 图24为公开本发明又一实施例中将高压绕组和低压绕组集成在同一PCB上以实现较小电场的平面绕组结构的截面图。
- [0061] 附图标记如下：
- [0062] 500:平面绕组结构
- [0063] 510:绕组部
- [0064] 511:PCB板
- [0065] 512:通孔
- [0066] 513:导电层
- [0067] 514:埋孔
- [0068] 515:屏蔽层
- [0069] 520:端子部
- [0070] 521:第一端子
- [0071] 522:第二端子
- [0072] 523:屏蔽边缘
- [0073] 524:屏蔽边缘处理层
- [0074] 530:端子壳体
- [0075] 531:第一隔室
- [0076] 532:第二隔室
- [0077] 533:绝缘壁

- [0078] 534、535:端子块
- [0079] 800:均压环结构
- [0080] 810:外部接地环
- [0081] 820:盲孔
- [0082] 830:内部接地环
- [0083] 840:均压环
- [0084] 842:上迹线
- [0085] 844:下迹线
- [0086] 846:埋孔
- [0087] 850:电阻器
- [0088] 1010、1020:屏蔽层
- [0089] 1300:初级绕组组件结构
- [0090] 1310、1320:平面绕组模块
- [0091] 1311、1312:端子
- [0092] 1313、1323:通孔
- [0093] 1321、1322:端子
- [0094] 1400:次级侧绕组
- [0095] 1500:变压器组件结构
- [0096] 1510:磁芯
- [0097] 1520:窗口区域
- [0098] 1600:线架
- [0099] 1700:平面绕组结构
- [0100] 1701:第一通孔
- [0101] 1702:第二通孔
- [0102] 1710:高压绕组
- [0103] 1720:低压绕组
- [0104] 1730:PCB
- [0105] 1800:磁芯
- [0106] 1810、1820:磁柱
- [0107] 1900:平面绕组结构
- [0108] 1901:通孔
- [0109] 1910:高压绕组
- [0110] 1920:低压绕组
- [0111] 1930:PCB
- [0112] 2000:磁芯
- [0113] 2010:中心磁柱
- [0114] 2020:侧边磁柱
- [0115] 2100:平面绕组结构
- [0116] 2110:高压绕组

- [0117] 2120: 低压绕组
- [0118] 2130: PCB
- [0119] 2200: 磁芯
- [0120] 2210: 中心磁柱
- [0121] 2220: 侧边磁柱
- [0122] 2300: 平面绕组结构
- [0123] 2301: 第一通孔
- [0124] 2302: 第二通孔
- [0125] 2310: 高压绕组
- [0126] 2320: 低压绕组
- [0127] 2330: PCB
- [0128] 2400: 磁芯
- [0129] 2410: 第一磁柱
- [0130] 2420: 第二磁柱
- [0131]  $C_{Psh}$ : 等效电容
- [0132]  $C_{Gsh}$ : 等效电容
- [0133] d1: 第一距离
- [0134] d2: 第二距离
- [0135] d3: 第三距离
- [0136] d4: 距离
- [0137] A-A: 线段
- [0138] B-B: 线段
- [0139] C-C: 线段
- [0140] D-D: 线段
- [0141] HV: 高压
- [0142] LV: 低压

### 具体实施方式

[0143] 高频变压器是中压应用领域中的一关键部件。相较于传统的工频变压器 (line-frequency transformer), 高频变压器由于功率级高频操作和较小的应用伏秒, 故可形成更小的尺寸和重量。且高频变压器的绝缘设计至关重要, 更需要满足无局部放电、易于制造、效率更高、热性能更好等设计目标。

[0144] 本发明提供了一种印刷电路板 (PCB) 型平面结构变压器的技术, 以形成主电源变压器和辅助电源变压器。于本发明实施例中, 可通过磁芯电位控制提供一受限电场, 从而为中压 (MV) 应用创建无局部放电 (PD) 设计。同时, 绕组结构可以通过 PCB 制造过程形成, 创建更具模块化和可靠性的结构, 从而提高可制造性。其他诸如终端连接处理、初级和次级绕组布置等技术也可用于控制中压应用中的电应力。

[0145] 在中压应用中, 有两种类型的变压器可以使用。第一种是主电源变压器。如上所述, 主电源变压器被用来代替传统的工频变压器。因此, 从高压 (初级) 侧输送到低压 (次级)

侧的所有电源都需要流经主电源变压器。第二种变压器是辅助电源变压器,用于高压侧的辅助电源应用。高压侧可例如是但不限于栅极驱动器电源、传感器电源或整流转换器或DC-DC转换器所需的其他偏置电源。

[0146] 对于主电源变压器言,其通常于初级侧施加高压,经过降压功能后,变压器的低压输出再连接到次级侧。因此,初级高压侧绕组需采高电压和低电流设计,而次级侧绕组则需采低电压和大电流设计。于本发明实施例中,便提供了一种PCB型高压绕组的解决方案。

[0147] 图5为公开本发明实施例中用于电源变压器的印刷电路板(PCB)型平面绕组结构500的透视图。其中PCB型平面绕组结构500包括绕组部510和端子部520。

[0148] 参见图5,绕组部510包括PCB板511,大致呈带圆角的矩形形状,厚度范围介于1mm至6mm之间。在一些实施例中,PCB板511更例如包括一通孔512,形成在PCB板511的中心部分,用以容置一磁芯。于本实施例中,端子部520例如形成于PCB板511的一延伸部分上,其宽度较绕组部510的PCB板511的宽度窄,例如约为绕组部510的PCB板511的一半。端子部520包括第一端子521和第二端子522,分别形成在PCB板511的延伸部分上,用以将电流导入和/或导出平面绕组结构500。于一实施例中,第一端子521、第二端子522例如穿过PCB板511并且暴露在PCB板511的两个表面上。一个或多个导电层例如嵌设于PCB板511中,并与第一端子521和第二端子522电连接,以构成环绕通孔512的绕线线圈。于一实施例中,绕组部510的外表面例如涂覆屏蔽层,且在PCB板511延伸至端子部520之前的界面上具有屏蔽边缘523。可理解地,PCB板511和通孔512依据设计选择可为任何形状(例如,矩形、圆形、椭圆形等)和任何合适的尺寸的平面结构。

[0149] 再参见图5,于一实施例中,端子部520更例如附加包括端子壳体530,其具有第一隔室531和第二隔室532。第一隔室531和第二隔室532例如由一绝缘壁533所隔开。如图5所示,第一隔室531容置第一端子521和第二端子522,且包围PCB板511的延伸部分。于一实施例中,第一隔室531由例如环氧树脂的绝缘材料所灌封,以作为一屏蔽边缘处理层而使电场平滑,细节将于后进一步详述。应当理解,于本实施例中,屏蔽边缘523由第一隔室531中的绝缘材料所完全覆盖。

[0150] 于本实施例中,第二隔室532包括提供所需爬电距离的中空空间以及用于与外部电源连接的电气套管。绝缘壁533上可形成通孔,使得第一端子521和第二端子522得以连接到外部电源。端子块534、535例如由金属等导电材料所制成,更为外部电源与第一端子521和第二端子522之间的连接提供了电气和机械支撑。于一实施例中,绝缘壁533和端子块534、535更例如以一金属螺钉(未图示)贯穿。于一些实施例中,当多个PCB板如图15所示而串联连接时,端子壳体530可在多个PCB板组装后于变压器级进行修改并应用。

[0151] 图6为公开图5中PCB型平面绕组结构500沿A-A线段的截面图,其中包含本发明实施例的屏蔽边缘处理层。图7为公开图5中PCB型平面绕组结构500沿B-B线段的截面图。

