



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 03810781.3

[43] 公开日 2005年8月10日

[11] 公开号 CN 1653794A

[22] 申请日 2003.3.13 [21] 申请号 03810781.3

[30] 优先权

[32] 2002. 3. 14 [33] US [31] 60/364,321

[32] 2002. 4. 29 [33] US [31] 60/376,377

[86] 国际申请 PCT/US2003/007542 2003. 3. 13

[87] 国际公布 WO2003/079493 英 2003. 9. 25

[85] 进入国家阶段日期 2004. 11. 12

[71] 申请人 安比恩特公司

地址 美国麻萨诸塞州

[72] 发明人 耶胡达·切恩

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

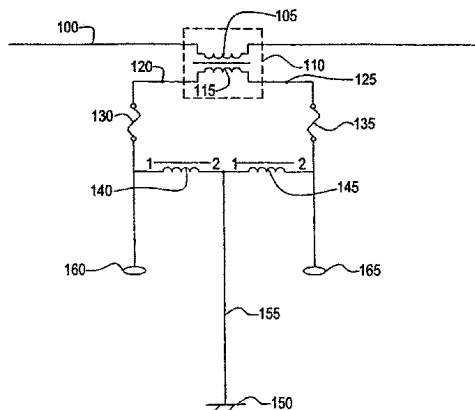
代理人 李辉

权利要求书5页 说明书9页 附图8页

[54] 发明名称 保护中压电感耦合设备不受电气瞬变的影响

[57] 摘要

提供了一种保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法。该方法包括：(a) 提供电感信号耦合器(110)，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组(105)，以及具有第一和第二连接端子(120、125)的第二绕组(115)；(b) 将第一熔断器的第一端子与该第一连接端子相连，将第二熔断器的第一端子与该第二连接端子相连，将各个熔断器的第二端子与通信设备相连；以及(c) 将第一扼流圈(140)的第一端子与第一熔断器(130)的第二端子相连，并将第二扼流圈(145)的第一端子与第二熔断器(135)的第二端子相连，将各个扼流圈的第二端子与电气地相连。



1、一种用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法，所述方法包括：

- 5 提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组；

将第一熔断器的第一端子与所述第一连接端子相连，将第二熔断器的第一端子与所述第二连接端子相连，将各个熔断器的第二端子与一通信设备相连；以及

- 10 将第一扼流圈的第一端子与所述第一熔断器的所述第二端子相连，将第二扼流圈的第一端子与所述第二熔断器的所述第二端子相连，将各个扼流圈的第二端子与电气地相连。

- 2、根据权利要求1所述的方法，其中所述第一和第二扼流圈中的每一个都使用足够规格的导线，以承受在其相关熔断器的作用时间期间流
15 过的高电流。

3、根据权利要求1所述的方法，其中所述第一和第二扼流圈中的每一个都具有高于由所述通信设备使用的最高频率的自谐振频率。

- 4、根据权利要求1所述的方法，还包括将电涌抑制器的第一端子连接到所述第二绕组的所述第一连接端子，并将所述电涌抑制器的第二端
20 子连接到所述第二绕组的所述第二连接端子。

5、根据权利要求4所述的方法，其中所述电涌抑制器选自火花隙和充气管电涌避雷器。

- 6、根据权利要求1所述的方法，其中所述第一熔断器和所述第一扼流圈形成第一串联电阻，并且所述第二熔断器和所述第二扼流圈形成第
25 二串联电阻，其中所述第一和第二串联电阻中的每一个都超过所选择的阈值电阻，以使电力频率环流电流最小。

7、根据权利要求1所述的方法，还包括：

提供与所述第一熔断器和所述第一扼流圈串联以形成第一串联电阻的第一电阻；以及提供与所述第二熔断器和所述第二扼流圈串联以形成

第二串联电阻的第二电阻，其中所述第一和第二串联电阻中的每一个都超过所选择的阈值电阻，以使电力频率环流电流最小。

8、根据权利要求1所述的方法，其中将所述第一和第二熔断器封装在单个公共外壳中。

5 9、根据权利要求8所述的方法，其中所述第一和第二熔断器是具有螺旋形轴的螺旋状限流熔断器。

10、根据权利要求9所述的方法，还包括：

将磁芯设置在所述螺旋形轴中。

11、根据权利要求1所述的方法，还包括：

10 将电容器与所述第一和第二熔断器中的每一个的所述第二端子以及所述通信设备串联；以及

在各个电容的通信设备侧与电气地之间连接电涌抑制器，以使电容性负载可以减小由所述电感信号耦合器的所述绕组之间的闪络导致的初始电压瞬变的幅值。

15 12、一种用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法，所述方法包括：

提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组；

将所述第二绕组封装在一电绝缘层内；以及

20 使用保护电路将所述第二绕组与电气地相连，以对所述电绝缘层施加任何高压场。

13、一种用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法，所述方法包括：

提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，

25 以及具有第一和第二连接端子的第二绕组，所述耦合器具有耦合器体，该耦合器体包括多个裙部，这些裙部提供漏电路径以避免电气瞬变过程中的外部闪络。

14、一种用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法，所述方法包括：

提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组，所述耦合器具有耦合器体，该耦合器体包括位于相对于所述第一绕组的耦合器远端端部处的导电板；以及

