

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷

G01R 1/18

G01R 15/14 G01R 15/24



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 01805024.7

[45] 授权公告日 2005 年 3 月 16 日

[11] 授权公告号 CN 1193235C

[22] 申请日 2001.1.30 [21] 申请号 01805024.7

[30] 优先权

[32] 2000.2.15 [33] US [31] 09/503,897

[86] 国际申请 PCT/CA2001/000103 2001.1.30

[87] 国际公布 WO2001/061365 英 2001.8.23

[85] 进入国家阶段日期 2002.8.14

[71] 专利权人 尼克斯特法斯公司

地址 加拿大不列颠哥伦比亚

[72] 发明人 帕特里克·P·查维斯

法诺什·拉马蒂安

尼古拉斯·A·F·耶格

克里斯托弗·P·亚基米西恩

审查员 王晓萍

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

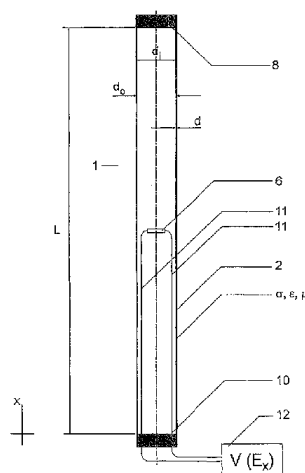
代理人 李晓舒 魏晓刚

权利要求书 4 页 说明书 17 页 附图 6 页

[54] 发明名称 电压传感器

[57] 摘要

本发明公开了一种电压传感器。通过具有电阻屏蔽(RS)的材料制造的电隔离部件形成一种用于测量高压线上的电压的电压传感器,该电隔离部件构成由隔离部件两端之间的电压差产生的电场,并提供内部电场与电压传感器外部的电场干扰源之间的屏蔽。设置至少一个电场传感器,以探测隔离部件中的电场,其输出被用于推断电压差。



ISSN 1008-4274

1. 一种测量电压的装置，该装置包括：
电隔离部件；
- 5 一对间隔的导体，其间的电压差(V)得以确定，所述导体中的一个在所述隔离部件的一端，而另一个在所述隔离部件的远离所述一端的端部；
至少一个电场传感器，该传感器在所述隔离部件内的至少一个位置处探测电场；
检波器，用于基于由所述至少一个电场传感器探测到的所述电场确定
- 10 所述电压差(V)的值(V_d)，
其中所述隔离部件由电阻性的材料形成，该材料具有 $25\text{G}\Omega$ 至 $50\text{k}\Omega$ 范围内的电阻，从而为所述至少一个位置提供与所述装置外部的实际强度的电场干扰源隔开的足够屏蔽，使得实际强度的所述源不改变在所述至少一个位置处探测的所述被探测的电场，以在所述电压差(V)的所述值(V_d)上不
- 15 产生明显误差。
2. 如权利要求 1 所述的测量电压的装置，其中所述隔离部件由掺有碳黑的聚乙烯制造。
3. 如权利要求 1 所述的测量电压的装置，其中所述隔离部件是中空的。
4. 如权利要求 1 所述的测量电压的装置，还包括保护所述隔离部件不受环境影响的护套。
- 20 5. 如权利要求 1 所述的测量电压的装置，其中所述电场传感器是光学电场传感器。
6. 一种测量电压的装置，该装置包括：
电隔离部件；一对间隔的导体，其间的电压差(V)得以确定，所述导体
- 25 中的一个在所述隔离部件的一端，而另一个在所述隔离部件的远离所述一端的端部；
至少一个电场传感器，该传感器在所述隔离部件内的至少一个位置处探测电场；
检波器，用于基于由所述至少一个电场传感器探测到的所述电场确定
- 30 所述电压差(V)的值(V_d)，
其中所述隔离部件由电阻性的材料形成，该材料具有在 $25\text{G}\Omega/\text{m}$ 至

50k Ω /m 范围内的每单位长度电阻,从而为所述至少一个位置提供与所述装置外部的实际强度的电场干扰源隔开的足够屏蔽,使得实际强度的所述源不改变在所述至少一个位置处探测的所述被探测电场,以在所述电压差(V)的所述值(V_d)上不产生明显误差。

- 5 7. 一种测量第一和第二间隔导体之间的电势(V)的装置,该间隔导体分别与第一和第二接线端连接,隔开距离(L),其中,相对于所述间隔导体之间的任何电势,所述第一和第二接线端之间的任何电势建立一电场分布,该装置包括:

10 所述第一和第二接线端之间的至少一个电场传感器,用于提供表示电场的电场输出信号;

 检波部件,用于确定电势值(V_d),该值代表所述第一和第二间隔导体之间的所述电势(V),是所述电场输出信号的函数;以及

15 所述电场传感器附近的电场隔离部件,该部件具有顶电极和底电极,所述电极与所述第一和第二接线端电连接,其中,所述电场隔离部件具有提供足够屏蔽所需的电阻特性,以减小因任何外部电场干扰导致的(V_d)的任何误差。

 8. 如权利要求7所述的装置,其中,所述隔离部件为中空管状电阻器,且所述至少一个电场传感器在所述中空管状电阻器内。

20 9. 如权利要求7所述的装置,其中,所述至少一个电场传感器是光学电场传感器。

 10. 如权利要求9所述的装置,其中,所述传感器中的每一个都包括用于接收输入光波的光学输入口和至少使一部分输出光波通过的光学输出口。

25 11. 如权利要求9所述的装置,还包括
 用于支撑所述第一和第二接线端的中空绝缘柱,并且
 所述隔离部件和所述至少一个电场传感器在所述中空绝缘柱内。

30 12. 如权利要求9所述的装置,其中所述多个光学电场传感器中的每一个在其相应的位置响应电场,其中所述光学电场传感器串联连接,从而输入光波首先进入所述多个光学传感器的第一个的输入口,至少部分通过其中,并从出口出来,接着至少部分地进入、通过其余的所述多个光学传感器的出口,由此提供从所述多个光学传感器的最后一个的输出口出来的输

出光波，使得所述输出光波根据所述多个光学电场传感器的每一个探测的电场总和变化。

13. 如权利要求 7 所述的装置，还包括：

用于支撑所述第一和第二接线端的中空绝缘柱，并且

5 所述隔离部件和所述至少一个电场传感器在所述中空绝缘柱内。

14. 如权利要求 13 所述的装置，其中，所述隔离部件借助所述中空绝缘柱表面上的电阻性的材料的涂层构成。

15. 一种测量第一和第二间隔导体之间的电势(V)的装置，该间隔导体分别与第一和第二接线端连接，隔开距离(L)，其中，相对于所述间隔导体之间的任何电势，所述第一和第二接线端之间的任何电势建立一电场分布，
10 该装置包括：

所述第一和第二接线端之间的至少一个电场传感器，用于提供表示电场的电场输出信号；

15 检波部件，用于确定电势值(V_d)，该值代表所述第一和第二间隔导体之间的所述电势(V)，是所述电场输出信号的函数；以及

管状的电阻器结构，该结构具有顶电极和底电极，所述电极与所述第一和第二导体电连接，

其中，

20 所述至少一个电场传感器设置在所述管状电阻器的一内部部分内，以及

所述管状的电阻器结构具有提供足够屏蔽所需的电阻特性，以减小因任何外部电场干扰导致的(V_d)的任何误差。

16. 如权利要求 15 所述的装置，还包括：

用于支撑所述第一和第二接线端的中空绝缘柱，并且

25 所述管状电阻器和所述至少一个电场传感器在所述中空绝缘柱内。

17. 如权利要求 15 所述的装置，其中，所述至少一个电场传感器是光学电场传感器。

18. 如权利要求 17 所述的装置，其中，所述传感器中的每一个都包括用于接收输入光波的光学输入口和至少使一部分输出光波通过的光学输
30 口。

19. 如权利要求 18 所述的装置，还包括：

用于支撑所述第一和第二接线端的中空绝缘柱，并且

所述隔离部件和所述至少一个电场传感器在所述中空绝缘柱内。

20. 如权利要求 17 所述的装置，其中所述多个光学电场传感器中的每一个在其相应的位置响应电场，其中所述光学电场传感器串联连接，从而
5 输入光波首先进入所述多个光学传感器的第一个的输入口，至少部分通过其中，并从出口出来，接着至少部分地进入、通过其余的所述多个光学传感器的出口，由此提供从所述多个光学传感器的最后一个的输出口出来的输出光波，使得所述输出光波根据所述多个光学电场传感器的每一个探测的电场总和变化。

- 10 21. 一种测量第一和第二间隔导体之间的电势(V)的方法，该间隔导体分别与第一和第二接线端连接，隔开距离(L)，其中，相对于所述间隔导体之间的任何电势，所述第一和第二接线端之间的任何电势建立一电场分布，该方法包括如下步骤：