[0152] 参见图6与图7,于本实施例中,PCB型平面绕组结构500包括四个导电层513(由铜或其他合适的金属材料所制成),以串列方式(cascaded manner)连接,且嵌设于PCB板511中。可理解的是,依设计选择,平面绕组结构500可以使用任何适当数量的导电层513。如图6与图7所示,本实施例仅利用内层作为高压绕组来进行导电。导电层513间主要通过PCB板511的PCB材料而彼此绝缘,并且通过埋孔514而电连接。于其他实施例中,埋孔514可例如填充环氧树脂。于一实施例中,PCB板511由绝缘材料,例如FR4材料,所制成,以作为导电层513

之间的绝缘层。由于PCB的FR4材料已广泛应用于相关行业成为电源或控制板。FR4内部或FR4到内部铜层之间的品质和空隙缺陷均可获致良好的控制,故可极尽限度地消弭内部局部放电(PD)或层别间局部放电的缺陷。

[0153] 于一实施例中,PCB板511的外表面涂有屏蔽层515,该屏蔽层515可以由诸如碳导电涂料的半导体材料所制成。其中半导体材料所制成的屏蔽层515可例如与低压侧共享相同的电位。如此,若屏蔽层515于屏蔽边缘523处突然终止,则在屏蔽边缘523周围将存在高电应力。为了避免此强电场的发生,于一实施例中,需以一屏蔽边缘处理层524来平滑电场。

[0154] 图8为公开图5中PCB型平面绕组结构500沿C-C线段的截面图,其中包含有本实施例的均压环结构800。图9为公开图5中PCB型平面绕组结构500沿D-D线段的截面图。

[0155] 参见图8与图9,于本实施例中,在导电层513和屏蔽层515之间引入均压环结构800以减小电场应力。应当理解,均压环结构800可以单独存在或与图6中的屏蔽边缘处理层524结合来降低电场应力。不同于图6所示以屏蔽边缘523来终止接地电位,于本实施例中,接地电位可例如通过外部接地环810、盲孔820和内部接地环830延伸到内部PCB结构中。外部接地环810在PCB制造过程中一起形成,可视为PCB板511外表面上的一外层。当应用屏蔽层515时,屏蔽层515可以覆盖外部接地环810,从而共享相同的接地电位。盲孔820将接地电位进一步向下电连接至嵌设于PCB板511中的内部接地环830。如此,强电应力将不再存在于屏蔽边缘523上,而是存在于内部接地环830的边缘上。

[0156] 由于内部接地环830被高绝缘材料所包裹,故可以减轻暴露在PCB板511外部的电场。然而,可能需要进一步减小电场,因为覆盖内部接地环830的绝缘材料(例如,FR4)的有限厚度,可能不会使电场低于空气击穿值。因此,可能需要在水平方向上进一步扩展电场。于一实施例中,内部接地环830和第一端子521之间可实施多个嵌入式均压环840,以在彼此之间提供一受控电位。均压环840最初可以单件式制造,然后再蚀刻成多个均压环840。由此电场可由垂直方向至水平方向显著地降低,从而减少PCB板511外表面的暴露应力。于一实施例中,每个均压环840的电位可以通过分别连接至相邻均压环840之间的嵌入式或埋入式电阻器850来控制。于一些实施例中,埋入式电阻器850的电阻约为10M欧姆。

[0157] 如图9所示,每个均压环840包括一上迹线842、一下迹线844和两个埋孔846,共同形成围绕导电层513的矩形导电环。均压环840之间的电阻器850也例如具有矩形环形状。上迹线842、下迹线844、埋孔846可于PCB制造过程中制造,因此额外劳动需要最少。均压环840之间的电阻器850也可以在PCB制造过程中制造。于本实施例中,包含五个等距分离的均压环840,每个均具有矩形封闭回路,以及五个所述的电阻器850。应当理解,均压环结构800可以任何合适数量和具有任何合适形状和/或配置的均压环840和电阻器850所构成。于一实施例中,离屏蔽边缘523最远的一均压环840则例如电连接至导电层513中的一个或第一端子521和第二端子522中的一个。

[0158] 电源变压器的初级侧和次级侧之间的杂散电容,由相对于屏蔽层515的高压绕组(导电层513)决定,屏蔽层515与低压侧共享相同的电位。由于占位面积相对较大,杂散电容可能无法忽视。图10为公开图5中PCB型平面绕组结构沿A-A线段的截面图,其中包含本发明实施例的嵌入式EMI屏蔽层1010、1020。图11为公开图10中PCB型平面绕组结构500的各个层别俯视图。

[0159] 图10所示的PCB型平面绕组结构500与图5所示者基本相同。于本实施例中,图10所

示的平面绕组结构500还包括设置在导电层513上方且与导电层513绝缘的第一嵌入式EMI屏蔽层1010,以及设置在导电层513下方并与导电层513绝缘的第二嵌入式EMI屏蔽层1020。第一嵌入式EMI屏蔽层1010和第二嵌入式EMI屏蔽层1020例如分别通过第一EMI屏蔽端子1011和第二EMI屏蔽端子1021电耦合至PCB板511的外部。PCB板511内部的第一嵌入式EMI屏蔽层1010与第二嵌入式EMI屏蔽层1020为高频电噪声提供了一受控的EMI路径,从而将EMI水平降低至低电压侧。

[0160] 图12为公开图10中PCB型平面绕组结构500的等效电路图。EMI屏蔽层1010、1020与高压绕组(导电层513)产生一等效电容 $C_{Psh}$ ,并与屏蔽层515产生一等效电容 $C_{Gsh}$ 。EMI屏蔽端子1011、1021可连接回初级接地端,使得初级侧产生的噪声可以循环回到初级侧,从而减少与变压器次级侧的交互作用。

[0161] 图13为公开本发明实施例中包括两相同平面绕组模块1310、1320的初级绕组组件结构1300。图14为公开图13中初级绕组组件结构1300的等效电路图。图15为公开本发明实施例中包含图13所示初级绕组组件结构1300的变压器组件结构1500。

[0162] 参见图13至图15,于一实施例中,平面绕组模块1310包括端子1311、1312,而平面绕组模块1320包括端子1321、1322。当平面绕组模块1310、1320组合以形成初级绕组组件结构1300时,平面绕组模块1310、1320的一个沿其纵轴翻转180度,使得平面绕组模块1310、1320可以堆叠在彼此的顶部,通孔1313、1323彼此对齐,且端子1312、1322对齐并相互电连接。平面绕组模块1310、1320可以利用外部螺钉来串联连接,其等效电路如图14所示。于本实施例中,次级侧绕组1400可由绞合线制成,初级侧可由两块板体串联。初级侧绕组1300和次级侧绕组1400的布置可例如是如图15所示的并排配置,或呈交错配置(即,次级侧绕组交错在初级侧绕组之间),这取决于所需的漏电感。通过使用外涂屏蔽层,可使屏蔽层的电位限制在低电压水平,则变压器组件结构1500的磁芯1510的窗口区域便不需要灌封来填充。其间高压绕组与低压绕组堆叠在一起,即便低压绕组仍为一绞合线。

[0163] 图16为公开本发明实施例中用以保持图13所示初级绕组组件结构1300的集成导电线架1600的截面图。线架1600例如是导电的或者涂有金属层,使得初级绕组组件结构1300的屏蔽层可以接地,并与低压侧共享相同的电位。如此,在磁芯1510的窗口区域1520中不需要进行灌封,并可以强制空气冷却直接去除初级绕组组件结构1300产生的热量,具有极好的热效益。

[0164] 如前所述,除主电源变压器外,辅助电源变压器也广泛用于中压应用。对于辅助电源变压器而言,其需具备较低的外形(尤其是较小的高度)以适合功率级外壳。对于平面结构设计,变压器的高度通常由磁芯所决定。因此,必须妥善地控制磁芯和外壳之间的电位。此外,这些应用尚需要初级侧和次级侧之间具有最小的杂散电容,以减少从功率级到控制级的耦合。再者,大多数辅助电源变压器不需要处理大功率,因此可以将初级侧和次级侧集成至一个PCB中。

