

# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98801968. X

[43]公开日 2000年2月9日

[11]公开号 CN 1244290A

[22]申请日 1998.2.2 [21]申请号 98801968. X

[30]优先权

[32]1997.2.3 [33]SE [31]9700336-2

[32]1997.11.28 [33]SE [31]9704412-7

[86]国际申请 PCT/SE98/00153 1998.2.2

[87]国际公布 WO98/34245 英 1998.8.6

[85]进入国家阶段日期 1999.7.21

[71]申请人 ABB 阿西亚布朗·勃法瑞公司

地址 瑞典韦斯特罗斯

[72]发明人 乌德·福勒姆 斯文·赫恩佛尔德

佩尔·赫尔姆伯格 古纳·凯兰德

黎·明 马茨·莱昂

[74]专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利商标事  
务所

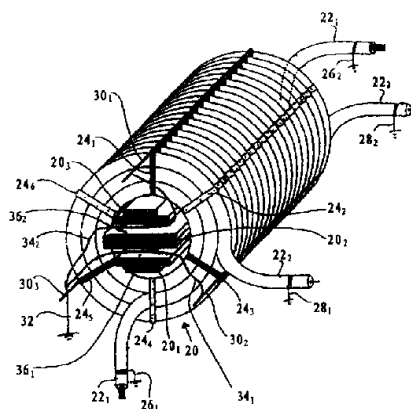
代理人 王茂华

权利要求书 2 页 说明书 10 页 附图页数 5 页

[54]发明名称 电力变压器/电抗器

[57]摘要

本发明涉及一种包含至少一个绕组的电力变压器/电抗器。各绕组是利用高压 电缆设计构成的,该电缆包含一个电导体,围绕该导体配置第一半导体层,围绕第一半导体层设置一个绝缘层,围绕绝缘层配置第二半导体层。第二半导体层在每个绕组的两端(26<sub>1</sub>, 26<sub>2</sub>; 28<sub>1</sub>, 28<sub>2</sub>)处和其附近接地,此外在两端(26<sub>1</sub>, 26<sub>2</sub>; 28<sub>1</sub>, 28<sub>2</sub>)之间的一点直接接地。



ISSN 1008-4274

## 权 利 要 求 书

1. 一种包含至少一个绕组的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 一个/一些绕组是由高压电缆(10)构成的, 该高压电缆包含一个电导体, 以及围绕该导体配置有第一导电层(14), 围绕第一导电层(14)配置有绝缘层(16), 围绕绝缘层(16)配置有第二导电层(18), 从而第二导电层(18)在每个绕组(22<sub>1</sub>、22<sub>2</sub>)的两个端部(26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>; 28<sub>1</sub>、28<sub>2</sub>)处或者其附近接地, 以及在两端(26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>; 28<sub>1</sub>、28<sub>2</sub>)之间的一个点直接接地。

2. 根据权利要求1所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 至少一个绕组中的至少每一匝中的  $n$  ( $n > 2$ ) 个点按照这样一种方式直接接地, 即在  $n$  个接地点之间的各电连接部分(34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>、...34<sub>n-1</sub>)将磁通分成为  $n$  个部分以便限制由接地产生的损耗。

3. 根据权利要求2所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 高压电缆(10)是按照导体面积在 80-3000 平方毫米之间以及电缆外径在 20-250 毫米之间制造的。

4. 根据权利要求3所述的电力变压器/电抗器, 其中, 绕组横截面积为  $A$  以及绕组每匝的圆周长度为  $l$ , 因此在  $n$  个接地之间的电连接部分(34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>, ...34<sub>n-1</sub>)将所属横截面积分成为各局部区域  $A_1$ 、 $A_2$ 、...、 $A_n$ , 使得

$$A = \sum_{i=1}^n A_i$$

以及将所述长度  $l$  分成为各个部分  $l_1$ 、 $l_2$ 、...、 $l_n$ , 使得

$$l = \sum_{i=1}^n l_i$$

其特征在于, 这  $n$  个接地点之间的电连接部分(34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>, ...34<sub>n-1</sub>)按照这种方式实施, 即每个弧段  $l_i$  的端部电连接起来使得由该电连接部分(34<sub>i-1</sub>)和弧段  $l_i$  所组成的线圈包围局部区域  $A_i$ ,

以及满足条件

$$\frac{\Phi_i}{\Phi} = \frac{l_i}{l}$$

其中 $\Phi_i$ 是通过该局部区域 $A_i$ 的磁通。

5. 根据权利要求4所述的电力变压器/电抗器, 在铁芯的整个截面上磁通密度 $B$ 是恒定的, 其特征在于, 在 $n$ 个接地点之间的各电连接部分(34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>, ...34<sub>n-1</sub>)是按照这样一种方式实施的, 即满足条件

$$\frac{A_i}{A} = \frac{l_i}{l}$$

6. 根据权利要求1-5中之一所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 电力变压器/电抗器包含一个可磁化的铁芯。

7. 根据权利要求1-5中之一所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 电力变压器/电抗器未装有可磁化的铁心。

8. 根据权利要求1所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 一个/一些绕组是可弯曲的(a), 以及在于所述的各层是彼此附着的。

9. 根据权利要求8所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于所述各层是由具有这样一种导电性和材料热膨胀系数之间具有这样一种关系的材料构成的, 以使得在运行过程中由于温度变化所引起的体积的变化能够由该材料的弹性所补偿, 使得在运行过程中可能出现的在温度变化的过程中各层彼此之间维持附着。

10. 根据权利要求9所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 在所述各层中的材料具有高的弹性, 具有的 $E$ 模量小于500兆帕较好, 小于200兆帕更好。

11. 根据权利要求9所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于, 在所述各层中的材料的热膨胀系数基本上是相等的。