- 15 将电场传感器在空间上设置于所述第一和第二接线端之间的一个或多个互相独立的位置；

- 借助电场隔离部件隔离所述电场传感器，所述电场隔离部件在空间上位于所述电场传感器附近并且具有顶电极和底电极，所述电极与所述第一和第二接线端电连接，其中，所述电场隔离部件具有提供足够屏蔽所需的电阻特性，以减小因任何外部电场干扰导致的由所述电场传感器探测的电场的任何误差；以及

20 检测由所述一个或多个电场传感器探测的电场，用于确定电势值(V_d)，该值代表所述第一和第二间隔导体之间的所述电势(V)，是所述电场输出信号的函数。

22. 如权利要求 21 所述的方法，所述电场传感器设置在管状电阻器内，
25 所述管状电阻器具有顶电极和底电极。

23. 如权利要求 21 所述的方法，其中电场传感器是光学电场传感器。

24. 如权利要求 21 所述的方法，其中传感器设置在涂覆有电阻性的材料以形成隔离部件的中空绝缘柱内。

电压传感器

5 技术领域

本发明涉及一种用于测量电压的电压传感器，尤其适于测量诸如高压电传输线上的高压。

背景技术

10 已知的高压电压传感器包括电感互感器(inductive transformer)、电容分压器或电容电压变换器、以及利用块体光电场传感器(bulk-optic electric field sensor)的换能器。前面的两种传感器具有带宽受限、故障损失大、维护工作多、重量重和输出不稳定的缺点。它们还具有需要良好的绝缘的缺点，该绝缘既是昂贵的，也对环境有潜在的危险(例如油脂和/或 SF₆ 气体)。

15 珀克斯传感器(Pockels cell)是公知的已用于测量电压，尤其是高压的装置，例如见授予 H. Hamada 的美国专利第 5477134 号和授予 G.K. Woods 的美国专利第 5731579 号。用于本发明的珀克斯传感器的优选形式为整体式光学珀克斯传感器，如 1991 年 7 月 2 日授予 Jaeger 的美国专利第 5,029,273 号中所述的传感器，该专利在此处参考引用。

20 1999 年 6 月 29 日授予 A. Bosco、T. Hertig 和 A. Kaczkowski 的题为“金属包封的气体绝缘的高压装置的测量装置(Measuring device for a metal-enclosed, gas-insulated high-voltage installation)”的美国专利第 5,917,316 号说明了一种高压电压传感器，该传感器利用了一金属封壳来获得高的测量准确性，该封壳为位于封壳内的电压探测器提供了抵抗外电压源的屏蔽。该封壳包括一高压导体，并填充有加压的 SF₆ 气体，以维持高的电场应力。

25 一更早的申请(即 Jaeger 等人在 1998 年 12 月 4 日提交的美国专利申请第 09/204,507 号)公开了与本发明相似的电压传感器，但是是一种导纳屏蔽(Admittance Shielding)(AS)主要基于介电屏蔽的电压传感器，该申请在此处参考引用。此屏蔽虽然是有效的，但是需要使用具有高介电常数的材料，
30 该材料并不总是易于获得，并且通常昂贵而较重。

使用与本发明所用的大致相似的电压传感器(voltage transducer)(VT)的其它系统(即,使用至少一个电场传感器(EFS)以给出电压测量结果的那些系统)使用如以下详细描述导纳屏蔽(AS)以提高系统的效能。这些已知的导纳屏蔽系统通过控制金属导体(电极)的几何形状(或如上所述选择具有较大介电常数的材料那样(如所述 Jaeger 等人的申请中所教导的那样))来构造,以获得优良的导纳屏蔽。

例如,获得 AS 的一种方法是有效地减小两个导体之间的距离,将测量在该两个导体之间的电压。另一种方法是用其它导体尽可能多地围绕一个导体。这两种方法都具有增加两个导体之间的导纳的效果,EFS 位于该两个导体之间。这些方法的使用导致高电场应力的存在,该电场应力必须由诸如 SF₆ 气体的特殊绝缘体支撑。此例子可以在 1976 年 2 月 10 日授予 W. Hermstein、G. Rosenberger 和 W. Muller 的题为“用于密封高压装置的电压测量装置 (Voltage measuring device for encapsulated high-voltage installations)”的美国专利第 3,938,039 号;1993 年 12 月 21 日授予 R. Baumgartner、K. Y. Haffner、H. Hageli 和 A. Kaczkowski 的题为“用于金属包封的气体绝缘高压装置的电流和电压转换器 (Current and voltage transformer for a metal-encapsulated, gas-insulated high-voltage installation)”的美国专利第 5,272,460 号;1999 年 4 月 6 日授予 G.K. Woods 和 T.W. Renak 的题为“用于探测电场中电压的电光电压传感器 (Electro-optic voltage sensor for sensing voltage in an E-field)”的美国专利第 5,892,357 号;以及 1993 年 10 月 22 日授予 O. Tetsuo 的题为“绝缘体内建型光电压传感器 (Insulator built-in type photo voltage sensor)”的日本专利第 05273256 号中找到。

电阻材料在高压应用中的使用是公知的(例如,在用于分隔电压的电阻分压器中,或在用于在高压电缆端部测量电场的电缆接线端处),但未用于为了测量电压的(EFS)屏蔽。

发明内容

本发明明显减少了现有高压传感器技术中的不足。

本发明的简单结构主要去除了对通常昂贵的和/或不利于环境的绝缘体的需要;可以作得更轻,这使更便宜的运输、安装和维护成为可能;并与现有的支座绝缘子(standoff)结构兼容,这允许简单的构造。

当与诸如整体式光学珀克斯传感器的小型电场传感器技术一起使用时，本发明提供了宽的带宽和与新兴的数字技术的轻易结合。

总体上，本发明涉及一种测量电压的装置，该装置包括：一电隔离部件；一对间隔的导体，其间的电压差 V 得以确定，所述导体中的一个在所述隔离部件的一端，而另一个在所述隔离部件的远离所述一端的端部；至少一个电场传感器，该传感器在所述隔离部件内的至少一个位置处探测电场；一个检波器，用于基于由所述至少一个电场传感器探测到的所述电场确定所述电压差 V 的值 V_d ，所述隔离部件由主要是电阻性的材料形成，该材料具有处于 $25\text{G}\Omega$ 至 $50\text{k}\Omega$ 范围内的电阻，从而为所述至少一个位置提供与
5 所述装置外部的实际强度的电场干扰源隔开的足够屏蔽，使得实际强度的所述源不改变在所述至少一个位置处探测的所述被探测电场，以在所述电压差 V 的所述值 V_d 上不产生明显误差。

总体上，本发明还涉及一种测量电压的装置，该装置包括：一电隔离部件；一对间隔的导体，其间的电压差 V 得以确定，所述导体中的一个在
15 所述隔离部件的一端，而另一个在所述隔离部件的远离所述一端的端部；至少一个电场传感器，该传感器在所述隔离部件内的至少一个位置处探测电场；一个检波器，用于基于由所述至少一个电场传感器探测到的所述电场确定所述电压差 V 的值 V_d ，所述隔离部件由主要是电阻性的材料形成，该材料具有处于 $25\text{G}\Omega/\text{m}$ 至 $50\text{k}\Omega/\text{m}$ 范围内的每单位长度电阻，从而为所述
20 至少一个位置提供与所述装置外部的实际强度的电场干扰源隔开的足够屏蔽，使得实际强度的所述源不改变在所述至少一个位置处探测的所述被探测电场，以在所述电压差 V 的所述值 V_d 上不产生明显误差。

优选地，每单位长度的所述电阻在 $1\text{G}\Omega/\text{m}$ 至 $500\text{k}\Omega/\text{m}$ 的范围内。

优选地，所述的足够屏蔽将所述的所确定的电压 V_d 的误差减小至小于
25 不使用所述隔离部件时获得的 V_d 的误差的 25%。

优选地，所述的足够屏蔽将所述的所确定的电压 V_d 的误差减小至小于 1%。

优选地，所述的足够屏蔽将所述的所确定的电压 V_d 的误差减小至小于 0.3%。

30 优选地，所述的隔离部件是中空部件，该电场传感器安装在其中。

优选地，该隔离部件的材料是掺有碳黑的聚乙烯。

优选地，该隔离部件包封在一护套中，该护套保护所述的隔离部件不受环境影响。

优选地，该电场传感器是光学电场传感器。

5 附图说明

根据以下结合附图的详细说明，其它特点、目的和优点将变得清晰，其中：

图 1 示出了本发明的基本结构；

图 2 示出了可在高压变电站中安装的本发明的电场传感器电压传感器
10 (EFSVT)结构；

图 3 以导纳的形式示出了本发明的简化的集总元件电模型；

图 4 显示了具有 100kV 施加电压和变电导的支座绝缘子结构情况下，一实施例的电场分布的 x 分量的数值的曲线；

图 4A 显示了具有 100kV 施加电压和变电导的支座绝缘子结构情况下，
15 一实施例的电场分布的 x 分量的相位的曲线；以及

图 5 是本发明的一种变体的与图 1 相似的视图，显示了形成隔离部件的实心棒(相反于空心柱)的使用。

具体实施方式

20 本发明基于申请人的发现，即，电阻屏蔽(RS)不仅可用于高压测量以将传感器与外界干扰源隔开，它还可以被制造得实际上在屏蔽上与现有技术的屏蔽一样有效，并且还具有提高的性能。电阻屏蔽(RS)有赖于具有电导的电阻材料，该材料比要求电容或介电屏蔽的高介电常数材料更容易获得。电阻材料广泛且以多种方式获得，当实施本发明时，存在使用非常薄的延
25 性材料，甚至适当设计的覆盖传感器的适当形状和大小的外壳(隔离部件 2，这将在以下说明)的电阻性的材料的涂层的可能，与上述 Jaeger 等人的申请中所说明的介电屏蔽相比，这提供了更好的屏蔽，并大大减小了尺寸和重量，并且这不依赖于金属电极处理。