[0165] 图17为公开本发明一实施例中将高压(HV)绕组1710和低压(LV)绕组1720集成在同一PCB 1730上以实现较小电场的平面绕组结构1700的俯视图。图18为公开本发明一实施例中将高压绕组1710和低压绕组1720集成在同一PCB 1730上以实现较小电场的平面绕组结构1700的截面图。如图17与图18所示,平面绕组结构1700包括第一通孔1701和第二通孔1702,并且可与CC型磁芯1800一起使用,以形成变压器。高压绕组1710围着第一通孔1701与

第二通孔1702而缠绕,且非常靠近磁芯1800的两个磁柱1810、1820。低压绕组1720以类似于高压绕组1710的形式围着第一通孔1701与第二通孔1702而缠绕,但相对远离磁柱1810、1820,且低压绕组1720是采串联连接。高压绕组1710和低压绕组1720在PCB 1730上彼此分离。在高压绕组1710和低压绕组1720与磁芯1800的顶面和底面之间可形成间隙。因为高压绕组1710非常靠近磁芯1800,磁芯1800的电位可以控制在非常靠近高压侧,这使得电场主要集中在由高压至低压的中心区域。

[0166] 于一实施例中,磁芯1800和平面绕组结构1700可用环氧树脂或其他绝缘材料灌封,以作为机械支撑且无局部放电。因为没有绞合线,所以可以使用高粘度的灌封材料进行灌封。同时,由于磁芯电位得到很好的控制,灌封的外壳高度可以非常接近磁芯高度,因为磁芯顶部或底部周围并无强电场。

[0167] 图19为公开本发明另一实施例中将高压绕组1910和低压绕组1920集成在同一PCB 1930上以实现较小电场的平面绕组结构1900的俯视图。图20为公开本发明另一实施例中将高压绕组1910和低压绕组1920集成在同一PCB 1930上以实现较小电场的平面绕组结构1900的截面图。如图19与图20所示,平面绕组结构1900包括通孔1901,并与EE型磁芯2000一并用以形成一变压器。高压绕组1910紧邻磁芯2000的中心磁柱2010而缠绕。低压绕组1920围绕磁芯2000的中心磁柱2010而缠绕,与通孔1901的外围(或与磁芯2000的中心磁柱2010)形成一第一距离 $d_1$ ,并与平面绕组结构1900的边缘(或与磁芯2000的侧边磁柱2020)形成一第二距离 $d_2$ 。于各种实施例中,第一距离 $d_1$ 和第二距离 $d_2$ 可相同或略有不同(例如,第一距离 $d_1$ 和第二距离 $d_2$ 的百分比差异小于20%)。另外,在高压绕组1910和低压绕组1920与磁芯2000的窗口区域的顶面或底面之间则可形成一第三距离 $d_3$ 的间隙。

[0168] 图21为公开本发明再一实施例中将高压绕组2110和低压绕组2120集成在同一PCB 2130上以实现较小电场的平面绕组结构2100的俯视图。图22为公开本发明再一实施例中将高压绕组2110和低压绕组2120集成在同一PCB 2130上以实现较小电场的平面绕组结构2100的截面图。如图21与图22所示,平面绕组结构2100与EE型磁芯2200一并形成一变压器。其中图21与图22所示的平面绕组结构2100与图19与图20所示的平面绕组结构1900基本相同。于本实施例中,平面绕组结构2100还包括两组高压绕组2110,其中第一组高压绕组2110紧邻磁芯2200的中心磁柱2210而缠绕,而第二组高压绕组2110则邻近磁芯2200的侧边磁柱2220之外。低压绕组2120围绕磁芯2200的中心磁柱2010而缠绕,与通孔2101(或与中心磁柱2210)的外围形成一第一距离 $d_1$ ,并与平面绕组结构2100的边缘(或与侧边磁柱2220)形成一第二距离 $d_2$ 。于一实施例中,第一距离 $d_1$ 和第二距离 $d_2$ 可相同或略微不同(例如,第一距离 $d_1$ 和第二距离 $d_2$ 的百分比差异小于20%)。而在高压绕组2110和低压绕组2120与磁芯2200的窗口区域的顶面或底面之间则形成有一第三距离 $d_3$ 的间隙。

[0169] 图23为公开本发明又一实施例中将高压绕组2310和低压绕组2320集成在同一PCB 2330上以实现较小电场的平面绕组结构2300的俯视图。图24为公开本发明又一实施例中将高压绕组2310和低压绕组2320集成在同一PCB 2330上以实现较小电场的平面绕组结构2300的截面图。如图23与图24所示,平面绕组结构2300包括第一通孔2301和第二通孔2302,且平面绕组结构2300与CC型磁芯2400一并用以形成一变压器。高压绕组2310围绕第一通孔2301而缠绕并且非常靠近第一通孔2301的外围或磁芯2400的第一磁柱2410。低压绕组2320围绕第二通孔2302而缠绕,且与磁芯2400的第二磁柱2420形成一距离 $d_4$ 。而在高压绕组

2310和低压绕组2320与磁芯2400的窗口区域的顶面或底面之间则形成有一第三距离d3的间隙。

[0170] 出于说明和界定本发明的目的,应注意程度的用语(例如,“基本上”、“稍微”、“约略”、“相较”等)在本文中用于表示其即有程度的不确定性,可将其归属于任何定量比较、价值、测量或其他表示。此类程度用语在本文中还可用于表示与所述参考不同的定量(例如,差异约10%或更少),而不会导致所讨论主题的基本功能发生变化。除非本文另有说明,否则本文中出现的任何数值均可通过程度用语(例如,“约略”)进行了修饰,从而反映其即有程度的不确定性。