12. 根据权利要求9所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于各层之间的附着力在材料的最薄弱的部分至少也应为相同的等级。

13. 根据权利要求8或9所述的电力变压器/电抗器, 其特征在于每个半导体层构成一个基本上等电位的表面。

# 说明书

## 电力变压器/电抗器

本发明涉及一种电力变压器/电抗器。在所有的输配电过程中使用变压器，用以在通常具有不同电压等级的两个或多个电力系统之间交换电力。可以得到功率从 VA 级到 1000 MVA 级的变压器。电压范围已经升高至当今使用的最高输电电压。利用电磁感应在电力系统之间传输电能。

在输电工程中例如在相位补偿和滤波中还有电抗器作为一种基本元件。

本发明相关的变压器/电抗器属于所谓的电力变压器/电抗器，它们的额定输出从几百 KVA 到超过 1000MVA，额定电压从 3-4 KV 到十分高的输电电压。

通常电力变压器的主要任务是能够在两个或者更多的具有不同电压但具有相同频率的电力系统之间交换电能。

常规的电力变压器/电抗器例如在已由 Fredrik Gustavson 所著的书籍“Elektriska Maskiner”（由 The Royal Institute of Technology, Sweden, 1996 出版）（3-60）—（3-12）页中作了介绍。

常规的电力变压器/电抗器包含一个变压器铁芯（下面简称为铁芯），它是由通常为按一定取向层叠的硅钢片构成。该铁芯由一些利用磁轭连接起来的铁芯支臂组成。围绕铁芯支臂装有一些绕组，通常称之为初级绕组、次级绕组和调节绕组。在电力变压器中，这些绕组实际上总是按同心结构排列并且沿着铁芯支臂的长度分布。

在例如所谓的壳式变压器或者在环形变压器中有时会遇到其它类型的铁芯结构。在 DE 40414 中讨论了一些关于铁芯变压器的实例。该铁芯可由常规的可磁化的材料如所述取向的矽钢片和其他可磁化的材料例如铁氧体、非晶材料、多股线材或者金属带构成。正如公知的，在电抗器中可磁化的铁芯不是必须的。

上述绕组虽构成了一个或几个串联的线圈，而线圈却具有很多串

联的匝数。单个线圈的匝数通常构成一个几何形状连续的整体，其在物理上与其余的线圈是分开的。

通过 US 5036165 可以了解一种导体，其中其绝缘层设有半导电的热解的玻璃纤维构成的内层和外层。还公知利用这样一种绝缘层提供在电动机中使用的导体，如在 US 5066881 中介绍的，其中，半导电的热解的玻璃纤维层与形成为导体的两个平行的杆相接触，以及在定子槽中的绝缘层由一个半导电的热解的玻璃纤维外层所环绕。该热解的玻璃纤维材料据介绍是适宜的，这是由于它即使在浸渍处理之后也保持其电阻率。

在线圈/绕组内侧的和在线圈/绕组以及其余的金属零件之间的绝缘系统通常是由最接近导电元件的固体的或基于漆的绝缘体构成，以及在其外侧，绝缘系统由固体纤维素绝缘、液体绝缘，以及还可能由气体形式的绝缘构成。带有绝缘和可能很庞大的零件的绕组按照这种方式占有很大的体积，以及承受在属于变压器的投入使用的电磁元件中及其周围产生的高的电场强度的作用。需要关于绝缘材料的特性的详细的知识，以便预先确定所产生的介电电场强度以及确定尺寸使得将放电的危险降到最小。重要的是，获得一种不改变和不降低绝缘特性的周围环境。

当今占优势的用于常规高压电力变压器/电抗器的外绝缘系统由作为固体绝缘的纤维素材料以及作为液体绝缘的变压器油构成。变压器油是以所谓的石油为基底的。

常规的绝缘系统例如在由 Fredrik Gustavson 所著的著作“Elektriska Maskiner”（由 The Royal Institute of Technology, Sweden, 出版 1996）（3-9）—（3-11）页上作了介绍。

常规的绝缘系统构成相对复杂，另外在制造的过程中需要采取特殊的措施，以便利用该绝缘系统的良好绝缘特性。该系统的水份含量必须很低，以及在绝缘系统中的固相部分需要由周围的油良好的浸渍以便使产生气泡的危险降到最小。在制造过程中，在降落安装到油箱中之前，要对带有绕组的已完工的铁芯进行特殊的干燥处理。再将

铁芯下降安装到油箱中和密封之后，在充油之前，要通过特殊的真空处理抽去油箱中的所有空气。除了大范围地使用车间中的资源之外，从整个制造过程中的角度来看这种处理过程是相当耗时的。

环绕变压器的油箱必须按着这样一种方式构成，即其应能承受全真空，因为该处理过程需要将所有的空气抽出达到几乎绝对真空，这要额外增加材料消耗和制造的时间。

每次安装都需要重复真空处理，为了检查要将变压器打开。

根据本发明，该电力变压器/电抗器至少包含一个绕组，在大多数情况下，绕组围绕可磁化的铁芯配置，它们可以具有不同的几何尺寸。为了简化如下的说明，下面将讨论术语“绕组”。该绕组由具有固体绝缘的高压电缆组成。电缆至少具有位于中心的一个电导体。围绕该导体配置有第一半导体层，围绕该半导体层配置有固体绝缘层，围绕该固体绝缘层配置有第二外部半导体层。