5 将所述导电板与电气地相连，以将闪络电流直接导向电气地。

15、一种用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法，所述方法包括：

提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组；以及

10 通过扼流圈将所述第二绕组的各个端子与电气地相连，所述扼流圈对信号频率表现出高阻抗，而对由电气故障信号产生的电流表现出低阻抗。

16、根据权利要求 15 所述的方法，其中所述第二绕组的多个引线通过多个串联电容器连接到与通信设备相连的多个输出端子。

15 17、根据权利要求 16 所述的方法，还包括将至少一个低电容电涌抑制器跨接在所述多个输出端子上。

18、一种具有多个组件的装置，其包括：

电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一连接端子和第二连接端子的第二绕组；

20 第一熔断器，其具有与所述第一连接端子相连的第一端子，以及用于将信号耦合到通信设备的第一端子的第二端子；

第二熔断器，其具有与所述第二连接端子相连的第一端子，以及用于将信号耦合到所述通信设备的第二端子的第二端子；

25 第一扼流圈，其具有与所述第一熔断器的所述第二端子相连的第一端子，以及与电气地相连的第二端子；以及

第二扼流圈，其具有与所述第二熔断器的所述第二端子相连的第一端子，以及与电气地相连的第二端子。

19、根据权利要求 18 所述的装置，还包括电涌抑制器，其具有与所述第二绕组的所述第一连接端子相连的第一端子，以及与所述第二绕组

的所述第二连接端子相连的第二端子。

20、根据权利要求 19 所述的装置，其中所述电涌抑制器选自火花隙和充气管电涌避雷器。

21、根据权利要求 18 所述的装置，还包括：

5 与所述第一熔断器串联的第一电阻；以及
与所述第二熔断器串联的第二电阻。

22、根据权利要求 18 所述的装置，其中将所述第一和第二熔断器封装在单个公共外壳中。

10 23、根据权利要求 22 所述的装置，其中所述第一和第二熔断器是螺旋状限流熔断器。

24、根据权利要求 23 所述的装置，其中所述螺旋状限流熔断器具有磁芯。

25、根据权利要求 18 所述的装置，还包括：

15 第一电容器，其具有与所述第一熔断器的所述第二端子串联的第一端子，以及用于将所述信号耦合到所述通信设备的所述第一端子的第二端子；

第二电容器，其具有与所述第二熔断器的所述第二端子串联的第一端子，以及用于将所述信号耦合到所述通信设备的所述第二端子的第二端子；

20 电涌抑制器，位于所述第一电容器的所述第二端子和所述第二电容器的所述第二端子之间。

26、一种具有多个组件的装置，其包括：

电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及封装在一电绝缘层内的第二绕组；以及

25 所述第二绕组和电气地之间的电路，用于对所述电绝缘层施加高压场。

27、一种用于将信号耦合到配电系统的电感信号耦合器，其包括：

与所述配电系统的导线串联的第一绕组；以及

多个裙部，用于提供漏电路径以避免电气瞬变过程中的外部闪络。

28、一种用于将信号耦合到配电系统的电感信号耦合器，其包括：
与所述配电系统的导线串联的绕组；以及
导电板，位于相对于所述第一绕组的所述耦合器远端端部处，用于
将闪络电流导向电气地。

5 29、一种具有多个组件的装置，其包括：

电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及
具有第一连接端子和第二连接端子的第二绕组；

第一扼流圈，位于所述第一连接端子与电气地之间；以及

第二扼流圈，位于所述第二连接端子与所述电气地之间，

10 其中所述第一扼流圈和所述第二扼流圈中的每一个都对于信号频率
表现出高阻抗，而对于由电气故障信号产生的电流表现出低阻抗。

30、根据权利要求 29 所述的装置，还包括：

第一电容器，与所述第一连接端子串联，并具有用于将信号耦合到
通信设备的第一端子的设备侧端子；以及

15 第二电容器，与所述第二连接端子串联，并具有用于将信号耦合到
所述通信设备的第二端子的设备侧端子。

31、根据权利要求 29 所述的装置，还包括电涌抑制器，用于抑制所
述第一电容器的所述设备侧端子与所述第二电容器的所述设备侧端子之
间的故障电压。

保护中压电感耦合设备不受电气瞬变的影响

5 技术领域

本发明涉及将通信信号耦合到配电系统。

背景技术

可以将射频 (rf) 调制数据信号耦合到中低压配电网，并在其上进行
10 通信。在题目为“Inductive Coupling of a Data Signal to a Power
Transmission Cable”的美国专利 No. 6,452,482，以及2002年2月25日
提交的题目为“Coupling Broadband Modems to Power Lines”的美国专利
申请 No. 10/082,063 中说明了用于该目的的电感耦合器的使用，这两个申
请都已转让给本申请的受让人，并且在此通过引用并入其全文。

15 配电网经常会受到电压和电流的显著瞬变的影响。例如，当诸如配
电变压器的电力线设备短路时，或者当多根电力线下落而互相接触时，
会产生快速上升的强电流脉冲。类似地，电力线附近的雷击会在电力线
上产生行波。模拟雷击的标准方法是基本冲击载荷 (Basic Impulse Loading
(BIL)) 脉冲，用于测试将与电力线相连的电力线设备，其具有 1.2 微秒
20 的上升时间，而下降时间却长很多。这些测试脉冲的幅值可以在 90 到 200
kV 的峰值之间变化。

电力线电感耦合器实质上是一种变压器，其初级绕组与电力线相连，
而其次级绕组与诸如调制解调器的通信设备相连。该初级绕组具有一匝
或者只有几匝，并且对电力频率具有非常低的阻抗。然而，该耦合器能
25 够耦合由闪电脉冲 (lightning pulse) 的快速出现或其它瞬变所表现出的
高频能量，并且在耦合器次级电路中会感应出相当大的电压。

无论是在正常运行期间，或者是在雷击或开关瞬变时产生的瞬变电
压脉冲期间，当导线的电压超过耦合器的绝缘能力时，会发生从初级电
力线到地的中压耦合器闪络 (flashover)。闪络可以在耦合器的外表面上

发生，也可以在耦合器的内部组件之间发生。对于与中压电力线相连的经适当绝缘的设备而言，可以认为闪络是非常少见的事件。例如，通常所采用的电流和电压变压器一般没有专门的保护电路。但是在要由大量客户普遍使用的数据耦合器的情况下，应该非常谨慎地保护其不受少有事件的影响以防止其受到损伤或损坏。

此外，由于调制解调器与连接到客户设备的导线相连，所以该调制解调器接地。因此，必须使配电电压与调制解调器绝缘。如果电感耦合器的次级绕组与地绝缘，则电力线与地之间地电压差将在（a）耦合器的初级绕组绝缘体到次级绕组绝缘体以及（b）连接到调制解调器的一系列设备中的其它设备的绝缘体之间进行分配。电压降与各个绝缘体接口的阻抗成正比，由此与各个接口的寄生电容成反比。