[0171] 本发明得由本领域技术人员任施匠思而为诸般修饰,然而皆不脱如附权利要求所欲保护。

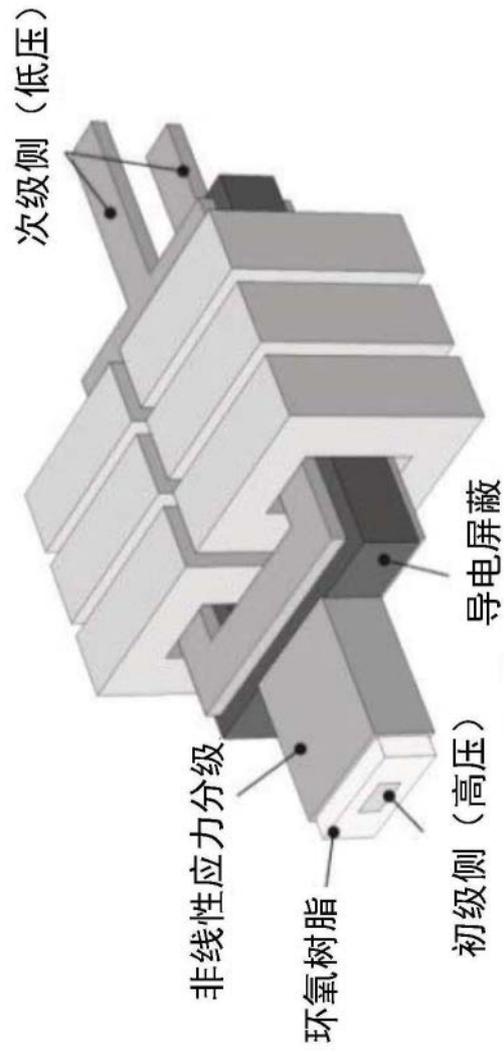


图1

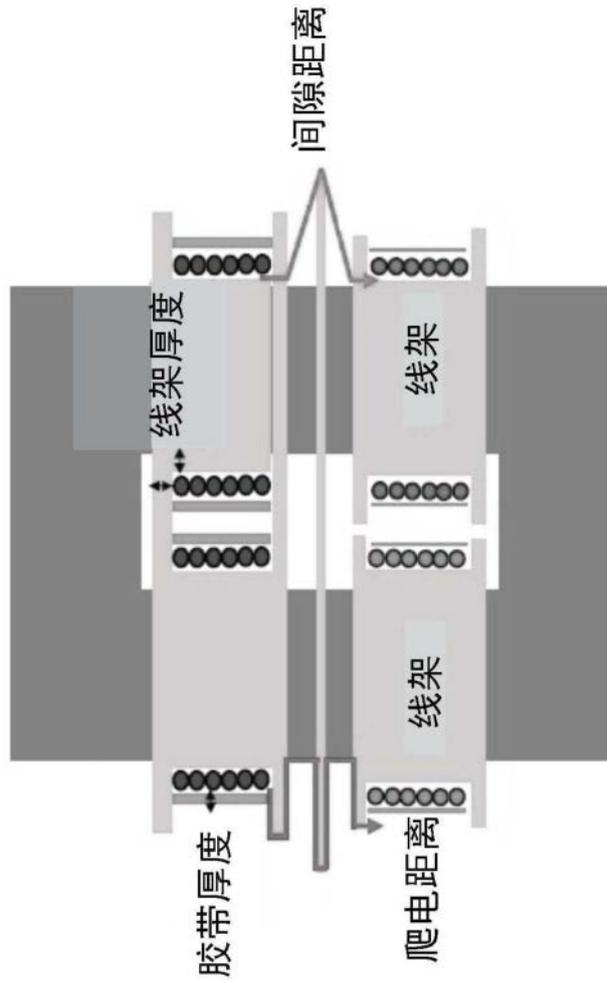


图2



图4

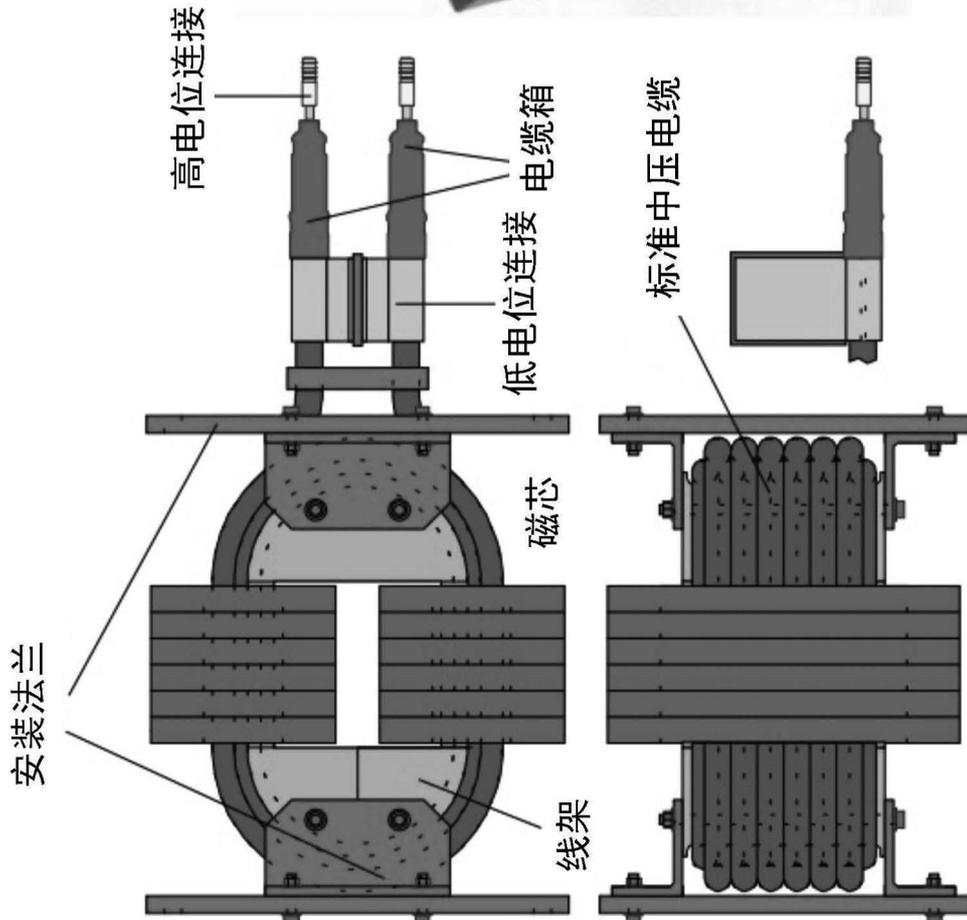


图3