使用这样一种电缆意味着受高电应力影响的变压器/电抗器的这些区域将被限制于电缆的固体绝缘。变压器/电抗器中的其余部分将仅受到相对于高压为中等的电场强度的作用。此外利用这样一种电缆消除了在本发明的背景技术部分中所介绍的几个问题。因而油箱不需要绝缘装置和冷却剂。整体绝缘基本上也变得简单。与常规的电力变压器/电抗器相比较，建造的时间明显缩短。各个绕组可以分别制造，以及可以将变压器/电抗器在现场组装。

然而，使用这样一种电缆会出现新的问题，这必须要解决。第二外半导体层必须在电缆的两端处或者在其附近直接接地，以便在正常运行电压期间和在暂态过程期间出现的电应力将仅主要加在电缆的固体绝缘上。该半导体层和这些直接接地点一起构成一个闭合回路，在运行过程中该回路中会感应电流。该层的电阻率必须足够高，以便在该层中产生的电阻损耗可以忽略。

除了这种磁感应电流之外，容性电流也通过该电缆的直接接地的两端流入到该层。如果该层的电阻率太高，这样容性电流将受到限制，使得在该层的各部分中的电位在产生交变的应力周期期间，可能不同

于地电位达到这一种程度，使电力变压器/电抗器中除了绕组固体绝缘以外的区域将承受电应力。通过使导电层的几个点直接接地，最好绕组的每匝一点直接接地，如果该层的导电率足够高就能保证整个外层置于地电位以及消除上述问题。

外层上每匝一接地点是按这样一种方式形成的，各接地点都处于绕组的基体上以及沿绕组的轴线长度方向的各点电连接到一导电的接地线上，该接地线其后再连接到公共的地电位上。

为了使在该外层中的损耗尽可能地降低，则在外层中可能需要有这样一种高的电阻率，使每匝需要几个接地点。根据本发明按照一种特定的接地处理这种情况是可能的。

因此，在根据本发明的电力变压器/电抗器中每个绕组的两端处或者其附近将第二导电层接地，此外在两个端部间的一点直接接地。

在根据本发明的电力变压器/电抗器中，最好由具有固体挤压成形的绝缘的电缆组成绕组，现在这种类型的电缆用于配电，例如 XLPE 型电缆或者具有 EPR 型绝缘的电缆。这些电缆是可弯曲的，这在本文中是一个很重要的特性，这是由于用于根据本发明的装置的技术是主要基于这样一种绕组系统，在该系统中绕组是以在组装过程中被弯曲的电缆构成的。XLPE 型的电缆的可弯曲性通常对应于对于 30 毫米直径的电缆约 20 厘米的弯曲半径，以及对应于对于直径 80 毫米的电缆约 65 厘米的弯曲半径。在该应用场合下，术语“可弯曲的”用于表示该绕组下至为 4 倍于电缆直径等级的弯曲半径也是可弯曲的，最好按 8 到 12 倍于电缆直径的弯曲半径弯曲。

本发明的绕组的构成是为了即使当它们被弯曲时和当它们在操作的过程中承受热应力时也能保持它们的特性。在本文中电缆中的各层保持相互附着是非常重要的。在这里各层的材料特性是决定性的，特别是它们的弹性以及相对的热膨胀系数。在 XLPE 型电缆中，例如绝缘层由交链的低密度的聚乙烯构成，而导电层由其中混合有碳黑和金属颗粒的聚乙烯构成。由于温度波动所引起的体积变化完全由在电缆中半径的变化所补偿，这是由于相对于这些材料的弹性在各层的热

膨胀系数之间的比较轻微的差别所致，在各层之间未失去附着的情况下可能产生径向膨胀。

上述的材料组合应当认为仅仅是一些实例。满足所规定的条件的以及还满足半导电的条件的（即具有的电阻率处在  $10^{-1}$  -  $10^6$  欧姆厘米的范围内例如 1-500 欧姆厘米或者 10-200 欧姆厘米）的其他组合也落入在本发明的范围内。

例如绝缘层可以由固体的热塑性材料例如低密度的聚乙烯（LDPE）、高密度的聚乙烯（HDPE）、聚丙烯（PP）、聚丁烯（PB）聚甲基戊烯（PP）；交链的材料例如交链的聚乙烯（XLPE）；或者橡胶比如乙丙橡胶（EPR）或者硅橡胶构成。

内半导电层和外半导电层可以为相同的基底材料但是其中混合有由导电材料例如碳黑或者金属粉末颗粒。

这些材料的机械特性特别是它们的热膨胀系数受到相对小的影响，不管为了实现根据本发明所需的导电率至少按照所需的比例，其中混合碳黑还是金属粉末或者未混合。因此绝缘层和各半导电层具有基本相同的热膨胀系数。

乙烯—乙酸乙烯酯共聚物/腈橡胶，丁基接枝聚乙烯、乙烯—丙烯酸丁酯共聚物以及乙烯—丙烯酸乙酯共聚物也可以构成适用于半导电层的聚合物。

即使当在各个层中作为基底使用不同类型的材料，仍希望它们的热膨胀系数基本相同。按照上面列举的材料组合就是这样一种实例。

上面列举的材料具有相对好的弹性，其 E 模量为  $E < 500$  兆帕，最好  $E < 200$  兆帕。该弹性对于沿弹性的径向方向要补偿的各层材料的热膨胀系数之间的微小差别来说是足够的，使得不会出现裂纹或者其他缺陷以及各层不会彼此分离。各层材料是弹性的以及各层之间的附着力对于各种材料的最薄弱的部分至少也具有相同的数值。

两个半导电层的导电率对于基本上均衡沿每一层的电位来说是足够的。外导电层的导电率要足够大以便包容在电缆中的电场，但是为了不会引起由于在沿该层的纵向感应的电流所引起的明显损耗，其应