当涉及中压交流电力线时，随着电压相对于中性点或地超过 2,000 伏的有效值，则由于耦合器电容取决于耦合器内的电力线的位置和直径，所以很难确定该电容电压的分配。因此，需要能够使全部电力线电压绝缘的任何其它绝缘设备，由此使耦合器既大又昂贵。

发明内容

本发明的实施例针对多种用于保护电感耦合器不受诸如瞬变过压和过流状态的电气瞬变的影响，该电感耦合器用于将数据信号耦合到配电网。更具体地，本发明的实施例使得电感耦合器能够承受电压尖峰，并保护其不受因闪络而产生的电涌（即，耦合器中电绝缘体的突然击穿）的影响，同时具有 rf 数据调制解调器和电力线之间的 rf 数据信号的最佳耦合。实施例还保护电感耦合器不受可能由于雷击或线路到电气地的短路而在配电线上产生的瞬变电流脉冲的影响。

一种用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的方法，包括：

（a）提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组；（b）将第一熔断器的第一端子与所述第一连接端子相连，将第二熔断器的第一端子与所述第二连接端子相连，将各个熔断器的第二端子与一通信设备相连；以及（c）将第

一扼流圈的第一端子与所述第一熔断器的所述第二端子相连，并将第二扼流圈的第一端子与所述第二熔断器的所述第二端子相连，将各个扼流圈的第二端子与电气地相连。

5 用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的另一种方法，包括：(a) 提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组；(b) 将所述第二绕组封装在一电绝缘层内；以及 (c) 利用保护电路将所述第二绕组与电气地相连，以在所述电绝缘层上施加任何高压场。

10 用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的另一种方法，包括：提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组以及具有第一和第二连接端子的第二绕组，其中所述耦合器具有包括多个裙部 (shed) 的耦合器体 (body)，所述裙部提供漏电路径以避免电气瞬变过程中的外部闪络。

15 用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的另一种方法，包括：(a) 提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组，所述耦合器具有耦合器体，该耦合器体包括位于相对于所述第一绕组的耦合器远端端部处的导电板；以及 (b) 将所述导电板与电气地相连，以将闪络电流直接导向电气地。

20 用于保护与配电系统电感信号耦合器相关的负载的另一种方法，包括：(a) 提供电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一和第二连接端子的第二绕组，以及 (b) 通过扼流圈将所述第二绕组的各个端子与电气地相连，所述扼流圈对信号频率表现出高阻抗，而对由电气故障信号产生的电流表现出低阻抗。

25 一种具有多个组件的装置，其包括：(a) 电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一连接端子和第二连接端子的第二绕组；(b) 第一熔断器，其具有与所述第一连接端子相连的第一端子，以及用于将信号耦合到通信设备的第一端子的第二端子；(c) 第二熔断器，其具有与所述第二连接端子相连的第一端子，以及用于将

信号耦合到所述通信设备的第二端子的第二端子；(d) 第一扼流圈，其具有与所述第一熔断器的所述第二端子相连的第一端子，以及与电气地相连的第二端子；以及(e) 第二扼流圈，其具有与所述第二熔断器的所述第二端子相连的第一端子，以及与电气地相连的第二端子。

- 5 具有多个组件的另一种装置，其包括：(a) 电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及封装在一电绝缘层内的第二绕组；以及(b) 所述第二绕组和电气地之间的电路，用于对所述电绝缘层施加高压场。

具有多个组件的另一种装置，其包括：(a) 电感信号耦合器，其具有与配电系统的导线串联的第一绕组，以及具有第一连接端子和第二连接端子的第二绕组；(b) 所述第一连接端子和电气地之间的第一扼流圈；以及(c) 所述第二连接端子和电气地之间的第二扼流圈。所述第一扼流圈和所述第二扼流圈中的每一个都对于信号频率表现出高阻抗，而对于由电气故障信号产生的电流表现出低阻抗。

- 15 一种用于将信号耦合到配电系统的电感信号耦合器，其包括：与所述配电系统的导线串联的第一绕组；以及多个裙部，用于提供漏电路径以避免电气瞬变过程中的外部闪络。

用于将信号耦合到配电系统的另一种电感信号耦合器，其包括：与所述配电系统的导线串联的绕组；以及导电板，位于相对于所述第一绕组的耦合器远端端部，用于将闪络电流导向电气地。

附图说明

通过参照下面的详细说明及其附图将更容易理解本发明，附图中：

- 25 图 1 表示根据本发明一个实施例的电感耦合器电路，其被保护不受过压瞬变的影响。

图 2A、2B 和 2C 表示本发明的多个实施例，其中设置电容器和电涌抑制器来防止电气瞬变的影响。

图 3 表示用于由闪络产生的电压瞬变的等效电路。

图 4 表示根据本发明实施例的电感耦合器的一个具体实际实现的剖

视图。

图 5A 和 5B 表示根据本发明实施例的双熔断器的具体实现。

具体实施方式

- 5 本发明的一个实施例通过适当的 rf 设备将电感耦合器的次级绕组接地。这防止了过压瞬变的影响，并能够充分利用磁耦合原理的优点，而不受绕组绝缘体厚度的影响。因此，通过次级绕组的绝缘体，使电力线的中压与调制解调器完全绝缘。该方法防止闪络电流传播到低压线路和负载，从而防止可能与耦合器相连的调制解调器和其它设备受损。
- 10 图 1 表示根据本发明一个实施例的电感耦合器电路，该电感耦合器电路被保护不受过压瞬变的影响。配电线 100 构成电感耦合器 110 的初级绕组 105，该电感耦合器 110 进而通过输出端子 160 和 165 与 rf 数据信号调制解调器（未示出）相连。次级绕组 115 具有端子 120 和 125，这两个端子分别与瞬变保护熔断器 130 和 135 的上部端子相连。rf 扼流圈 140
- 15 和 145 通常通过与“电杆地（pole ground）”相连的导线 155 将这两个熔断器的下部端子与地 150 相连，其中该“电杆地”是从电线杆底座处的接地棒（rod）延伸至电线杆顶部的地线。在用于旁路电线杆上的配电变压器的电力线电感耦合器 110 的典型应用中通常很容易看到该电杆地 150。
- 20 耦合器 110 物理地桥接电力线 100 与连接到耦合器次级绕组 115 的地 150 之间的空间。由此，需要足够长的漏电路径以消除外部闪络。一典型的实施例设置了多个“裙部”。在无论以何种方式发生外部闪络的情况下，耦合器 110 可以包括连接到地 150 的暴露金属底座（base），可以将外部闪络电弧转移至地 150 而不会受到损伤。
- 25 设置 rf 扼流圈 140 和 145 以将耦合器 110 内的任何可能的内部闪络电流接地。通常将次级绕组 115 嵌入在耦合器 110 的绝缘材料体中，该绝缘材料体应该足够厚，以对稳态（“承受”）电压和对快速高压 BIL 脉冲都提供足够的绝缘率。rf 扼流圈 140 和 145 提供比耦合器次级绕组 115 的 rf 阻抗大很多的 rf 阻抗，同时在几微秒的故障脉冲之后对地 150 表现