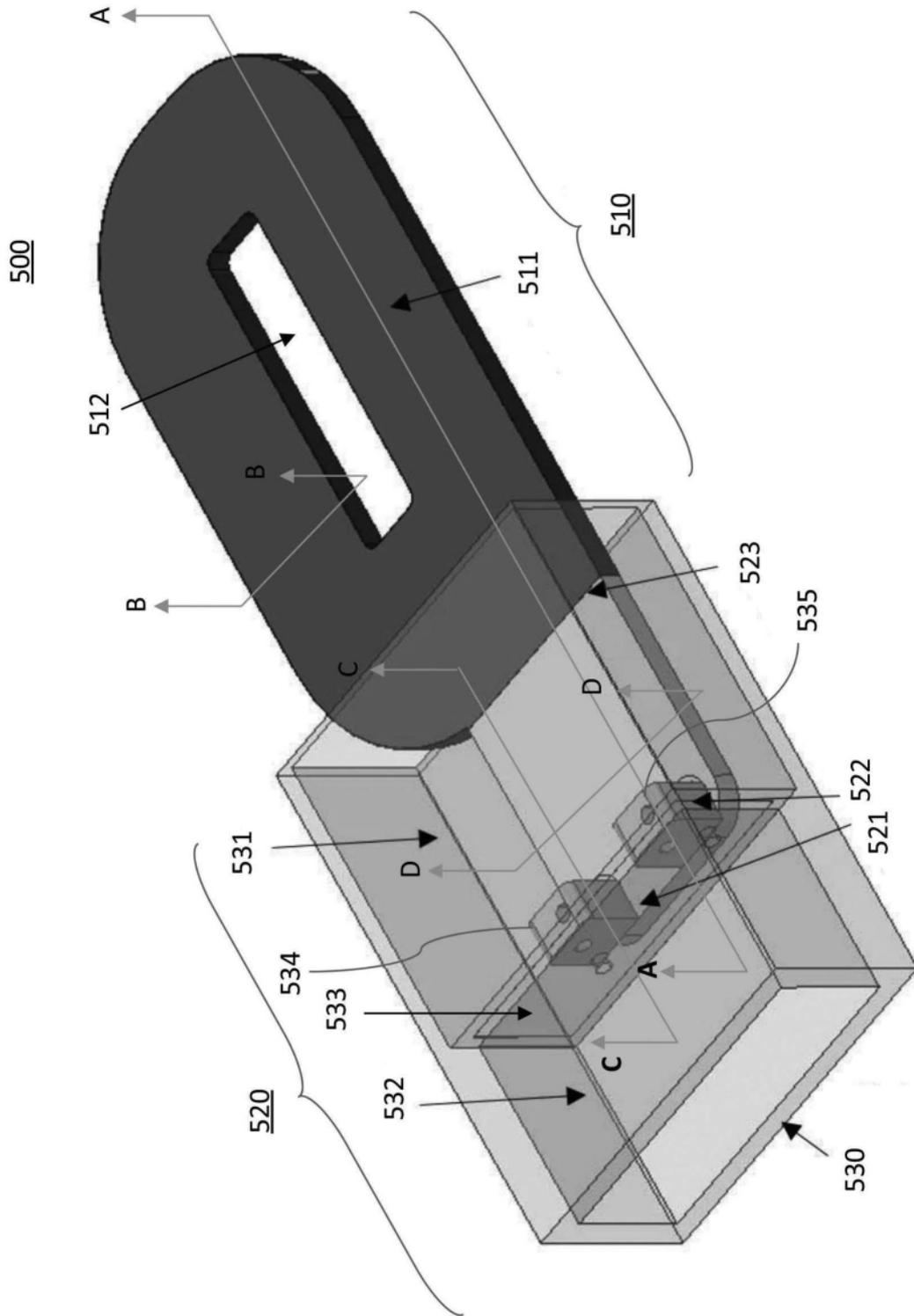


图5

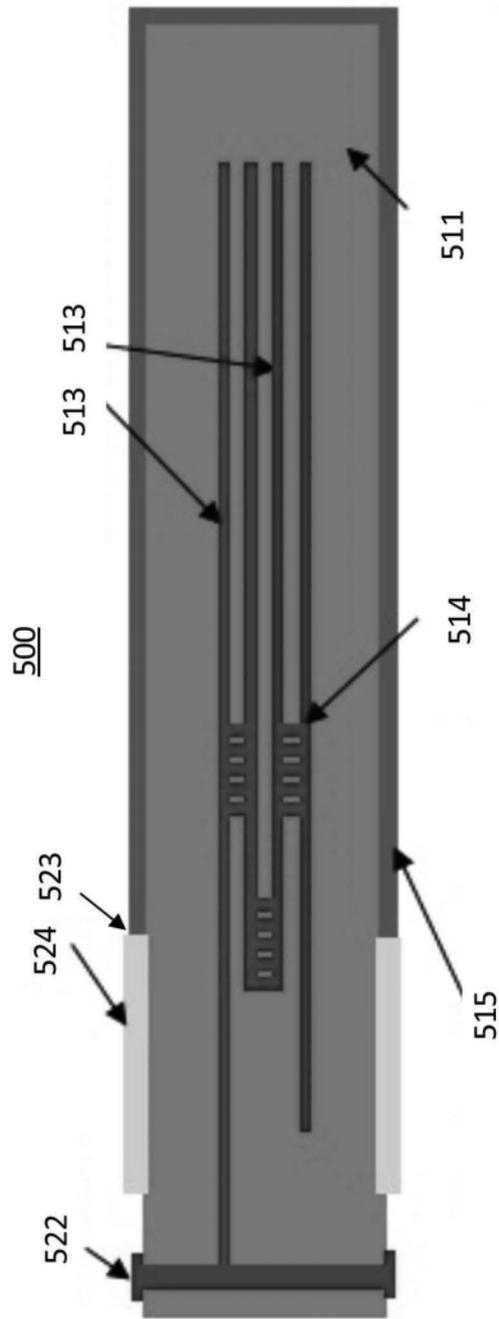


图6

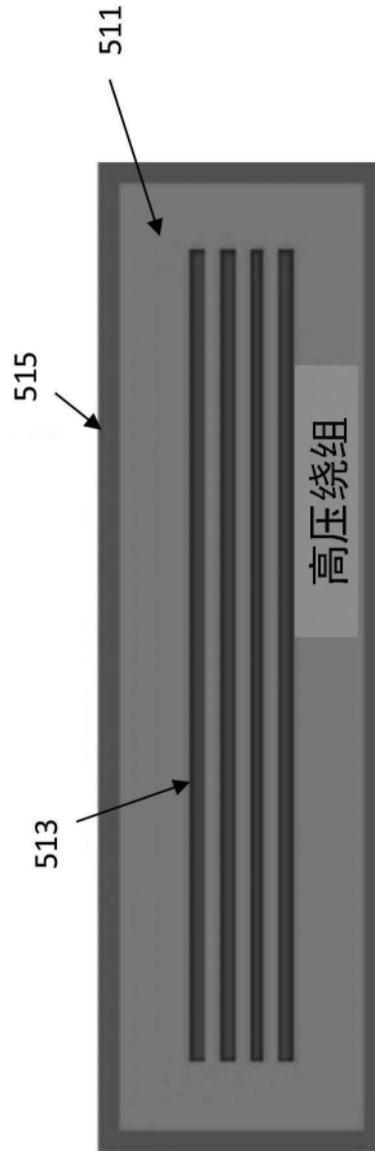


图7

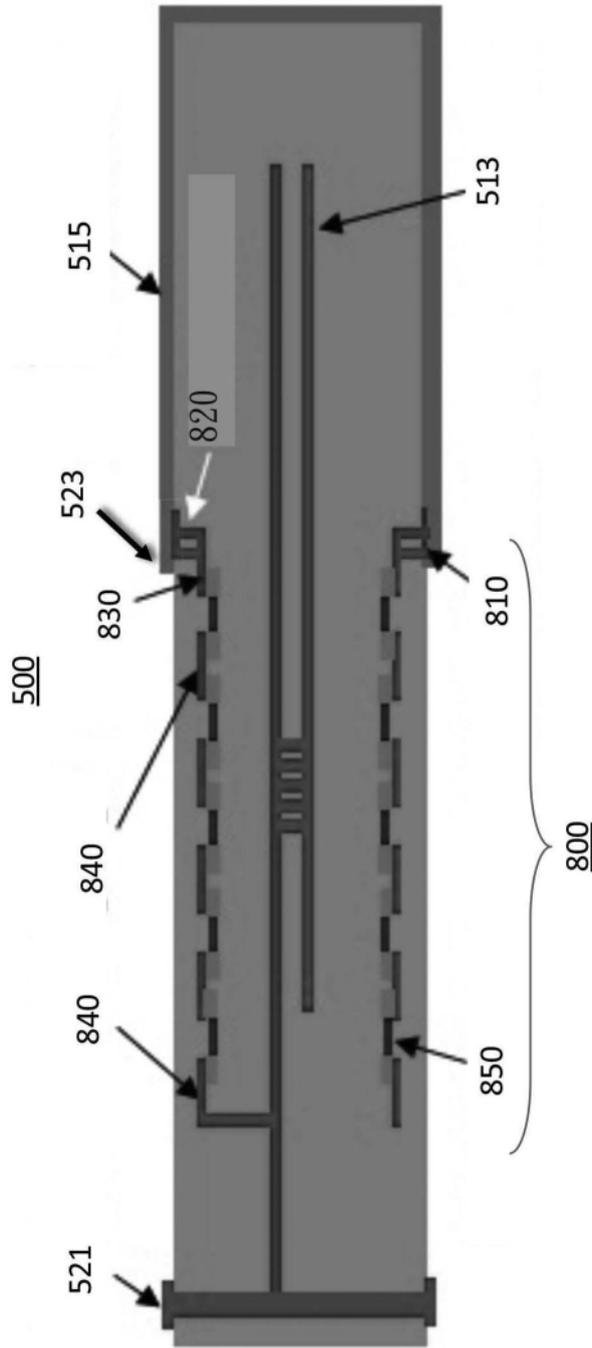


图8

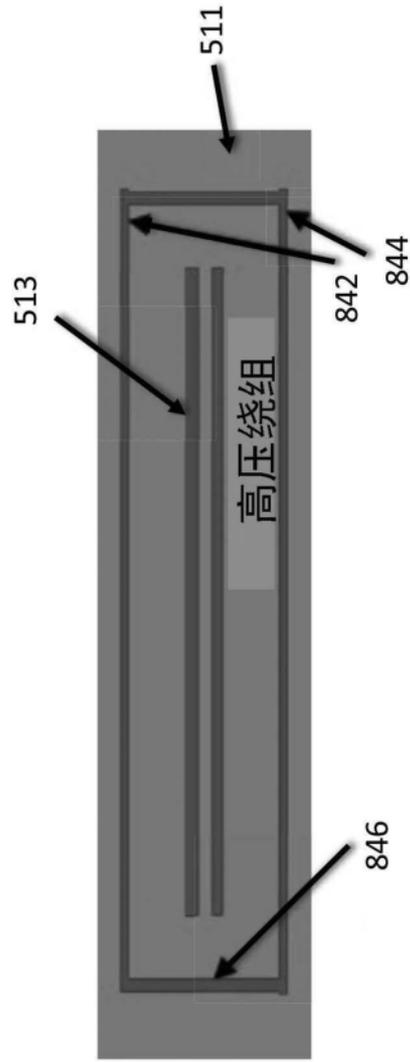