本发明的 RS 系统取决于对形成本发明隔离部件 2 的电阻材料进行选择。
30 所选的材料应具有较小的电导率，即隔离部件 2 应具有 $25\text{G}\Omega/\text{m}$ 至 $50\text{k}\Omega/\text{m}$ 范围内的单位为欧姆(Ω)/米(m)的单位长度电阻(在隔离部件 2 的相

对端处的接线端或电极 8 和 10 之间的方向上, 在隔离部件 2 的图示布置的轴向上测量), 更优选地为 $1\text{G}\Omega/\text{m}$ 至 $500\text{k}\Omega/\text{m}$ 。公式为 $R = L \cdot \rho / A$, 其中, R 为电阻, ρ 为均匀的“电阻率”, A 为横截面面积, 且 L 为长度(等价地, $G = A \cdot \sigma / L$, 其中 G 为电导, σ 为均匀的“电导率”, A 为横截面面积, 且 L 为长度。 $G = 1/R$ 且 $\sigma = 1/\rho$)。于是, 定义隔离部件 2 的单位长度电阻就定义了具有长度为 L 的隔离部件的电压传感器的积 ρ/A 。如果电导率是均匀一致的且垂直电场分量也是均匀一致的, 则此公式为真。如果电导率不是均匀一致的和/或垂直电场分量不是均匀一致的, 则 R 、 A 、 ρ 和 L 之间的关系在数学上更复杂, 但依然具有相同的意义, 即, 电阻 R 随横截面面积 A 增加而减小, 随电阻率 ρ 增加而增加, 并随长度 L 增加而增加。通常对于大多数 HV 应用来说, 隔离部件 2 应当具有 $25\text{G}\Omega$ 至 $50\text{k}\Omega$ 范围内的电阻。

本发明的系统提供了电压测量, 即确定所测量的电压 V 的值 V_d , 使得因外部源的干扰导致的 V_d 相对于实际电压 V 的误差较小, 优选地小于 6%, 优选地小于 1%, 更优选地小于 0.3%, 最优选地小于 0.1%。

图 1 中示意性显示的发明物 1 的基本元件包括一内管或隔离部件 2, 它具有“顶”电极 8 和“底”电极 10, 各自在其轴向端中的一个上。应当认识到的是, 隔离部件 2 不必以其纵轴垂直定位。至少一个电场传感器(EFS)6(仅一个是必要的, 但如果需要可以使用多个)安装在该隔离部件 2 的选定位置(见以上提及并在此处参考引用的所述 Jaeger 等人的申请)。传感器中的每一个都包括用于接收输入光波的光学输入口和至少使一部分输出光波通过的光学输出口。多个光学电场传感器中的每一个在其相应的位置响应电场, 其中光学电场传感器串联连接, 从而输入光波首先进入多个光学传感器的第一个的输入口, 至少部分通过其中, 并从出口出来, 接着至少部分地进入、通过其余的多个光学传感器的出口, 由此提供从多个光学传感器的最后一个的输出口出来的输出光波, 使得输出光波根据多个光学电场传感器的每一个探测的电场总和变化。EFS 通过光纤 11 连接至探测单元 12。EFS 测量用于确定电极 8 和电极 10 之间的电压差 V 的值 V_d 。

当使用超过一个 EFS 时, 每个 EFS 的输出可以分开测量, 并顺序地与其它 EFS 的测量合并, 以确定电压差 V_d ; 或者所有的 EFS 可以串联, 每个均可以选定为具有不同的灵敏度, 使得电场测量的合并借助经过串联传感器的光而物理地发生, 以确定所述的电压差; 或者可以使用上述的独立和

串联 EFS 的任意组合,以确定所述的电压差(见以上提及的所述 Jaeger 等人的申请)。

应用于测量线对地电压的支座绝缘子 21 的发明物 1 示意性地示于图 2。支座绝缘子 21 由发明物 1 的上述基本元件形成,包括内管 2,该内管由一
5 外护套(外管)3 围绕,该外护套具有绝缘裙部 4 和轴向端部处的与诸如支柱 5 的导电(通常是金属的)元件连接的凸缘 13,该支柱还支撑支座绝缘子 21。所述外管 3 又可称为中空绝缘柱。外管 3 和绝缘裙部 4 设置来保护发明物 1 不受外界环境干扰,同时在发明物两端之间提供了绝缘和机械支撑。在此实施例中,图 2 中,金属支柱 5 连接到附图标记 9 示意性表示的地上,且
10 顶电极 8 连接到 HV 线上。电晕放电环 7 悬挂在加载有高压的其顶电极 8 附近,以弱化高电场,否则,该高电场可能出现在顶电极 8 上,它可能导致飞弧。顶电极 8 通常在非常高的电压下与 HV 线电连接,且发明物 1 将用于测量线对地电压。

如果需要,隔离部件 2 可以与外管 3 做成一体的,而不是与外管 3 间
15 隔的独立体。应理解的是,可以使用覆盖外管 3 的表面的适当选择的电阻性的材料的涂层,以形成隔离部件 2。

通常,发明物 1 可以定位在任意两个导体之间并与之相连,在该两个导体之间,电压得以测量,例如三相系统中的两相之间的电压。

在图 1 所示的实施例中,隔离部件 2 已经显示为一中空管状部件,其
20 外径为 d_o ,内径为 d_i ,厚度为 $d(d_o - d_i = 2d)$,长度为 L 。显然,如果管状部件为实心的(非中空), d_i 为零(0),如果需要,该管可以是这样。隔离部件 2 的横截面面积 A 显然为 d_i 和 d_o 的函数。隔离部件 2 的面积 A 、长度 L 、电导率 σ 、介电常数 ϵ 和磁导率 μ 确定了导纳屏蔽 AS ,并且如以下参照图 4 和 4A 所述的那样,根据本发明以特定的方式调节,使得用于制造隔离部件 2
25 的材料的电导率和隔离部件 2 的横截面面积 A 为所选值,以影响电场的结构,从而与发明物 1 有效运行所需的电场一致。

用于制造隔离部件 2 的给定材料的 L 的选择根据诸多因素确定。一个重要的因素是安全性。长度 L 应当足够长以确保安全。值 L 将得以选择,使得在由诸如电气和电子工程师协会(IEEE)、美国国家标准协会(ANSI)、国
30 际电工委员会(IEC)、和/或其它地区和国际标准的主管团体规定的任何合理运行条件下,隔离部件 2 内外任何位置处的电场不大于材料的击穿强度(电

场)。通常,隔离部件的最小长度 L 受最大可接受电场强度的限制(更接近的电极,更高的强度),且隔离部件的最大长度 L 受发明物的所需大小和重量限制,该发明物优选地尽可能小。

5 给定材料的横截面面积 A (例如厚度 d)的选择还受诸多因素限制。两个重要的实际限制是尺寸和重量。横截面面积 A 将得以选择,使得尺寸和重量足够小,以满足安装的需要和机械稳定性。

10 隔离部件2不必是管状的或均匀一致的。它可以具有不同的形状,可以是均匀的或不均匀的。例如,它可以具有矩形横截面,可以是中空的或实心的,在隔离部件中的不同位置处采用不同的材料(具有不同的电阻率)。形状和材料的选择主要取决于应用,且本专利申请中所教导的原理可用于确定实际应用中使用的隔离部件的适当结构。例如,模拟表明,具有周围非均匀屏蔽(变化的电阻率)的轴向对称管起作用,且据信非对称轴向非均匀性也很好地起作用;据信,重要的是隔离部件的实际电阻、以及相对于干扰源与传感器的接近度的传感器与屏蔽的接近度。