足够小。

因此两个半导体层中的每一个半导体层基本上构成一个等电位的表面，以及这些层将基本上包围在其间的电场。

当然不能有任何部分妨碍一个或多个附加的半导体层配置在绝缘层中。

在各个从属权利要求中表述了上面指出的和本发明的其他优选实施例。

下面参照附图将在对各优选实施例的如下介绍中更详细地说明本发明。

图 1 表示高压电缆的断面图；

图 2 表示对于绕组每匝具有一个接地点的绕组的透视图；

图 3 表示根据本发明的第一个实施例的绕组每匝具有两个接地点的绕组的透视图；

图 4 表示根据本发明的第二实施例的绕组每匝具有三个接地点的绕组的透视图；

图 5a 和 5b 分别表示一个绕组的透视图和侧视图，在具有三个支臂的三相变压器的外支臂上，根据本发明的第三实施例的绕组每匝具有三个接地点；

图 6a 和 6b 分别表示一个绕组的透视图和侧视图，在具有三个或者更多的支臂的三相变压器的中心支臂上，根据本发明的第四实施例的绕组每匝具有三个接地点。

图 1 表示按常规方式用于输电的高压电缆 10 的断面图。所示的高压电缆例如可以是一种标准的 XLPE 型 145KV 电缆，但是没有护套和屏蔽层。高压电缆 10 包含一个电导体，其可以包含一个或者几个具有圆形断面的例如铜 (Cu) 线股 12。这线线股 12 配置在高压电缆 10 的中心。围绕线股 12 配置有第一半导体层 14。围绕该低半导体层 14 配置有一绝缘层 16，例如 XLPE 绝缘层。围绕第一绝缘层 16 配置有第二半导体层 18。如图 1 中所示的高压电缆 10 形成 80-3000 平方毫米之间的导体区以及电缆外径在 20-250 毫米之间。

图 2 表示绕组的透视图，绕组每匝具有一个接地点。图 2 表示在电力变压器或者电抗器内部的由标号 20 标注一个铁芯支臂。2 个绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 围绕该铁芯支臂 20 配置，该绕组是由图 1 中所示的高压电缆（10）构成的。在这种情况下借助于固定的绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 绕组每匝沿径向配置有 4 个间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>2</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>4</sub>。如图 2 中所示在每个绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 的两端 26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>；28<sub>1</sub>、28<sub>2</sub> 外半导体层接地。用黑色加重的间隔条元件 24<sub>1</sub> 用于实现绕组每匝一个接地点。间隔条 24<sub>1</sub> 连接到以接地线 30<sub>1</sub> 形式的一个接地元件 30<sub>1</sub> 上，该接地线连接到在绕组 22<sub>2</sub> 的周边处和沿绕组 22<sub>2</sub> 的轴向长度上的公用地电位上。如图 2 中所示，各接地点（绕组每匝一个接地点）都处于一个绕组的基体上。

图 3 表示根据本发明的第一实施例的绕组每匝两个接地点的绕组的透视图。在图 2 和图 3 中相同的元件使用相同的标号标注，以便使附图更清晰。此外在这种情况下，如图 1 中所示的高压电缆 10 构成的两个绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 围绕铁芯支臂 20 配置。在这种情况下，间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>2</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>4</sub> 也借助于固定的绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 沿径向配置。在每个绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 的两个端部 26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>、28<sub>1</sub>、28<sub>2</sub> 处，第二半导体层（与图 1 比较）按照图 2 接地。使用间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>3</sub>（用黑色标注的）是为了实现绕组每匝两个接地点。间隔条元件 24<sub>1</sub> 直接连接到第一接地元件 30<sub>1</sub> 以及间隔条元件 24<sub>3</sub> 直接连接到位于绕组 22<sub>2</sub> 的周边以及沿着绕组 22<sub>2</sub> 的轴线长度的第二接地元件 30<sub>2</sub> 上。接地元件 30<sub>1</sub> 和 30<sub>2</sub> 可以以接地线 30<sub>1</sub> 和 30<sub>2</sub> 形式连接到公共的地电位 32 上。两个接地元件 30<sub>1</sub> 和 30<sub>2</sub> 利用电连接部分 34<sub>1</sub>（电缆）联结。电连接部分 34<sub>1</sub> 引入到配置在铁芯支臂 20 中的一个槽 36<sub>1</sub> 中。槽 36<sub>1</sub> 的分布使得铁芯支臂 20 的横断面区域（以及因此使磁通  $\Phi$ ）分成两个局部的区域 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>。相应地，槽 36<sub>1</sub> 使铁芯支臂 20 分成两个部分 20<sub>1</sub>、20<sub>2</sub>。这样就使得在与接地线相连的部分中不会因磁感应产生电流。通过按照上述方式接地，使在第二半导体层中的损耗保持最小状态。