图9

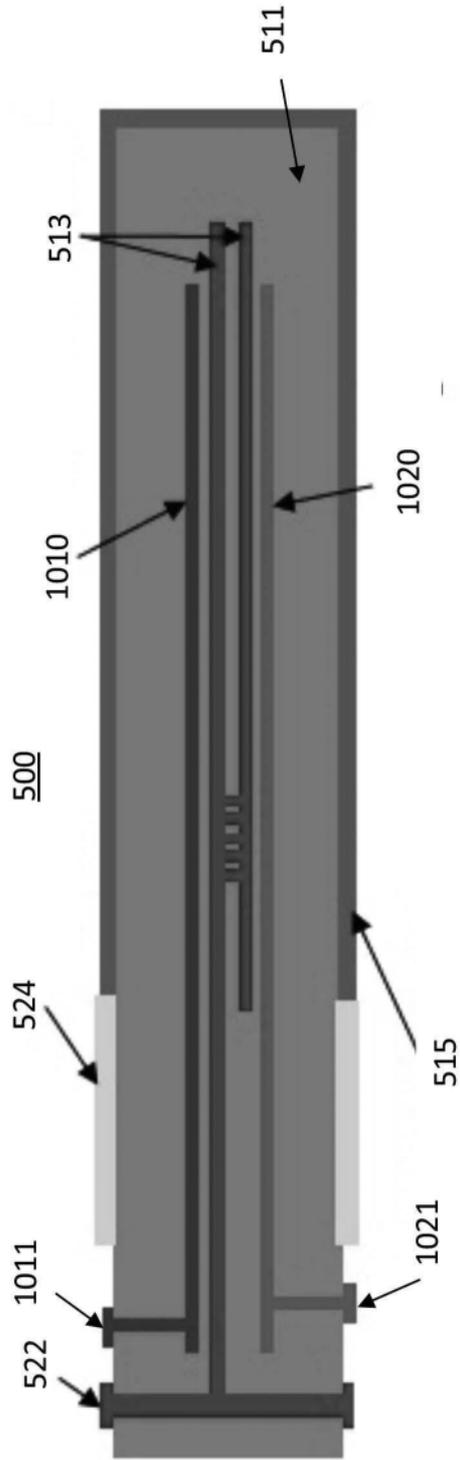


图10

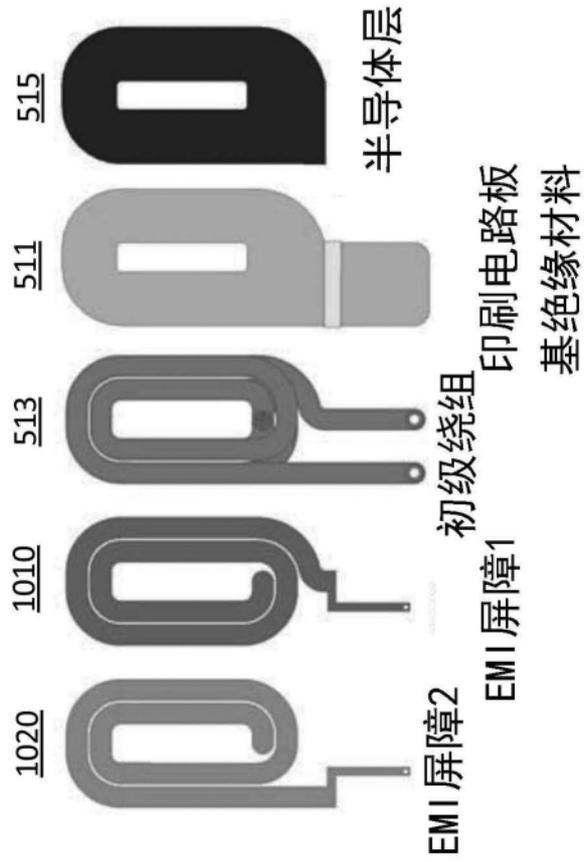


图11

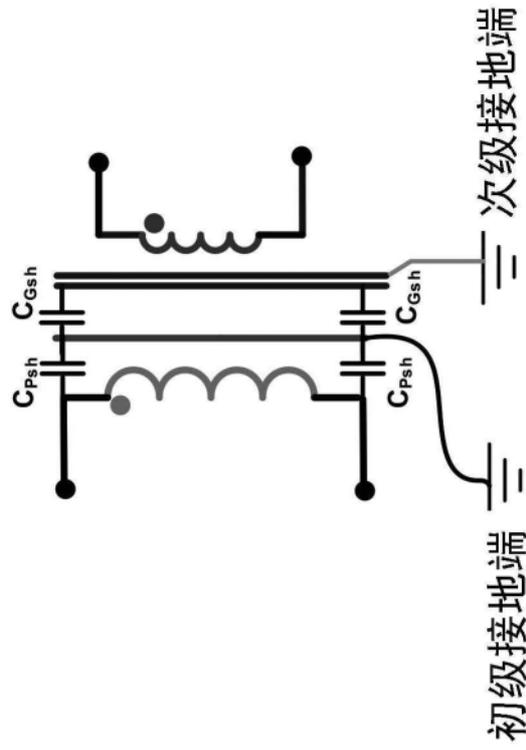


图12

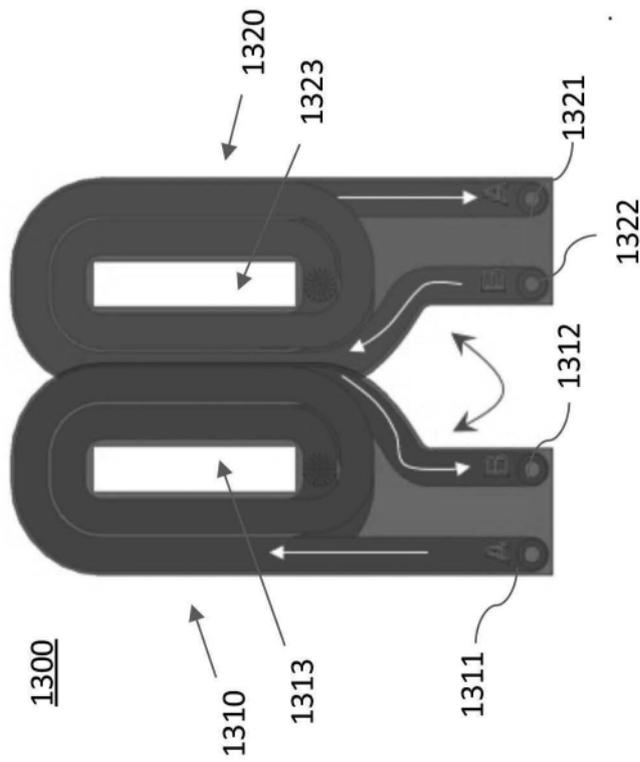


图13