出低阻抗。扼流圈 140 和 145 与信号电压的并联连接提供了高通滤波效应，因为低频被有效地短路到地 150。对于高于 1 MHz 的调制解调器频率，扼流圈 140 和 145 通常分别具有 10 μH 的电感，在耦合器次级绕组 115 上提供超过 124 欧姆的电抗，并且该电抗随频率升高。扼流圈 140 和 5 145 的自谐振频率应该高于所关注的最高频率。

闪络电流只受电力线 100 的电容的限制，通常达到 10,000 安培的有效值或者约 14,000 安培的峰值。该闪络电流被熔断器 130 和 135 截断，并大致在这两个熔断器之间等分。在熔断器 130 和 135 断开之前，rf 扼流圈 140 和 145 必须无故障的承载短路电流。由此，应该使用能够承受 10 可能流过的闪络电流脉冲的导线来缠绕 rf 扼流圈 140 和 145。

鉴于可能的闪络电流脉冲的速度和大小，对于瞬变保护熔断器 130 和 135 应该使用适当额定的冲出式熔断器或限流熔断器。冲出式熔断器可以在闪络瞬变出现之后至多 8 毫秒截断电流。限流熔断器可以更快地截断电流，估计在闪络瞬变出现之后不超过 4 毫秒。为了与电磁辐射标 15 准保持一致，希望数据信号电流远小于 1 安培，所以熔断器 130 和 135 的 1 安培额定电流应适于使内部绝缘体故障之后的任何闪络电流的持续时间最短。

由于需要消除由配电线的上千安培短路电流所产生并保持的高能电弧，所以限流式熔断器和冲出式熔断器都具有相当大的长度和宽度。将 20 两个这种单独封装的熔断器 130 和 135 相邻设置，在该熔断器对的平面内形成了基本封闭的区域，同时产生与高频信号串联的相当大的电感。应该注意，在正常工作期间，在熔断器 130 和 135 之间只施加小的信号电压，而在内部闪络过程中，这两个熔断器基本上排除相同的故障。因此，将两个熔断器 130 和 135 组合在单个外壳中，并共用电弧消除机构 25 是有利的。通过相互并联地设置这两个熔断器 130 和 135，并具有与相对于耦合器次级绕组 115 的特征阻抗相应的间隔和厚度，可以将寄生电感和电容的影响最小化到使耦合器次级阻抗对于已知频率恒定的程度。

在以双螺旋线形式将导线缠绕在“星形 (spider)”线圈管上的限流熔断器的情况下，在准备使用沙子填充其容积时，需要其它技术来减小

熔断器电抗的寄生效应。可以在螺旋线内部插入磁芯棒，将其转变成通用模式的扼流圈。即使当线圈之间的耦合系数远小于 1 时，该扼流圈也具有最小差分模式衰减。

一种限制故障能量传递的内在机制是耦合器磁心的饱和。一旦故障
5 电流使磁芯饱和，则磁通势和所感应的次级电压基本上被钳位（clamp）。电力线故障瞬变和电涌具有包含宽频谱能量的波形。应该只有与调制解调器通信相关的频率到达调制解调器。为此，可以使用串联电容器作为对到达调制解调器的瞬变能量进行限制的高通滤波器。

将电感耦合器连接到电力线的另一负面效应是环流电流的流动。可
10 以将电感耦合器视为变流器（CT），在下述扼流圈电路中，通过两个扼流圈的串联组合使 CT 次级绕组短路。

可以将闪络视为次级电路对初级电路的瞬间短路，并且由于扼流圈电感器 140 和 145 最初用作为断路，所以对于最初的几十纳秒，整个初级电压会出现在各个扼流圈 140 和 145 上。可以如图 2 所示，通过增加
15 高频耦合电容器 200 和电涌抑制器 205 来解决该问题，其通过在临界的最初几十纳秒内用作为暂时短路，来降低施加给扼流圈 140 和 145 以及电容器 200 的初始瞬间电压。这使得可以使用额定电压比峰值初级电压小 10 到 100 倍的扼流圈 140 和 145 以及电容器 200。

在图 2B 所示的另选实施例中，可以将火花隙（spark gap）或充气管
20 避雷器（gas tube arrestor）220 跨接在次级绕组 115 上，以通过快速上升时间电涌电流来吸收耦合到次级绕组的至少一部分能量。在图 1 和 2 所示的任一实施例中增加该器件都可以减少必须由后续电涌保护器安全吸收的电涌能量。

在图 2C 所示的另选实施例中，可以将附加电涌抑制器 210 与电涌抑
25 制器 205 并联。当电流故障产生的电压超过电涌抑制器 205 和 210 的钳位电压时，电涌抑制器 205 和 210 用作为低阻抗。如果这两个器件相同，则抑制器 210 将用作为差分模式的初级电压限制器，而在断路状态下初级限制器 210 出现故障的情况下，一对串联的抑制器 205 将用作为备用限制器。