15 当电压 V 跨越电导 G 施加时,热以 $V^2 \cdot G$ 的速率产生。具有电导 G (在本发明的情形下是隔离部件2)的物体必须消耗此热。通常,通过诸如热导、对流和辐射的机制,该热耗散到周围环境中,该机制取决于物体的例如形状、材料和温度的物理性能和条件,以及周围环境的例如材料和温度的物理性能和条件。如果产生的热不能耗散,则物体将过热,甚至损坏。在隔离部件的情形下,其形状、横截面面积 A 、长度 L 和材料性能必须以这样一种方式设计,即,考虑到其工作的环境,例如温度范围,这种过热不发生。

25 此外,物体中产生并随后消耗的热与功率 $P = V^2/R$ 的大小有关。在隔离部件的情形下,此功率 P 从被测量电压差的导体获得。必然地,为了不浪费能量,对于可接受的发明物,此量必须保持充分小,因此,最大电导率也必须充分小。例如,对于具有3000安培电流的130kV线对地(约230kV线对线)传输线,沿线传输的总功率约为 $P_t = 130,000 \times 3,000$ 瓦(W) = 390MW。为了使用具有 $R = 10M\Omega$ ($G = 0.1\mu S$)的隔离部件的本发明物测量此线上的电压,所消耗的功率 P 为 $P = (130,000)^2/10^7 W = 1.69kW$ 。于是,功率损失的分数为 $P/P_t < 0.0005\%$ 。

30 材料的实心棒的导纳直接与材料的电导率和介电常数、以及棒的横截

面面积相关(与“ d_o ”和“ d_i ”相关),并反比于棒的长度(与“ L ”相关)。因此,可以通过改变棒的几何形状获得具体的导纳,这是某些现有技术中同样采用的,该现有技术的同样的棒由空气制造,且棒端部的电极形状也被改变,例如该电极非常靠近,且棒非常短,直至电极之间的导纳高到足以提供充分的屏蔽。可选地,如上述 Jaeger 等人的申请所教导的那样,介电常数可以提高。实际上,介电常数和电导率可以一起增加以提高屏蔽。

在本发明中,采用电导的增加,这允许不同几何形状和不同材料电导率之间的交换。于是,在本发明的电阻屏蔽中,电极不必靠在一起(需要使用特殊的绝缘),隔离部件 2 的横截面面积也不必增加(导致更大的尺寸和重量),相反,本发明利用了改变隔离部件 2 的材料特性的灵活性,特别是其电导率。

当电压差施加在隔离部件 2 的顶电极 8 和底电极 10 之间时,例如当顶电极 8 与高压电连接,底电极 10 与地连接时,构成隔离部件 2 的材料导致隔离部件 2 内和周围的有组织的电场分布。随着发明物 1 的隔离部件 2 的电导 G 增加,这可以通过利用具有更高电导率 σ 的材料实现,电场的 x 分量(相对于管状部件的纵轴的轴向分量)的数值和相位分布结构改变,即,数值分布变得更均匀,如图 4 和 4A 中所描绘的结果所示(比较 $G = 0$ 西门子(S)与 $G = 10\text{nS}$)。

形成隔离部件的潜在有用的电阻材料的一个例子是掺碳黑的聚乙烯。通过改变碳黑的掺杂水平可以获得不同的电导率。例如,薄膜(约 0.1mm 厚)可以由聚乙烯制造,该聚乙烯包括以在 40phr(每百分中的分数)至 50phr 范围内变化的水平在其中均匀分布的碳黑,且该薄膜可以沿外护套(外管)3 的内侧定位,用于 230kV 级电场传感器电压传感器(EFSVT)中的良好电阻屏蔽。

虽然系统以电导 $G = 0$ 运行,且依然基于 EFS 测量确定电压,但是所确定的电压在电场分布明显改变时可能不精确,见所述的 Jaeger 等人的申请,并且/或者 EFS 测量在外电场干扰源存在(不充分的屏蔽)时改变。系统的总体精度在导纳的数值较大时提高,即,电场分布较少地受外部干扰影响。通常的外部干扰包括各种电势下的其它导体的存在、以及所述外管 3 和其绝缘裙部 4 上和周围的污染效应、以及其它的附近结构,导电的或不导电的,移动的或静止的。通常,许多这些影响中的效应不严重,因为其

它结构通常位于一距离处, 该距离大到足以符合安全要求, 且利用各种有关的 IEEE、ANSI、IEC 和/或其它标准或准则对各电压级别进行确定。

本发明是对现有技术的显著提高, 因为通过增加形成隔离部件 2 的材料电导率 σ 获得了系统的总体精度, 即实现了充分的导纳屏蔽, 这增加了隔离部件 2 的电导 G。最重要的是, L 可以选择来大到足以防止因紧密的接近度导致的高电场强度, 因此消除了对导致更简单、更安全的电压传感器的特殊绝缘的需要。例如, 对于 230kV EFSVT, 对于 2.07 米长的隔离部件 2, 隔离部件 2 的电导 G 可以是 $10\text{nS}(1 \times 10^{-8}\text{S})$ (平行于隔离部件 2 的纵轴测量)。

有限数量的电场传感器(EFS)位于隔离部件 2 内, 定位在隔离部件 2 中的 EFS 的总数例如可以设置为高达 200, 但通常不超过 9, 且一般地小于 6。EFS 的数量可如上述 Jaeger 等人的专利申请中所述那样选择, 该申请在此处得以参考引用。

EFS 的优选形式是小型光学 EFS, 例如整体式光学电场传感器(IOEFS), 更特别地是如以上提及的 Jaeger 专利中所述的整体式光学珀克斯传感器(IOPC)EFS、和小型块体光学珀克斯传感器。可以使用其它适当的 EFS。例如, 可以使用马修-森得尔(Mach-Zehnder)型电场传感器, 诸如在一旁路中具有域反转的那些(例如见 1995 年 2 月的光学通报(Optics Letters)第 20 卷第 3 期第 288 至 290 页的 N.A.F. Jaeger 和 L. Huang 的文章 “Push-Pull Integrated-optics Mach-Zehnder Interferometer with Domain Inversion in One Branch”, 或 1993 年 11 月 30 日授予 Sriram 等人的美国专利第 5,267,336 号所述的传感器)。

其它 EFS 的例子可以在以下美国专利中找到: 1990 年 5 月 29 日授予 K. Bohnert、M. Kaufmann 和 J. Nehring 的题为 “Fiber-optic electric field sensor with piezoelectric body sensor” 的第 4,929,830 号; 1991 年 10 月 1 日授予 K. Bohnert 和 J. Nehring 的题为 “Device for measuring an electric field” 的第 5,053,694 号; 1991 年 10 月 1 日授予 K. Bohnert 和 W. Buser 的题为 “Fibreoptical sensor” 的第 5,053,693 号; 1995 年 12 月 12 日授予 M. Ingold 的题为 “Fiber-optic quartz voltage sensor” 的第 5,475,773 号; 以及 1998 年 3 月 24 日授予 G.K. Woods 的题为 “Electro-optical voltage sensor head” 的第 5,731,579 号。另外的 EFS 例子可在 S. Weikel 和 G. Stranovsky 在 1995 年 7

月 20 至 21 日在波兰俄勒冈召开的 EPRI Optical Sensors for Utility T&D Applications Workshop 会议上发表的题为“Application of an Electro Optic Voltage Transducer at 345kV”的文章中找到。

此外，本申请中使用的“重大地”，或诸如“明显地”或“充分地”的
5 其它措辞用适用于特定应用的适当的 IEEE、ANSI、IEC 和/或其它标准或准则来确定。例如，对于北美的税收测量，VT 通常要求具有小于 $\pm 0.3\%$ 的偏差，即，“不会改变...以对所述确定的电压差 V_d 产生明显的误差”表明“确定的电压差(V_d)在实际电压差(V)的 $\pm 0.3\%$ 以内”。显然，对于其它的应用或其它标准，术语“重大地”或“充分地”或“明显地”对应于其它的数值。
10 另一个例子是一种 VT，它必须满足根据 IEC 标准 60044-2(1997-02)的 3P 类中继标准；基本上，允许 VT 在测量电压数值时在 V_d 上有 $\pm 0.3\%$ 的偏差，而在测量功频电压(通常是 60Hz 或 50Hz 的信号)的相位时有 $\pm 2^\circ$ 的相位角误差(当然，在标准上有许多其它的要求，该要求超出了此简略示例的范围)；因此，在此情形下，“不改变...以对所述确定的电压差 V_d 产生明显的
15 的误差”表明“确定的电压差(V_d)的数值在 V 的实际数值的 $\pm 0.3\%$ 内，且电压差确定值(V_d)的相位角在实际相位角的 $\pm 2^\circ$ 内”；换句话说，它表明“VT 符合根据 IEC 标准 60044-2(1997-02)的所有 3P 类精度要求”。通常，“重大”变化或误差是指这样的变化或误差，只要涉及到相关的应用或情形或要求，该偏差对设备的用户是不可接受的。也即，“足够的精度”意味着“足够小的
20 的误差”，使得用户对设备精度的要求得以满足。本专利中诸如“充分的屏蔽”的其它术语得以类似地解释。在高压或电力工业中，这些精度要求通常由上述那些技术管理机构推荐或设定。