图 4 表示根据本发明第二实施例的绕组每匝具有三个接地点的绕组的透视图。在图 2-4 中相同的部分使用相同标号来标注，以便使附图更清晰。在这里两个绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 也是由如图 1 所示的高压电缆 10 构成的，它们围绕铁芯支臂 20 配置。间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>2</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>4</sub>、24<sub>5</sub>、24<sub>6</sub> 也借助于固定的绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 沿径向配置的。如在图 4 中所表示的，绕组每匝有 6 个间隔条元件。在每个绕组 22<sub>1</sub> 和 22<sub>2</sub> 的两端 26<sub>1</sub>、26<sub>2</sub>；28<sub>1</sub>、28<sub>2</sub> 处，外半导体层按照图 2 和 3 所表示的（与附图 1 比较）接地。使用由黑色标记的间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>5</sub> 以便实现绕组每匝有 3 个接地点。这些间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>5</sub> 相应地连接到高压电力电缆 10 的第二半导体层上。间隔条元件 24<sub>1</sub> 直接连接到第一接地元件 30<sub>1</sub> 上，间隔条元件 24<sub>3</sub> 直接连接到第二接地元件 30<sub>2</sub> 上，间隔条元件 24<sub>5</sub> 直接连接到位于绕组 22<sub>2</sub> 的周边处以及沿绕组 22<sub>2</sub> 的轴线方向的第三接地元件 30<sub>3</sub> 上。接地元件 30<sub>1</sub>、30<sub>2</sub>、30<sub>3</sub> 可以以接地线 30<sub>1</sub>、30<sub>2</sub>、30<sub>3</sub> 的形式连接到公共的地电位 32 上。所有三个接地元件 30<sub>1</sub>、30<sub>2</sub>、30<sub>3</sub> 应用两个电连接部分 34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>（电缆）连接起来。电连接部分 34<sub>1</sub> 引入到配置在铁心支臂 20 中的第一槽 36<sub>1</sub> 内并且连接到接地元件 30<sub>2</sub>、30<sub>3</sub> 上。电连接部分 34<sub>2</sub> 引入到配置在铁芯支臂 20 中的第二槽 36<sub>2</sub> 中。槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 的配置使得铁芯支臂 20 的横断面区域 A（因此使磁通  $\Phi$ ）分成三个局部区域 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>。相应地槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 将铁芯支臂 20 分成三个部分 20<sub>1</sub>、20<sub>2</sub>、20<sub>3</sub>。这样就使得不能通过磁感应在与接地线连接的部分中感应电流。通过按上述方式接地，使得在第二半导体层中的损耗保持在最小状态。

图 5a 和 5b 分别表示根据本发明的第三实施例的绕组透视图和断面图，该绕组在具有三个支臂的三相变压器的外支臂上，绕组每匝具有三个接地点。在图 2-5 中，相同的部分用相同的标号标示，以便使附图更清晰。由图 1 所示的高压电缆 10 构成的绕组 22<sub>1</sub> 围绕变压器的外支臂 20 配置。此外在这种情况下，间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>2</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>4</sub>、24<sub>5</sub>、24<sub>6</sub> 借助于固定的绕组 22<sub>1</sub> 沿径向配置。在绕组 22<sub>2</sub> 的两端，第二半导体层（与图 1 相比较）接地（在图 5a 和 5b 中分别未表示）。

使用黑色标记的间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>5</sub> 是为了实现绕组每匝具有三个接地点。间隔条元件 24<sub>1</sub> 直接连接到第一接地元件 30<sub>1</sub> 上，间隔条元件 24<sub>3</sub> 直接连接到第二接地元件（未表示），间隔条元件 24<sub>5</sub> 直接连接到在绕组 22<sub>1</sub> 的周边以及沿绕组 22<sub>1</sub> 的轴线长度的第三接地元件 30<sub>3</sub>。接地元件 30<sub>1</sub> -30<sub>3</sub> 可以以接地线的形式连接到公共的地电位上（未表示）。三个接地元件 30<sub>1</sub> -30<sub>3</sub> 利用两个电连接部份 34<sub>1</sub> 34<sub>2</sub>（电缆）连接起来。两个电连接部份 34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub> 引入到配置在磁轭 38 中的两个槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 中，使三个接地元件 30<sub>1</sub>-30<sub>3</sub> 彼此连接起来。两个槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 的配置使得磁轭 38 的断面区域 A（以及因此使磁通  $\Phi$ ）分成 3 个局部区域 A<sub>1</sub>、A<sub>3</sub>、A<sub>5</sub>。电连接部分 34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub> 引线通过两个槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 并在磁轭 38 的前后侧部分通过。通过按上述方式接地，使损耗保持在最小状态。

图 6a 和 6b 分别表示根据本发明第四实施例的绕组透视图和断面图，但具有三个或者更多个支臂的三相变压器的中心支臂上。绕组每匝具有三个接地点。在图 2-6 中，相同的元件用相同的标号标注，以便使附图更清晰。由如图 1 中所示的高压电缆 10 构成的绕组 22<sub>1</sub> 围绕变压器的中心支臂 20 配置。另外在这种情况下，间隔条元件 24<sub>1</sub>-24<sub>6</sub> 也沿径向配置，使用其中的三个元件 24<sub>1</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>5</sub> 是为了实现绕组每匝三个接地点。间隔条元件 24<sub>1</sub>、24<sub>3</sub>、24<sub>5</sub> 直接连接到接地元件 30<sub>1</sub>-30<sub>3</sub>，（仅表示了其中的两个），如结合图 5a 和 5b 和与上述的相同的方式连接的。三个接地元件 30<sub>1</sub>-30<sub>3</sub> 利用两个电连接部分 34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub>（电缆）连接起来。两个电电连接部分 34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub> 引入配置在磁轭 38 中的两个槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 中。两个槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub> 的配置使得磁轭 38 的横断面区域 A（以及因此因此使磁通  $\Phi$ ）被分成为三个局部的区域 A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、A<sub>3</sub>。两个电连接部分 34<sub>1</sub>、34<sub>2</sub> 在相对于磁轭 38 的中心支臂 20 的两侧引线通过槽 36<sub>1</sub>、36<sub>2</sub>。通过按上述方式接地，在第二半导电场中损耗、保持在最小状态。