并联扼流圈和串联电容的高通滤波限制了故障脉冲的持续时间，并使得可以使用相对较低功率的电涌抑制器。只有通过电涌抑制器使用避免信号的高频负载所需的低终端电容才可以实现这种低功率器件。高频耦合器的非常小的电力频率阻抗减小了在电感器次级绕组 115 中产生的电动势 (emf)，并且足够的熔断器电阻的存在，或者可选地，添加与各个次级绕组的引线串联的低值电阻器（通常 0.5 到 1 欧姆）215，通常可以将所得到的电流减小到小于流经电力线 100 的电流的千分之一。

可以考虑从初级绕组 105 到次级绕组 115 的耦合器 110 的内部闪络，在此简化为该绕组的一个端子 120（参见图 1）。图 3 表示对于闪络电压瞬变的等效电路。10 kV 直流电源 300 表示 15 kV 分级配电变压器的瞬间峰值电压，该变压器对于为 7-8 kV 有效值的中性电压 (neutral voltage) 具有典型的相位。电源电阻 305 将电流限制为 10 kA 的短路值。传输线 310 和 315 表示高架配电网的单相。开关 320 的闭合表示由于内部闪络而产生的瞬间短路。电阻 325 表示诸如 130 和 135 的熔断器的电阻，扼流圈 330（相当于图 1 的扼流圈 140）将该电路闭合到电杆地 335。电容器 340 将通信信号高通耦合到调制解调器端子 345，电涌抑制器 350（相当于图 2 中的抑制器 205）保护调制解调器不受过压瞬变的影响。电容器 340 和抑制器 350（后者在瞬变事件中大致用作为短路）的并联电容负载降低了节点 355 处以及由此施加在电容器 340 上的初始瞬变电压，使得可以使用成本更低的电容器。

图 4 表示根据本发明实施例的电感耦合器的一个具体实际实现的剖视图。初级电力线 400 穿过耦合器 410 的磁芯 405 的孔。次级导线 415 封装在模制 (mold) 耦合器 410 的绝缘材料 417 中，该绝缘材料 417 的厚度 420 适合于线路的承受电压和 BIL 电压。裙部 425 提供适当的漏电路径。导电板 430 与耦合器体的底座相连，并通过导线 435 与电杆地 440 相连。

如果耦合器体没有提供足够漏电路径或者与电力导线 400 上的稳态电压或瞬变电压相称的绝缘，则可能发生闪络。耦合器 410 外部的闪络电流将被转移到导电板 430，并且无损害地传送到电杆地 440。

图 5a 表示双熔断器 500，以冲出式熔断器的方式实现。导线 505 将熔断器元件 510 连接到双端子接头 515。熔断器元件 510 由弹簧 520 拉紧，并且其整体封装在电弧抑制（arc-quenching）材料中，通过端口 530 排出任何电弧气体。

- 5 图 5b 表示双熔断器 550，以限流熔断器的方式实现。将熔断器元件 555 缠绕在星形线圈管 560 上，并端接在双端子头 565 上。可选地，该星形线圈管可以是空心的，其中可以选择性地插入磁芯 570。使用沙子（未示出）填充整个容积。