如上所述，屏蔽可得以应用，使得隔离部件 2 将 V_d 的误差减小，以优选地小于不使用屏蔽时获得的 V_d 的误差的 25%。按绝对值算，该屏蔽得以
25 提供，以优选地将误差减小至小于 6%，更优选地小于 1%，更优选地小于 0.3%，如上所述。

现在将说明使用这种类型传感器的考虑因素。

EFSVT 的设计思路

EFS 的输出是对 EFS 内部电场的具体分量的强度的测量；例如见 IEEE
30 Trans. on Power Delivery 杂志 1995 年 1 月第 10 卷第 1 期第 127 至 134 页 N.A.F. Jaeger 和 F. Rahmatian 的题为“Integrated Optics Pockels Cell High-Voltage

Sensor”的文章。需要使用这种传感性能来测量本发明的顶电极 8 和底电极 10 之间的电压；例如，当支柱 5 和底电极 10 接地时，连接到顶电极 8 上的电线的线对地电压。

更明确地，因为由带电电极感生的电场与电极上的电势直接相关，所以可以在隔离部件 2 内的空间中的一个或多个点上使用一个或多个电场传感器，以推测两端之间的电压差(见上文提及的 Jaeger 等人的申请)。

导纳屏蔽(AS)

利用用于测量 HV 传输系统中两点之间电压的本发明，适当的 EFS 可以通过适当地放置在连接到传输线上的支座绝缘子结构 21 中某处而得以使用。支座绝缘子 21 通过发明物 1 的基本元件形成，包括内管 2，它由具有绝缘裙部 4 和凸缘 13 的外护管 3 围绕，该凸缘在轴向端上以与诸如支柱 5 的导电(通常是金属)元件连接，在此情形下，该支柱还支撑发明物 1。EFS 输出被用于推定传输线的电压。因为 EFS 输出取决于电场，所以支座绝缘子结构 21 必须以一种方式改变，从而减小附近的其它 HV 传输线和其它任何结构的耦合效应。

利用本发明，可以设计系统来测量任何合理的电压。经济(和安全)利益，即实际应用范围，将在几千伏特范围内的更高电压处。

在包括至少一个电源的任何空间中存在的准静态电磁场可用通过包括电容、电感和电导的无源电路元件、以及至少一个等电流或电压源局部互连的节点网络近似地代表(详见作者为 D.M. Pozar 的 Addison-Wesley 公司 1990 年出版的《微波工程(Microwave Engineering)》)。每个节点代表空间中的一个点，并连接到代表空间中相邻点的其它节点上。每个节点的电压代表空间中各点处的电势。

图 3 所给出的模型虽然简单，但对于概念性说明导纳屏蔽概念的某些特征有用。如图 3 所示，支座绝缘子 21 可以近似模拟成 N 个叠置单元的集总线性导纳网络。每个单元具有中心自导纳 Y_c 、中心到隔离部件导纳 Y_{ci} 、隔离部件自导纳 Y_i 、内部与外部耦合导纳 Y_{ic} 、外部自导纳 Y_p 、接地导纳 Y_g 、线导纳 Y_l 、以及外部线和源导纳 Y_s 。例如 IOPC 的 EFS 物理上位于隔离部件 2 的内部，并有效地局部测量电势分布的梯度，该电势分布沿隔离部件 2 的中心存在，并由连接中心自导纳 Y_c 的内部单元节点的电压代表。已知隔离部件 2 的自导纳 Y 为 N 个自导纳 Y_i 的函数。

在图 3 中, 支座绝缘子 21 被视作各垂直叠置单元的组合。 Y_c 代表沿一单元中心的区域空间的自导纳, 并且因为此区域通常由空气占据, 所以 Y_c 主要是电容。 Y_i 代表一单元中隔离部件 2 的材料的自导纳。 Y_p 代表一单元中外管 3 材料、绝缘裙部 4 材料和可能存在的污染材料的自导纳。根据每
 5 种材料, 每个相关的导纳(Y_c 、 Y_i 、 Y_p)是电导、电容、电感, 或三种的组合。 Y_{ci} 代表沿一单元的中心的区域空间和该单元中隔离部件 2 之间的耦合。 Y_{ie} 代表一单元中隔离部件 2 与该单元中外管 3、绝缘裙部 4 和可能存在的污染物之间的耦合。 Y_g 、 Y_l 和 Y_s 分别代表一单元中外管 3、绝缘裙部 4 和可能存在的污染物与地、被测量高压线和其它具有有效值 V' 的线或源之间的耦
 10 合。 Y_{ci} 、 Y_{ie} 、 Y_g 和 Y_s 主要是电容(空气耦合)。此外, 除了非常高的频率, 上述电感小至可忽略。

例如, 为了使用一个 EFS 测量线电压, 必须实现 EFS 位置处电压分布和线电压之间的确定的一对一关系。这可以通过确保隔离部件的自导纳 Y_i 的数值远大于可以改变的任何其它导纳(例如外导纳 Y_p 、 Y_g 和 Y_l)来完成。
 15 在此情形中, 线到地的电流主要限制在该单元的内部旁路上, 且其它导纳的任何改变对内部电流分布的影响可忽略。接着, 中心电压分布因为外部导纳的改变还保持不变, 且由 EFS 进行的电压梯度的测量与线电压之间的一对一关系保持不变。 Y_g 、 Y_l 和 Y_s 的变化主要是电容性质的, 且代表外部电结构的位置和形状上的变化, 例如传输总线、变压器和大气, 同时, Y_p
 20 上的变化主要是电导性质的, 并代表绝缘裙部表面状态因水、冰和其它污染物引入导致的变化。主要为电容性质的内部对外部耦合电感 Y_{ie} 的数值的降低改善了内部场分布对外部污染的电隔离, 且能通过增加外管 3 的外径和/或通过减小内管 2 的外径 d_o 实现。

根据集总导纳模型, Y 可以在数值上增加, 以提高隔离并减小区域内的
 25 的外部耦合效应。隔离部件 2 的 5 个参数可以改变以增加导纳 Y 的数值:

- (1) 长度 L ,
- (2) 横截面面积 A ,
- (3) 电导率 σ ,
- (4) 相对介电常数 ϵ ,
- 30 (5) 相对磁导率 μ 。

通常, 对于由固定电性能的材料形成的任何隔离部件 2, 隔离部件 2(见

图 1 和 2)的较短长度 L 和/或较大的横截面面积 A 导致了较小的阻抗,并因此导致了较大的 Y 。此外,通常对于具有固定几何形状的任何隔离部件 2,隔离部件 2 的较高的电导率 σ 、较高的介电常数 ϵ 和/或较低的磁导率 μ 导致了较大的 Y 。实际上,如本发明所教导的那样改变 σ 则使在获得所需的 Y 上非常灵活。依然这样,对参数(1)至(5)的值的选取取决于各种考虑因素,诸如电压传感器的精度和安全要求。此外,根据集总导纳模型并为了减小 Y_{ie} ,应当更加中心地将隔离部件 2 的高导纳材料限制为提高中心电场与杂场效应之间的隔离。

适当的设计过程包括拟合电压传感器柱、考虑各种相关标准(如上所述)提供的限制、考虑精度要求、并考虑适当材料的可用性,其电性能、重量、热的产生与耗散,以及制备经济、精确(对于预期的应用)和安全的电压传感器的成本。

示例 - EFSVT 测试模拟

在以下的例子中,通过模拟说明并评价了 EFSVT 支座绝缘子(尤其是支座绝缘子 21 的隔离部件 2)的性能。EFSVT 结构示于图 2。

待分析的具体支座绝缘子具有 $L_c = 2245\text{mm}$ 的长度,且由具有高度 $L_s = 2\text{m}$ 和直径 $d_s = 400\text{mm}$ 的接地支柱支撑。此外,它还在顶电极的底部具有电晕放电环,该环具有 539mm 的内径和 671mm 的外径。有 45 个橡胶绝缘裙部;一个具有 300mm 内径和 312mm 外径的外部玻璃纤维管;一个内隔离部件 2,它是一种具有内径 $d_i = 198\text{mm}$ 和外径 $d_o = 206\text{mm}$ 的管;以及一个电极到电极空间, $L = 2070\text{mm}$ 。此处,不同的 EFSVT 例子具有不同的内管大电阻, 10^{12} 、 10^9 、 10^8 、 5×10^7 和 $10^6\Omega$ 。内和外管的相对介电常数为 5,且围绕媒质的相对介电常数为 1(空气)。这些电阻分别相应于 0、 1pS 、 1nS 、 10nS 、 20nS 和 $1\mu\text{S}$ 的电导。在所有的例子中,在空间中的一点处测量平行于隔离部件的轴的电场的分量 E_x 的单一 EFS 被假设为位于中心轴上顶和底电极之间的中部。