上面利用的原理可以用于绕组每匝几个接地点。磁通  $\Phi$  位于在具有横断面区域 A 的铁芯中。这一横断面区域 A 可以分为一些局部



的区域  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、..... $A_n$ ，使得

$$A = \sum_{i=1}^n A_i$$

长度为  $l$  的绕组匝数的圆周可以分成为一些部分  $l_1$ 、 $l_2$  ..... $l_n$ ，使得

$$l = \sum_{i=1}^n l_i$$

如果按照这样一种方法实现电连接，由于接地未引起额外的损耗，每个部分  $l_i$  的端部电连接使得仅局部区域  $A_i$  由电连接部分  $661$  和弧段  $l_i$  组成的线圈所围绕，以及满足

$$\frac{\Phi_i}{\Phi} = \frac{l_i}{l}$$

其中  $\Phi$  是铁芯中的磁通，而  $\Phi_i$  是通过局部区域  $A_i$  的磁通。

如果在铁芯整个横截面上的磁通密度是恒定的，则  $\Phi = B \cdot A$  导致得到比例：

$$\frac{A_i}{A} = \frac{l_i}{l}$$

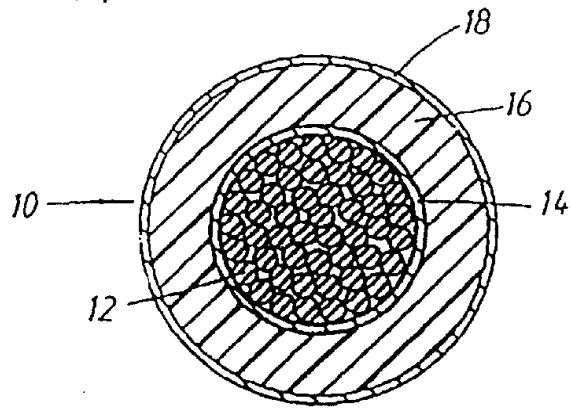
在各附图表示的电力变压器/电抗器包含的铁芯由铁芯支臂和磁轭组成。然而应当理解，电力变压器/电抗器也可以设计成没有铁芯（空气芯的变压器）。