10 虽然公开了本发明的各种示例性实施例，但是对于本领域技术人员，显然可以在不脱离本发明的实际范围的情况下进行各种变化和修改来实现本发明的某些优点。

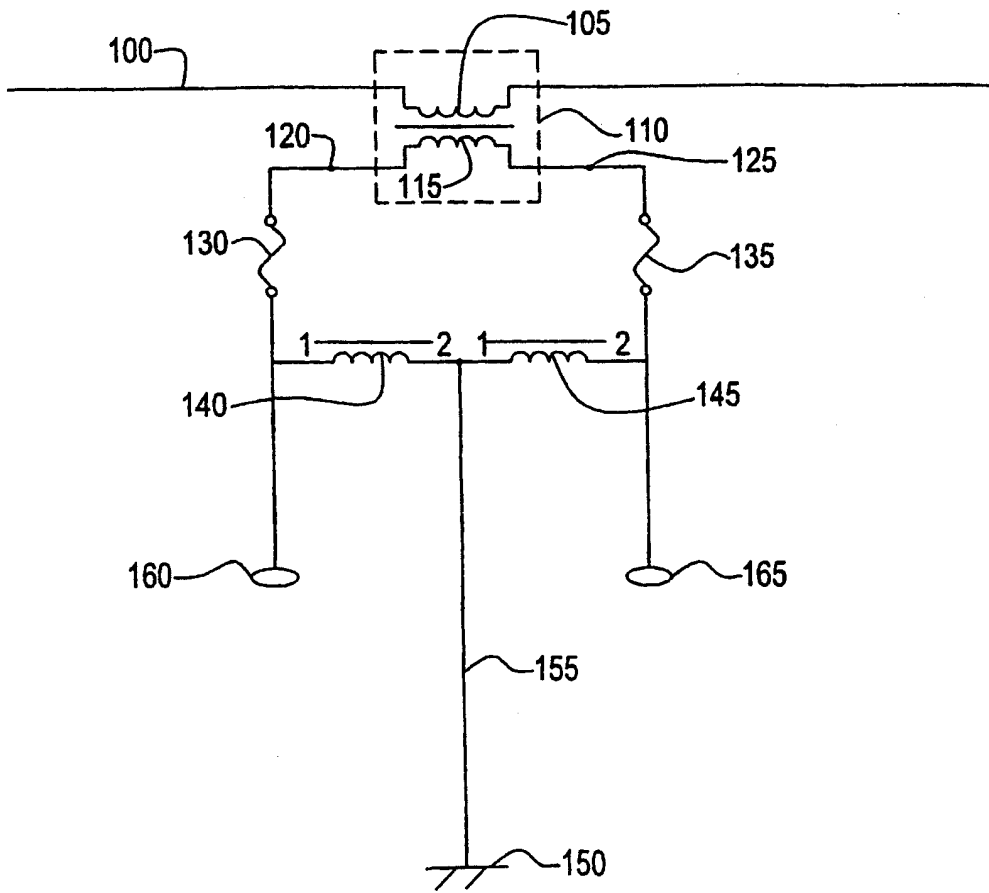


图 1

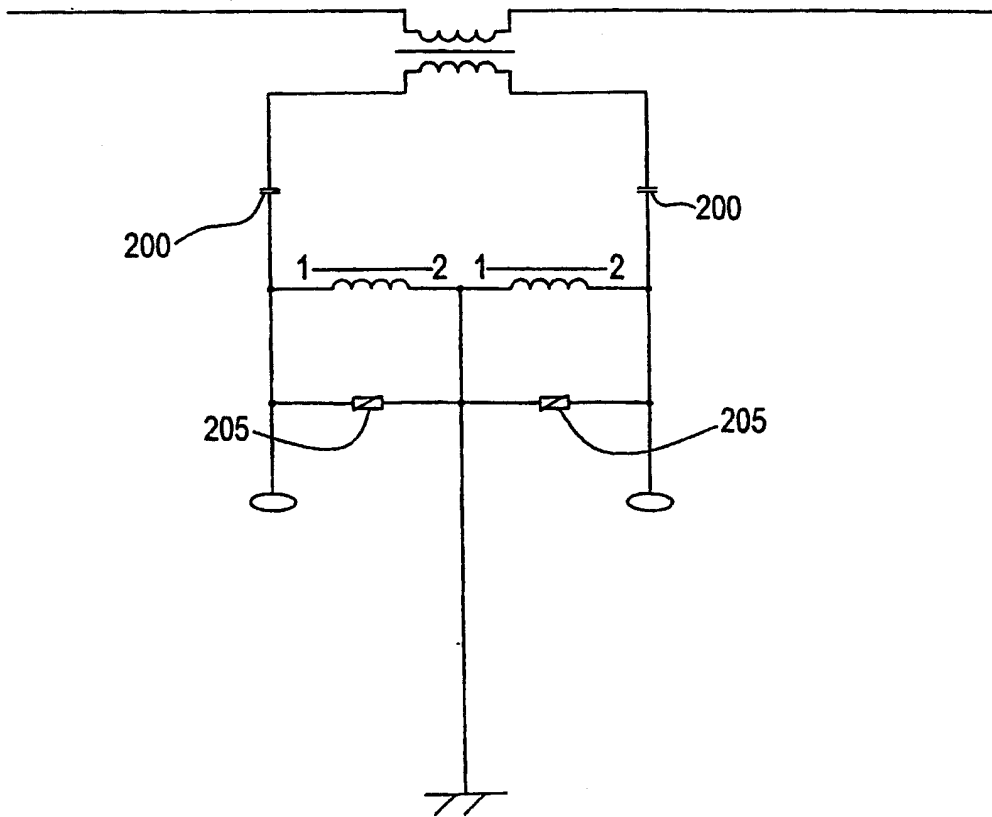