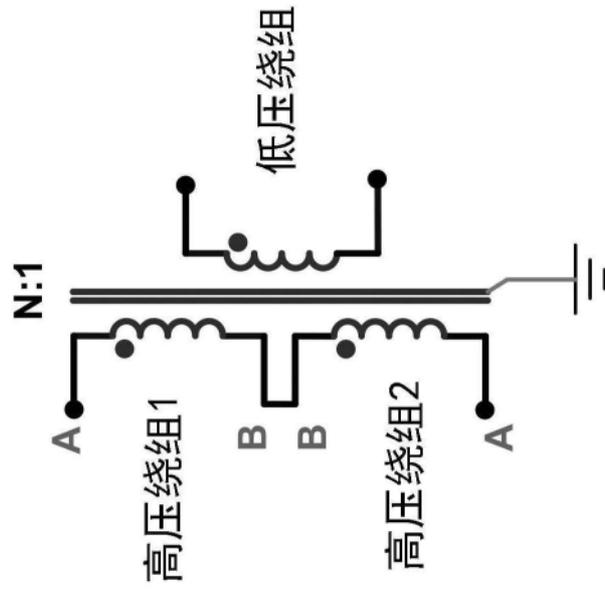


图14

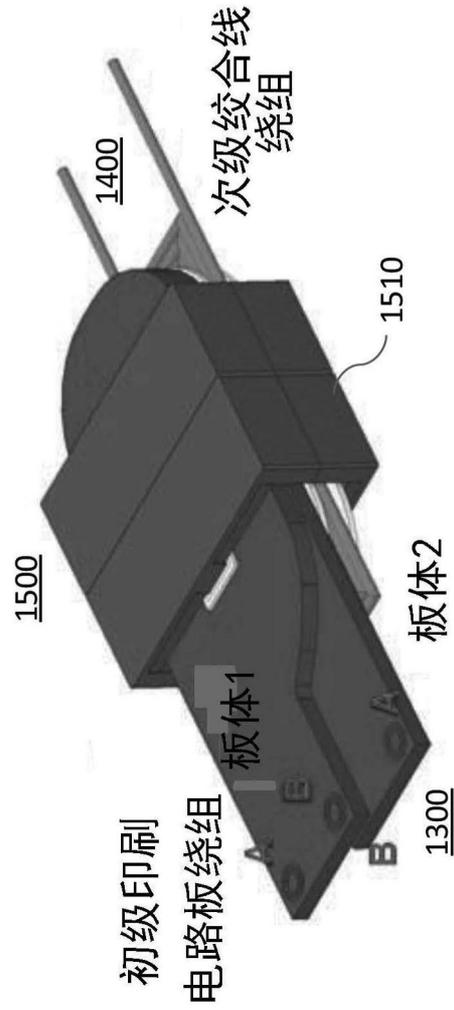


图15

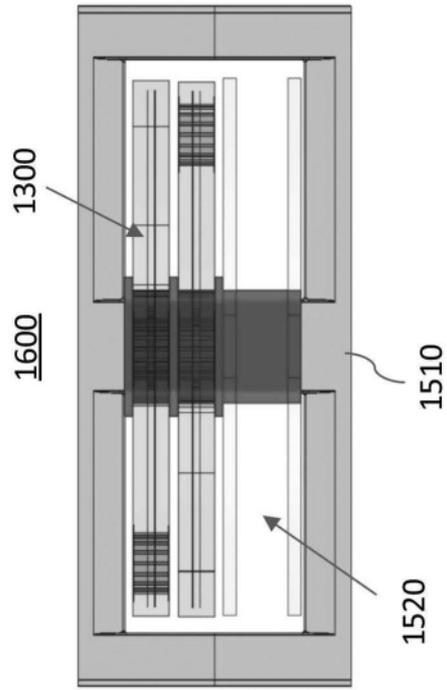


图16

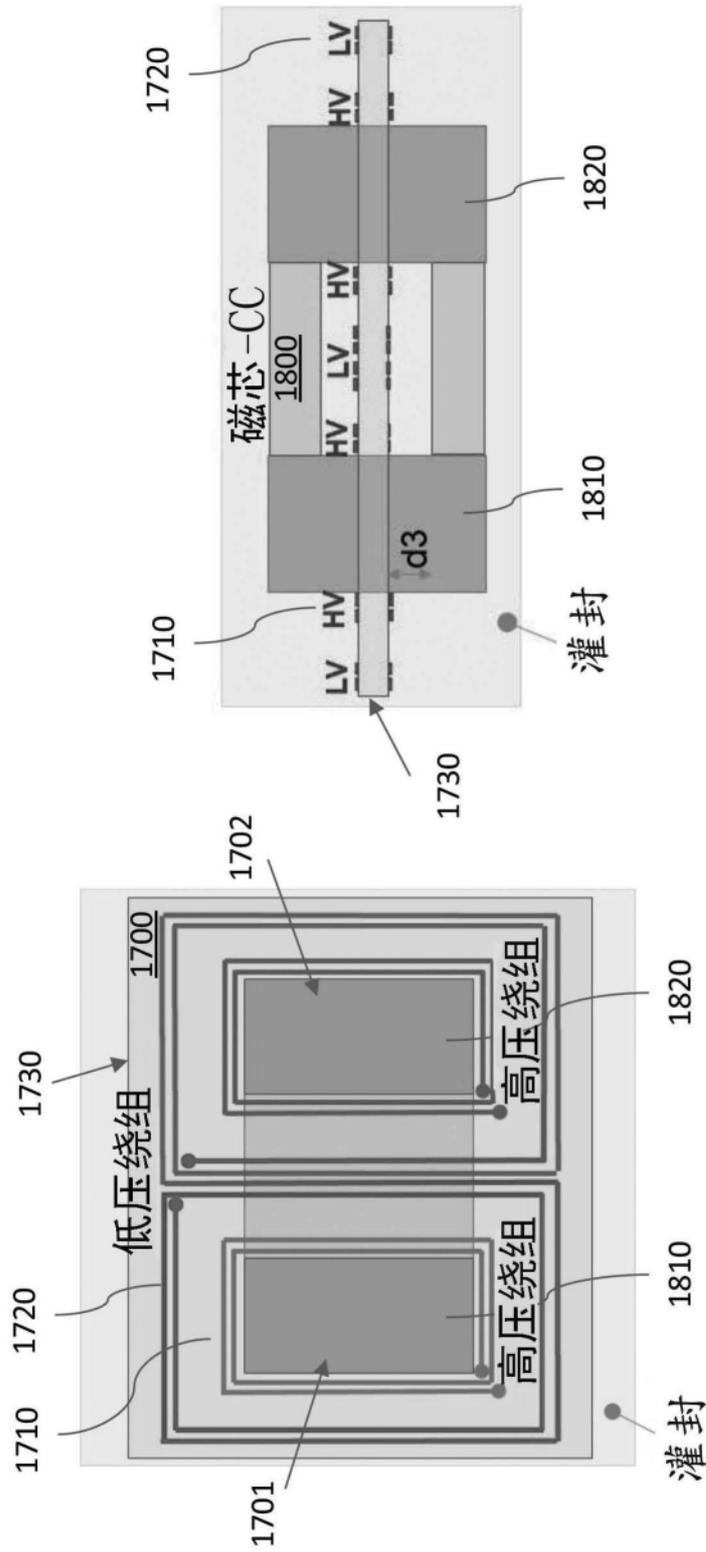


图18

图17

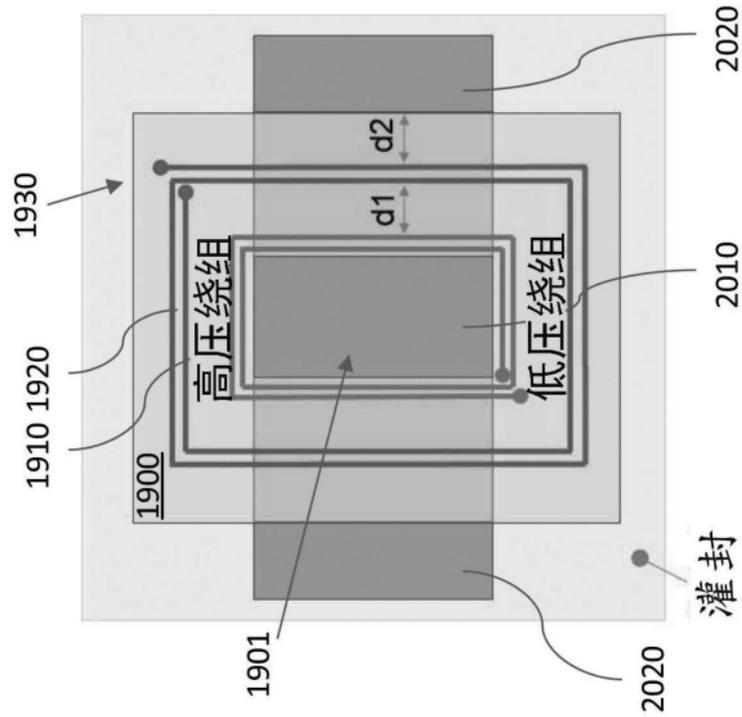