本发明并不局限于所表示的是实施例，在附加的专利权利要求的框架内可以有几种不同的变化方案。

说明书附图

---

图1



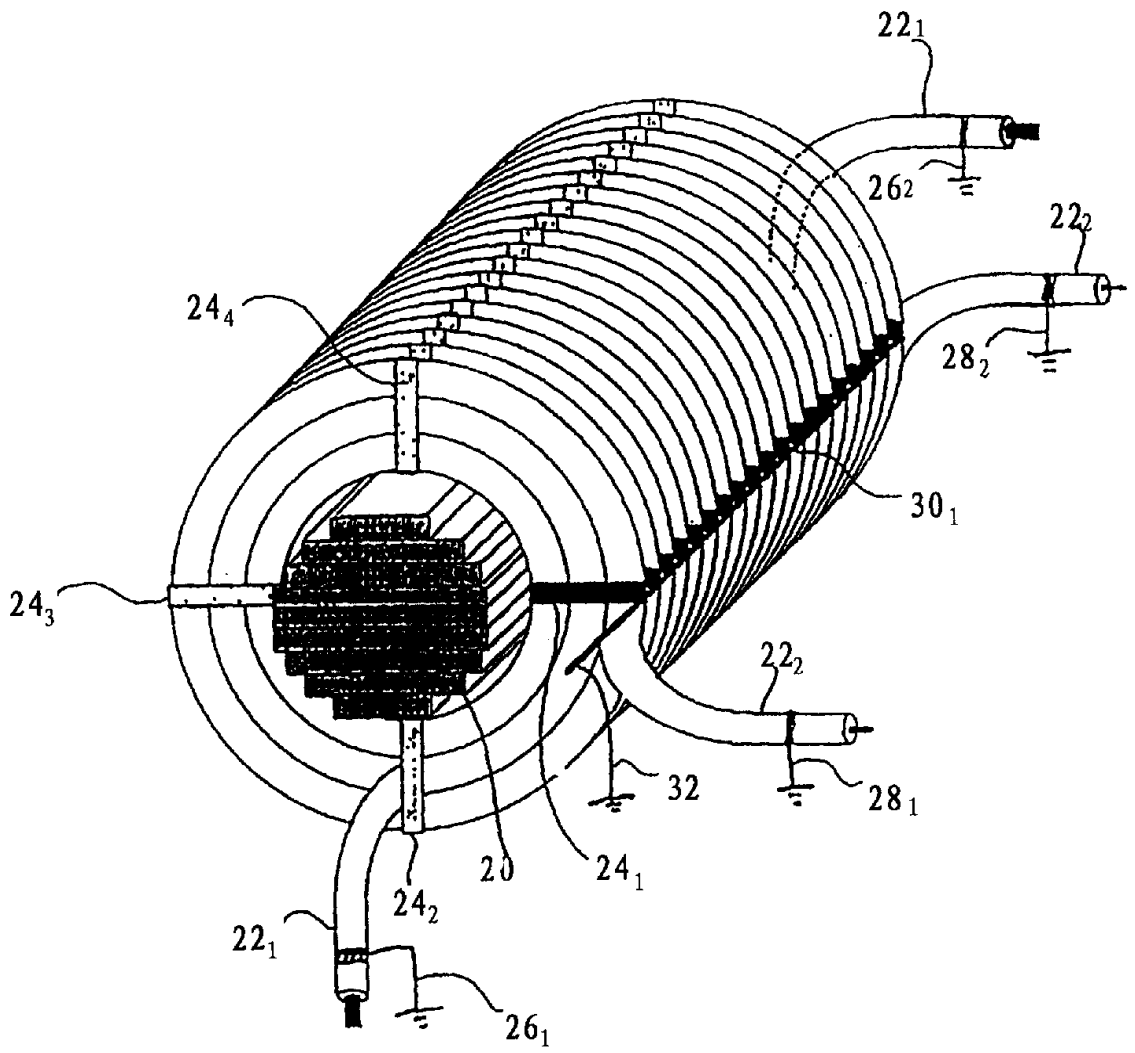


图2

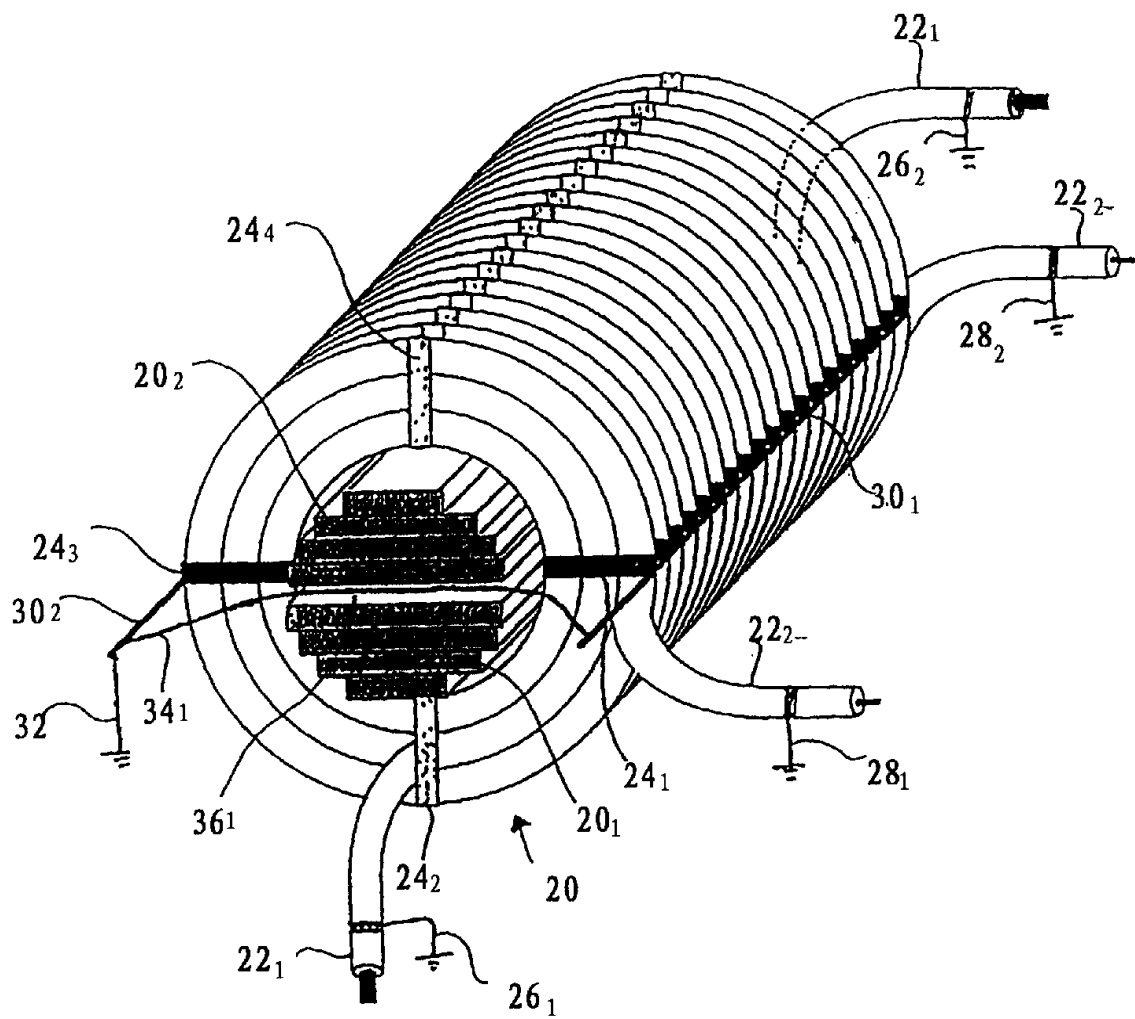