对于施加在 EFSVT 上的电压,支座绝缘子周围的电场 E 用有限元件法计算。

建立测试模拟以测量 EFSVT 结构在不同环境中的性能。VT 用于测量顶和底电极之间的电压,该底电极作为基准。所施加的电压为具有 60 赫兹的正弦曲线。电压相位任意地选为这些例子中给出的相位信息的基准(见

表)。

在第一种情形下,留在绝缘裙部上并具有 0.25mm 厚度的水层模拟具有不同程度的水污染的各个 EFSVT,该污染程度由 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 、 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 和 $100 \Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率代表。此情形用于模拟 ∞ 、 10^{12} 、 10^9 、 10^8 、 5×10^7 和 $10^6 \Omega$ 的隔离部件电阻。

在第二种情形下,通过去除情形 1 中覆盖顶部五个绝缘裙部(从底部计的绝缘裙部 # 41 至 # 45)的部分水层,支座绝缘子顶部附近的干燥带状况模拟具有不同水污染级别的各个 EFSVT,该级别由 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 、 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 和 $100 \Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率代表。在第三种情形中,通过去除情形 1 中覆盖绝缘裙部 # 12 至 # 16 的部分水层,支座绝缘子底端附近的干燥带状况模拟具有不同水污染级别的各个 EFSVT,该污染级别由 $10^8 \Omega \cdot \text{cm}$ 、 $10^5 \Omega \cdot \text{cm}$ 和 $100 \Omega \cdot \text{cm}$ 的电阻率代表。这两种情形模拟大电阻($100 \text{M}\Omega$ 和 $50 \text{M}\Omega$)的隔离部件电阻。

因为频率对所有这些情形固定在 60 赫兹的单一频率,所以测量或确定的电压 V_d 可以由数值和相位代表。虽然通常 VT 的输出时间连续地给出电压的瞬时读数。

通常,对于线性媒质,如果影响媒质的电压源是单一频率的时间正弦(temporally sinusoidal)曲线,则 E 的每个分量是同频的时间正弦曲线,在该线性媒质中,该媒质的电性能不是电场 E 的函数。因此, E_x 是频率为 60Hz 的正弦曲线,且还可由数值和相位代表。

通常,测量的电压 V_d 可以由 EFS 输出通过下式确定:

$$V_d = \sum_{i=1}^n C_i E_{x,i} \quad ,$$

其中, $E_{x,i}$ 是第 i 个 EFS 的输出, C_i 是第 i 个 EFS 的校正常数和/或权重因子,且 n 是 EFS 的总数,如上面提及的此处参考引用的 Jaeger 等人的申请中所述的那样。例如,此表达式简化为

$$V_d = C E_x,$$

其中, C 是具有数值分量和相位分量的校正常数。此外,加载的实际电压 V 和测量的电压 V_d 之间的误差将以数值误差和相位误差的方式表示。

应当注意的是, C 的大小是比例常数,且基于要测量的所加电压确定;在例子中,我们寻找归一误差或百分比误差,并且,我们不考虑实际的电压级别。此外,所给出的百分比误差是相对于所施加的电压信号的幅值的(其

百分比)。

表 1 显示了情形 1 的模拟结果。从这些结果可以看出，通常当隔离部件电阻减小时，因保留在绝缘裙部上的均匀水层的存在导致的幅值误差明显减小。对于低于 $1\text{G}\Omega$ 的隔离部件电阻，即对于大于 1nS 的隔离部件电导，
5 相位误差也随隔离部件电阻减小而减小。

表 2 和表 3 分别示出情形 2 和情形 3 的结果。此外，此处的测试模拟集中于 $50\text{M}\Omega$ 和 $100\text{M}\Omega$ 的内管电阻，因为这些电阻在用于 230kV 级电压传感器的实际高压应用的最低许可电阻值的范围内。此处研究了干燥带状况的效应，因为希望这些状况实际上是在干扰隔离部件内部电场的外部因素
10 的作用方面的一些最恶劣的情形。再者，表中清楚地看到相位和幅值因减小的隔离部件电阻导致的大幅减小的误差。

对于以上所有情形，应当注意到的是，具有 0.25mm 厚的污染的均匀水层和 $100\ \Omega\cdot\text{cm}$ 的电阻是一种非常极端的情形，这种情形是为了模拟比实际情景糟得多的情景。

15 表 1 总体均匀水沉积的 EFSVT 模拟结果

内管电阻 ($\text{M}\Omega$)	水的电阻率 ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$)	幅值误差 (%)	相位误差 (分)
∞	100	-0.65	0.99
1000000	100	-0.60	0.85
1000	100	1.30	-4.62
100	100	0.04	6.85
50	100	0.01	3.50
1	100	0.00	0.07
∞	0.1	-11.51	677.91
1000000	0.1	-11.17	664.51
1000	0.1	-7.99	-45.09
100	0.1	-0.55	9.57
50	0.1	-0.30	5.70
1	0.1	-0.01	0.13
∞	0.0001	-82.10	4.57

1000000	0.0001	-80.64	2.69
1000	0.0001	-31.06	-1057.18
100	0.0001	-0.62	-190.01
50	0.0001	-0.17	-96.19
1	0.0001	0.00	-1.93

表 2 均匀水沉积和上部干燥带的 EFSVT 模拟结果

内管电阻 (M Ω)	水的电阻率 (M Ω ·cm)	幅值误差 (%)	相位误差 (分)
∞	100	0.07	0.14
100	100	0.04	8.02
50	100	0.01	4.06
∞	0.1	-6.10	113.34
100	0.1	0.53	14.61
50	0.1	0.23	7.80
∞	0.0001	97.58	-5320.43
100	0.0001	5.95	1282.49
50	0.0001	2.23	649.49

表 3 均匀水沉积和下部干燥带的 EFSVT 模拟结果

内管电阻 (M Ω)	水的电阻率 (M Ω ·cm)	幅值误差 (%)	相位误差 (分)
∞	100	-0.23	0.53
100	100	0.06	8.95
50	100	0.02	4.62
∞	0.1	-9.18	383.81
100	0.1	-0.21	18.74
50	0.1	-0.14	10.59
∞	0.0001	86.08	-557.53
100	0.0001	-7.73	-395.75

50	0.0001	-2.80	-251.99
----	--------	-------	---------

以上情形和表格示出了一个 EFS 传感器与 RS 一起使用以测量电压的情况。由本申请中所给出说明清楚地看出，当使用多个 EFS(例如，如 Jaeger 等人的申请中所述的那样)以确定所述电压差时，电阻屏蔽可以通过其电场分布平缓效应而进一步提高精度，例如见图 4，使得当诸如 Jaeger 等人的申
5 请中所述的方法得以使用时，对确定的电压差的外部影响的作用进一步减小。例如，图 3 中给出的简化模型可以用于表明：当 Y_i 较大时，例如当出现明显电阻屏蔽时，在电阻屏蔽内部(即柱中心)的电场分布上的外界影响的作用与当 Y_i 较小时的相比更小。