图 2A

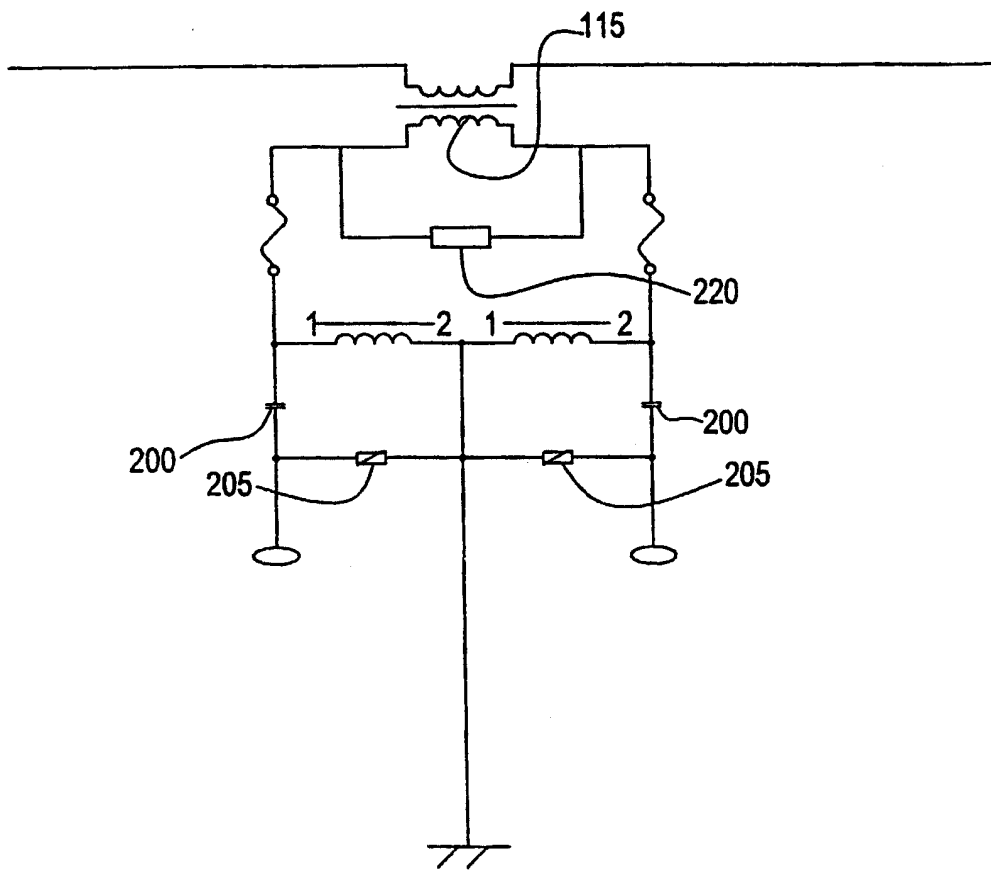


图 2B

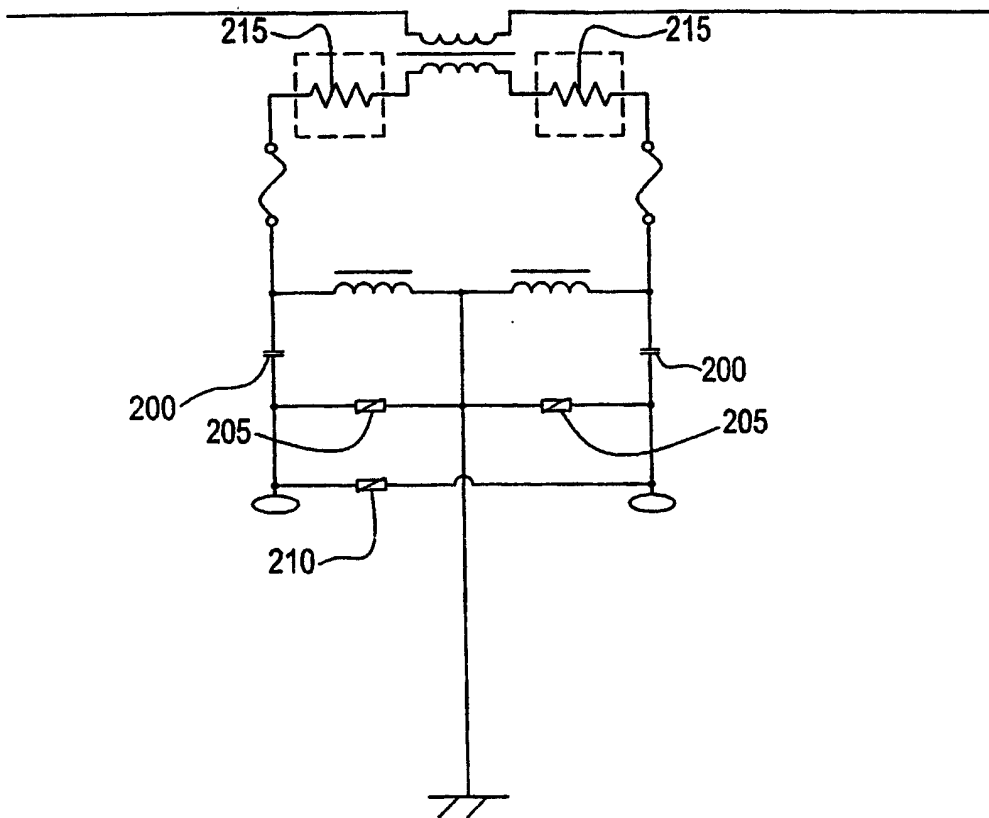


图 2C

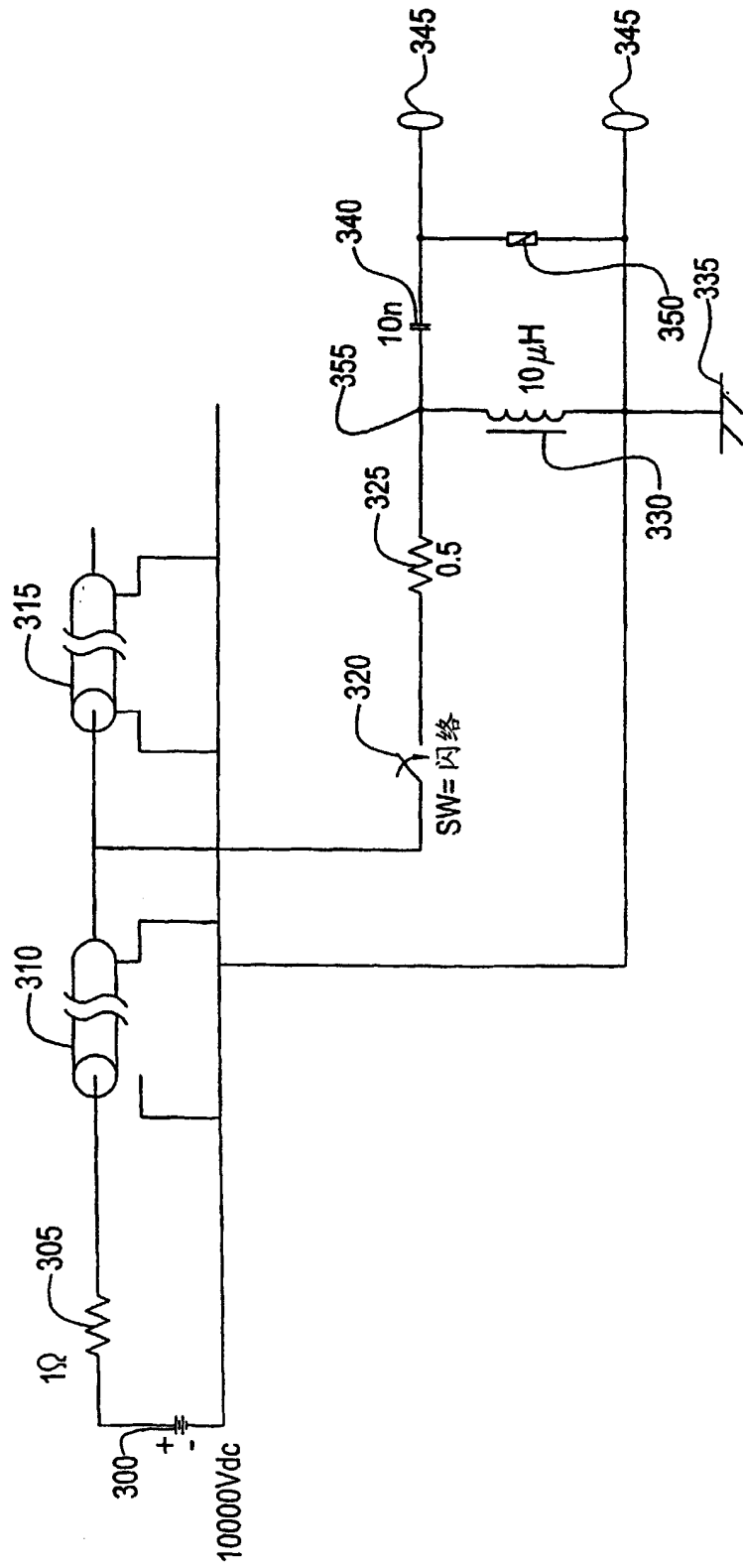