图3



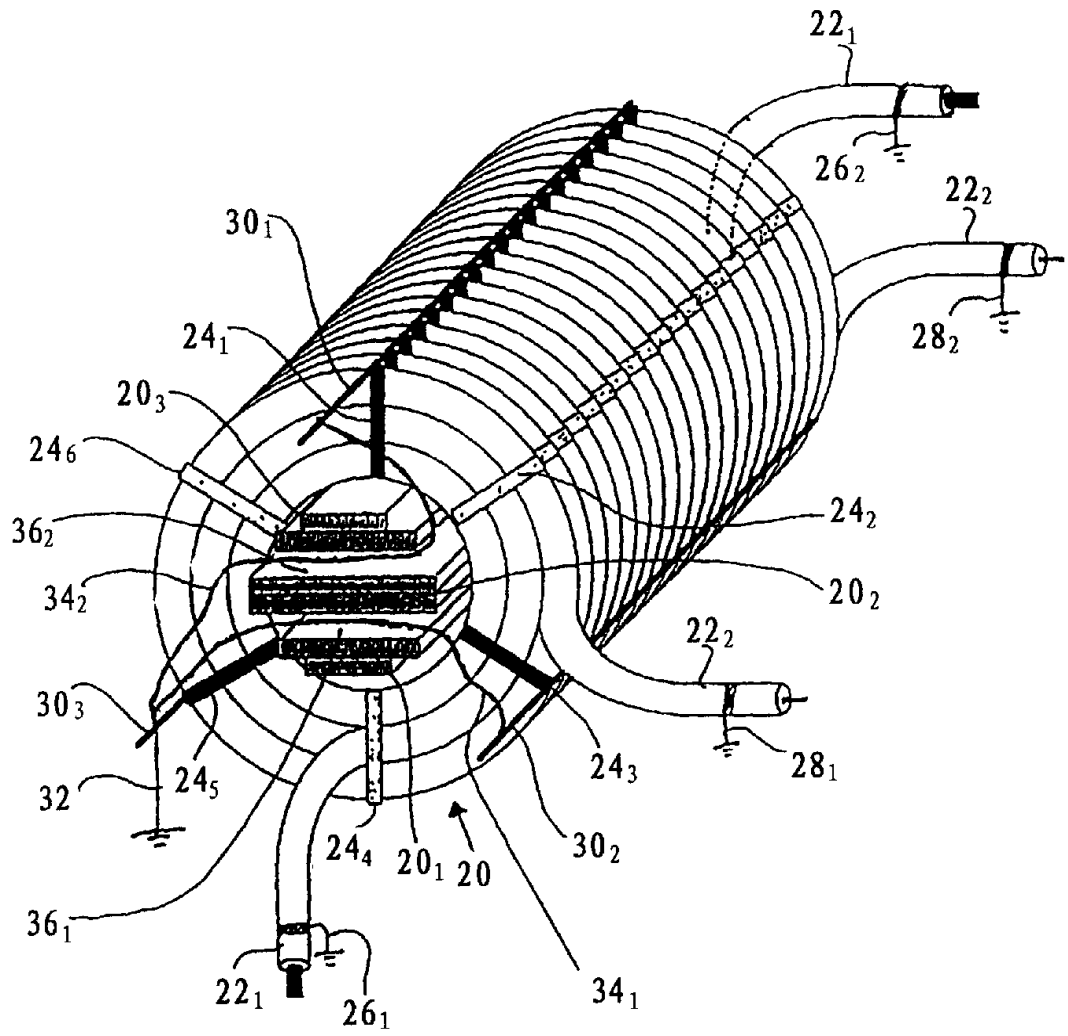


图4

图5 a

图5 b

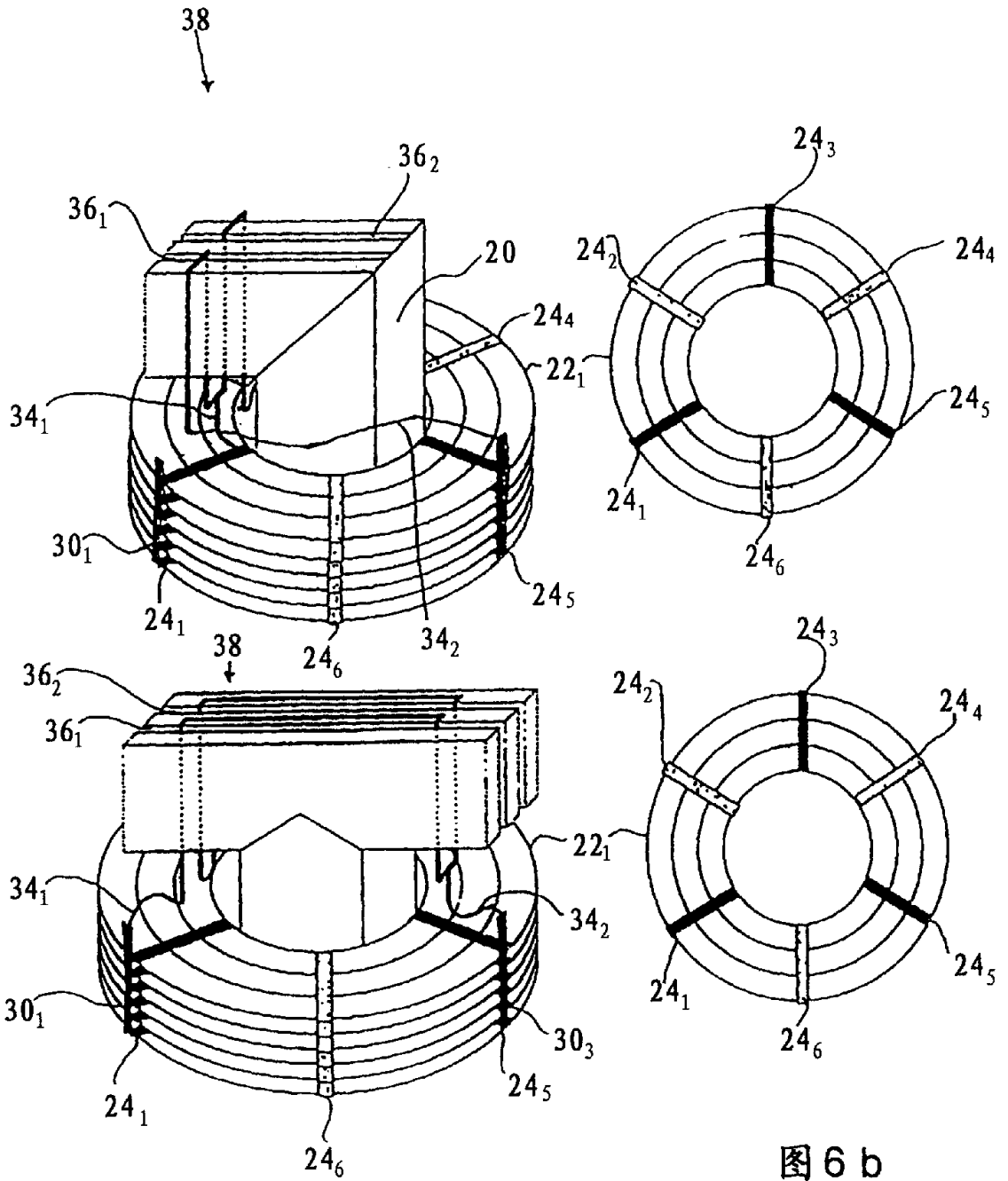


图6 a

图6 b