在不脱离如所附权利要求确定的本发明的精髓的情况下，已经描述的
10 本发明的变体对本领域技术人员是清楚的。

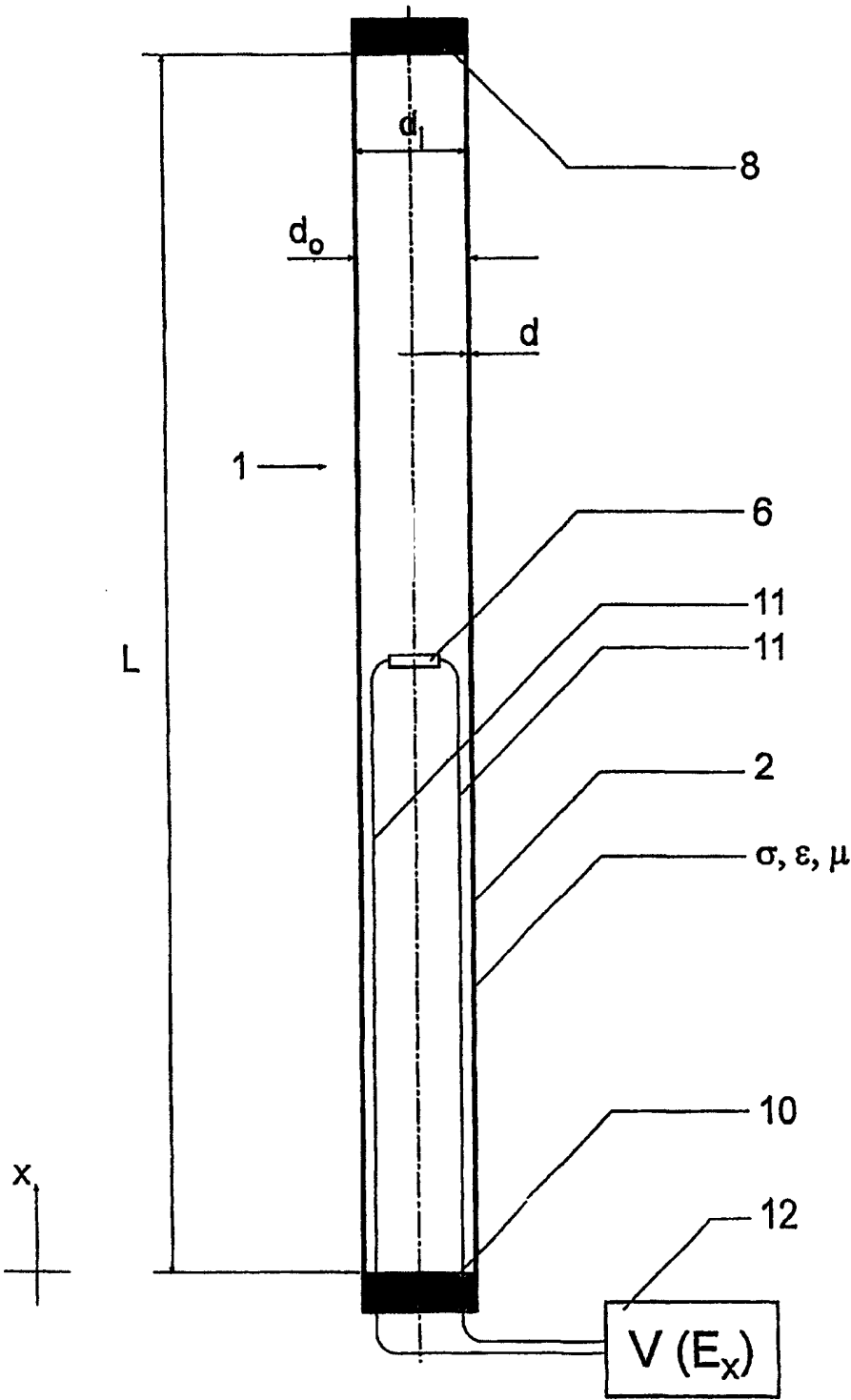


图 1

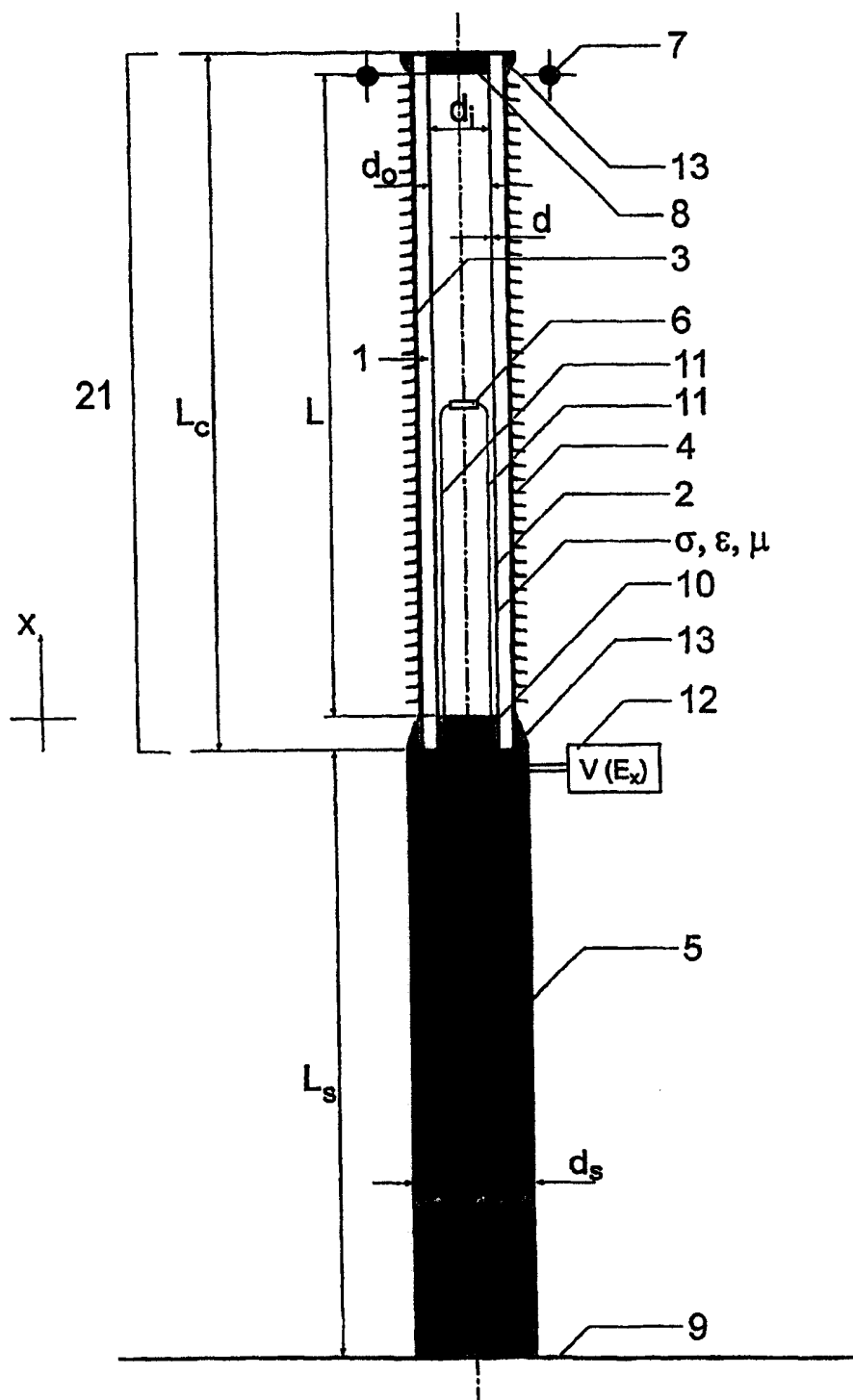


图 2