图19

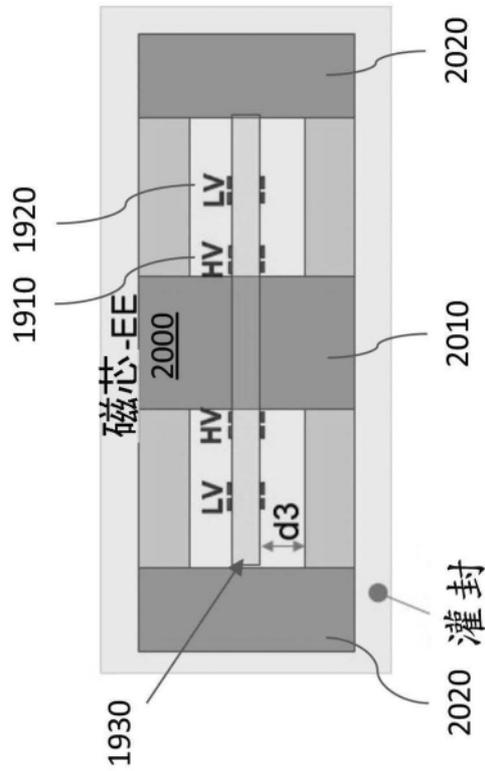


图20

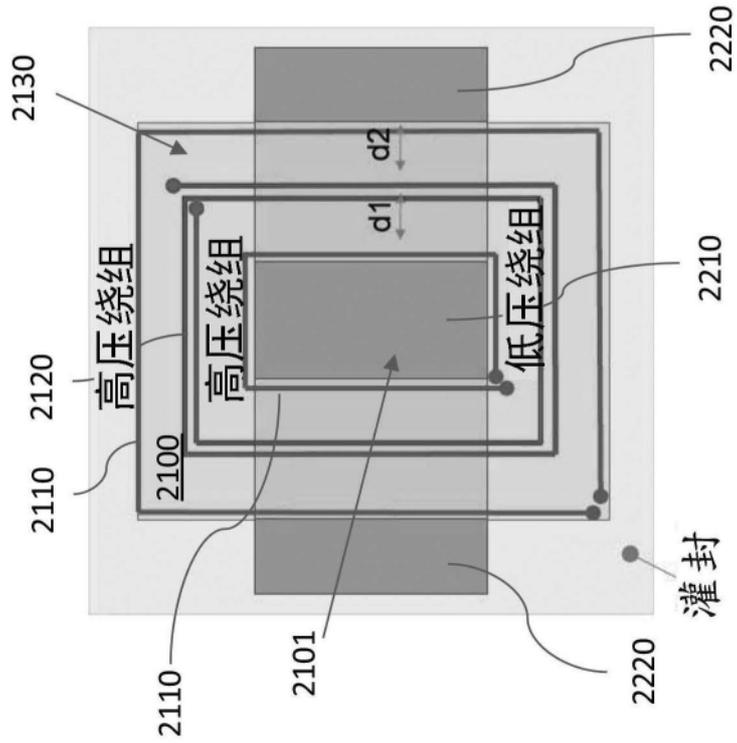


图21

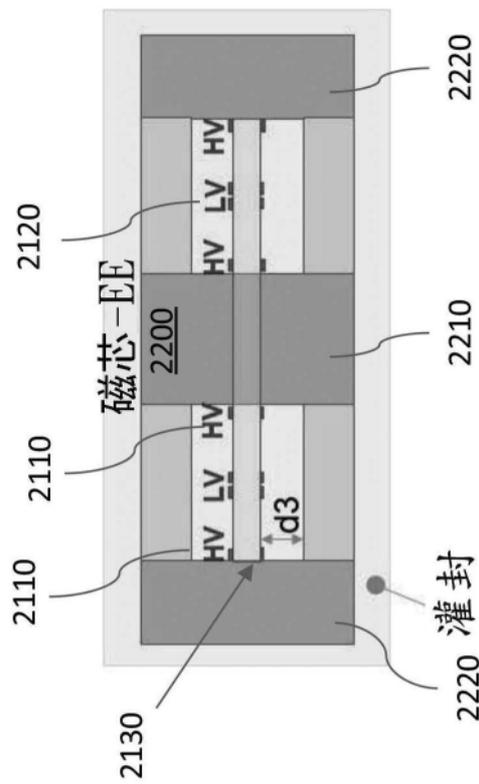


图22

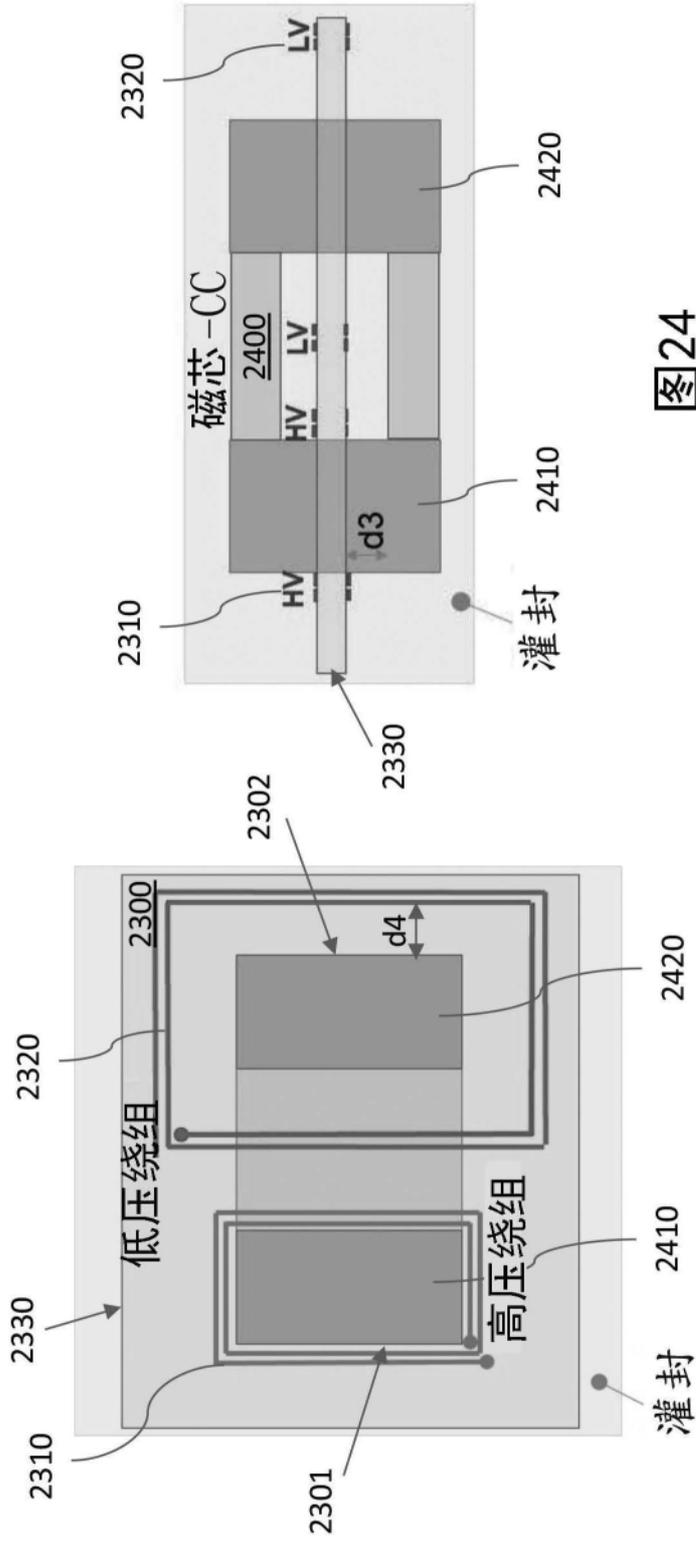


图24

图23