图 3

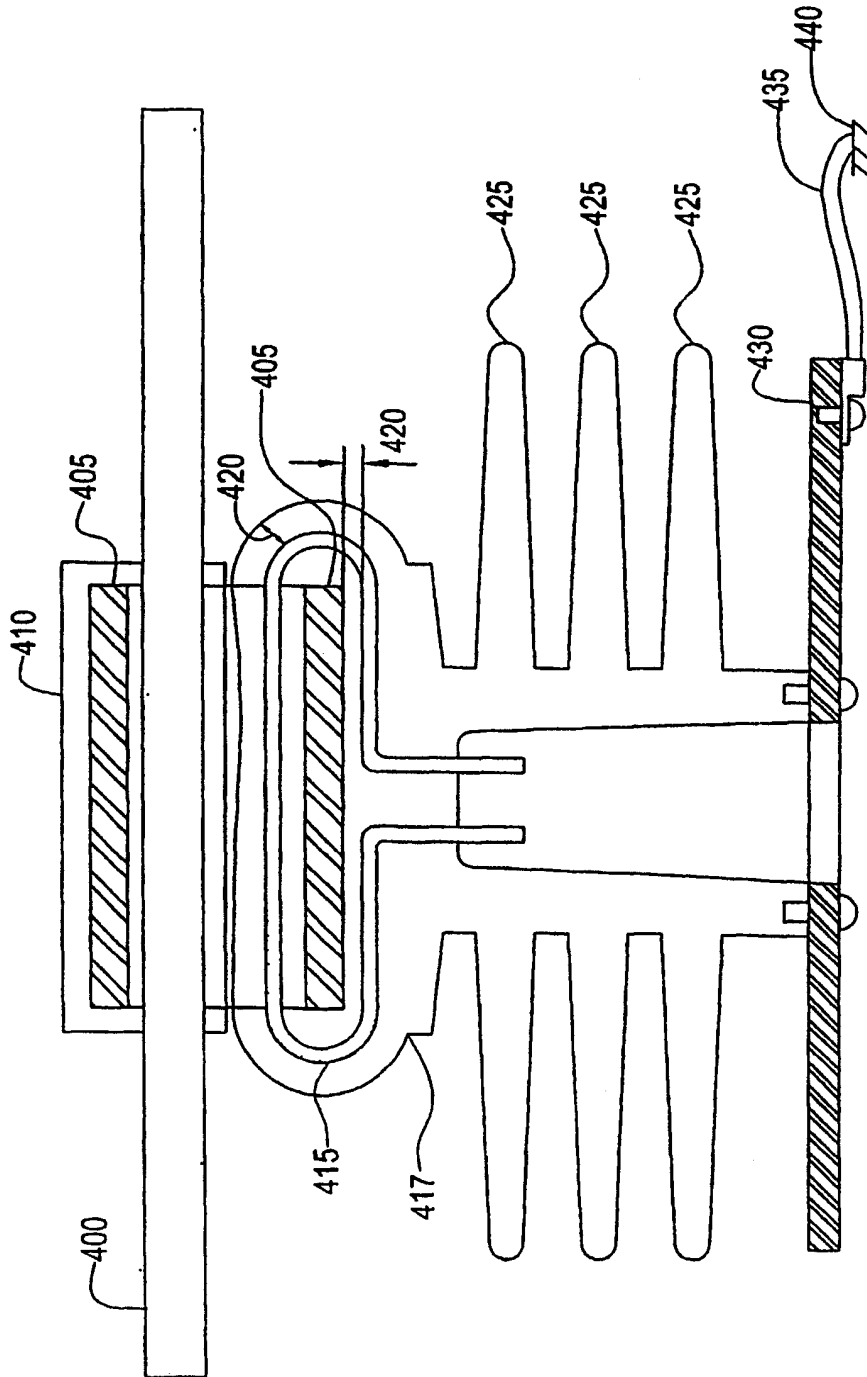


图 4

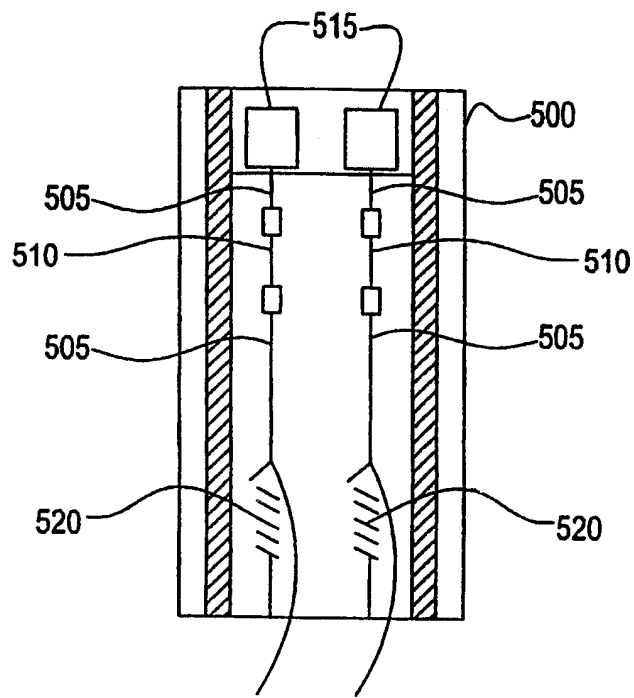


图5A

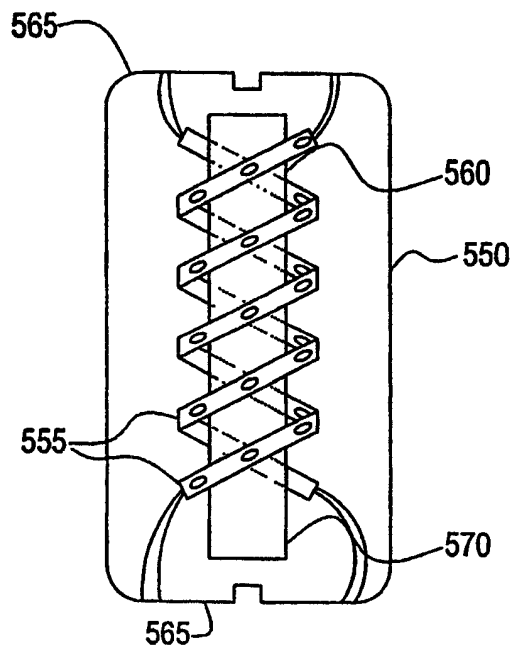


图 5B