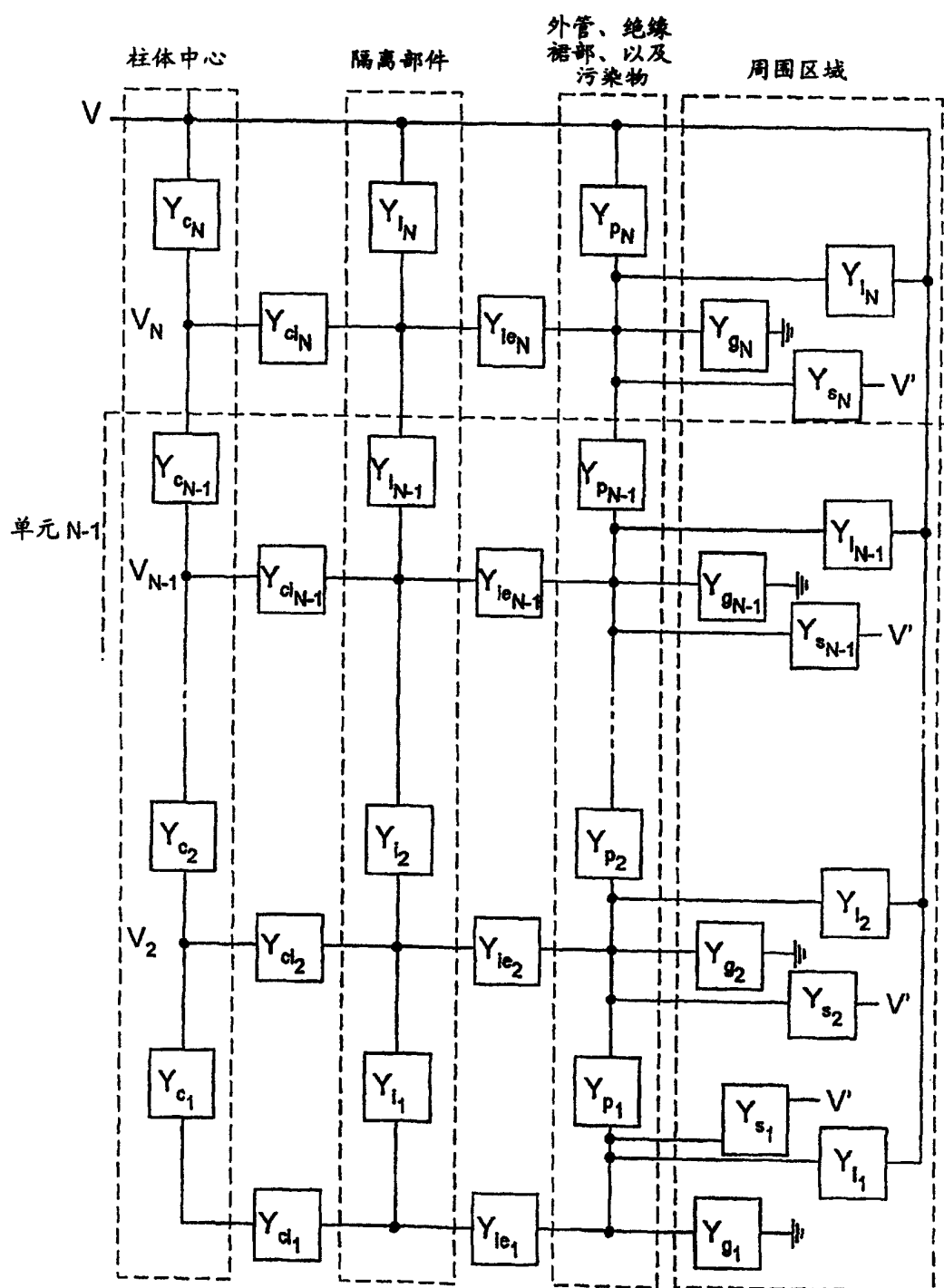


图 3

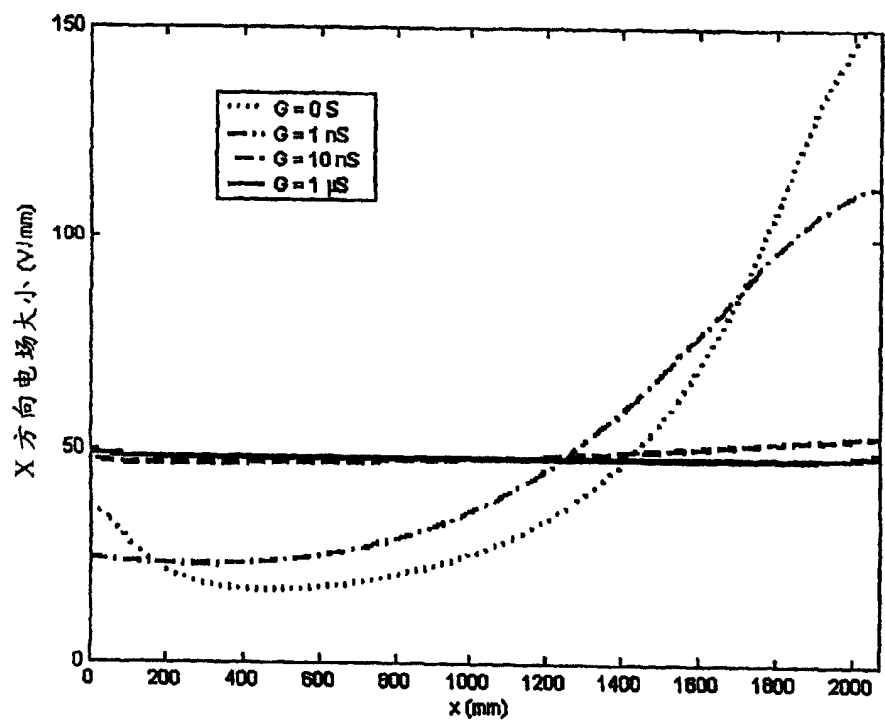


图 4

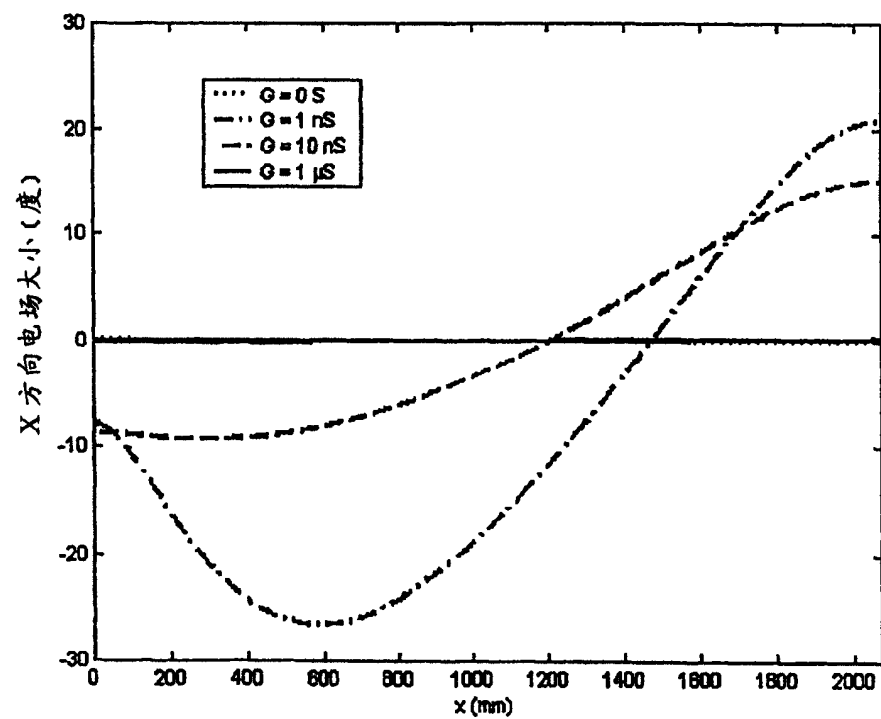


图 4A

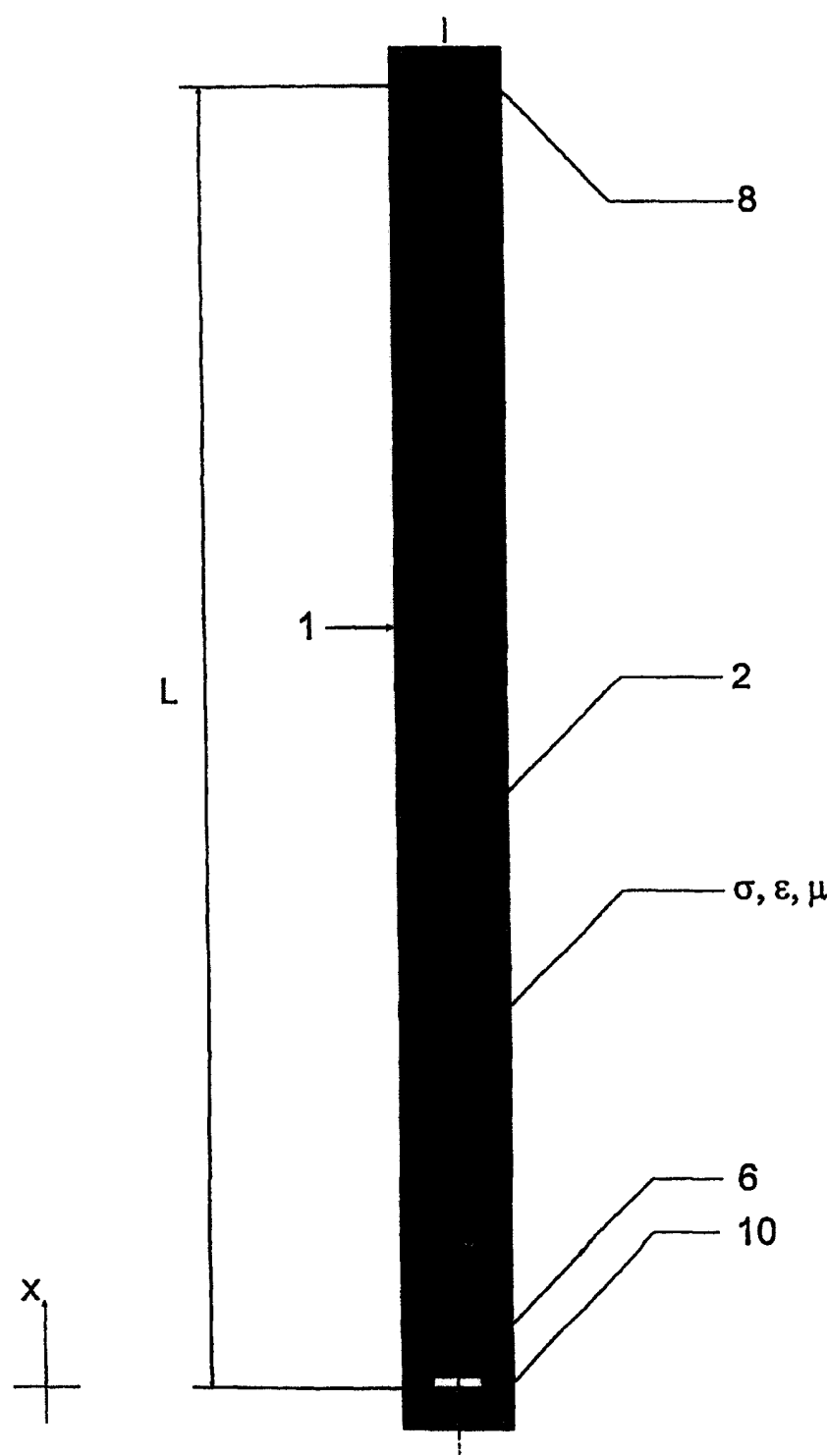


图 5