

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01B 7/14 (2006.01)

G01R 19/10 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710153242.4

[43] 公开日 2008 年 4 月 2 日

[11] 公开号 CN 101153791A

[22] 申请日 2007.9.29

[21] 申请号 200710153242.4

[30] 优先权

[32] 2006.9.29 [33] US [31] 11/540745

[71] 申请人 通用电气公司

地址 美国纽约州

[72] 发明人 A·迈

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 程天正 张志醒

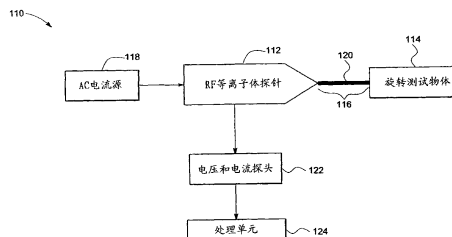
权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图 7 页

[54] 发明名称

间隙测量系统及其操作方法

[57] 摘要

公开了一种间隙感测系统(110)。该系统(110)包括与测试物体(114)以可变距离 d(116)相互隔开的探头(112)。该系统(110)还包括用于供应通过探头(112)的电流的交流(AC)电流源(118)，其中 AC 电源(118)和探头(112)被配置成产生所述探头(112)的尖端和测试物体(114)之间的受控等离子体通道(120)。该系统(110)进一步包括处理单元(124)，被配置成根据所述探头(112)的尖端和测试物体(114)之间的电压差来确定所述可变距离 d(116)。



1. 一种间隙感测系统(110), 包括:

探头(112), 所述探头与测试物体(114)间隔开一个可变距离 d (116);

交流(AC)电流源(118), 用于供应电流通过探头(112), 其中 AC 电源(118)和探头(112)被配置成在探头(112)的尖端和测试物体(114)之间产生受控的等离子体通道(120); 和

处理单元(124), 被配置成根据探头(112)的尖端和测试物体(114)之间的电压差来确定所述可变距离 d (116)。

2. 如权利要求 1 所述的间隙感测系统(110), 其中探头(112)包括射频等离子体探头。

3. 如权利要求 2 所述的间隙感测系统(110), 其中所述射频等离子体探头具有大于约 1MHz 的工作频率。

4. 如权利要求 2 所述的间隙感测系统(110), 进一步包括射频(RF)放大器(136), 被配置成从 AC 电源(118)接收 RF 信号(138)并向射频等离子体探头供应放大的 RF 信号。

5. 如权利要求 1 所述的间隙感测系统(110), 其中测试物体(114)包括旋转测试物体。

6. 如权利要求 1 所述的间隙感测系统(110), 进一步包括电压和电流探头(122), 被配置成测量探头(112)的尖端和旋转测量物体(114)之间的电压差。

7. 如权利要求 1 所述的间隙感测系统(110), 其中处理单元(124)进一步被配置成确定受控等离子体通道(120)的阻抗并且将该阻抗与多个校准数据相比较, 以确定所述可变距离 d (116)。

8. 一种用于测量到导电旋转物体的距离的方法, 所述方法包括:

将探头放置(152)在距离导电旋转物体具有可变距离 d 之处;

启动并稳定(154)探头的尖端和导电旋转物体之间的等离子体放电;

测量(156)电压降、流过形成于探头的尖端和导电旋转物体之间的等离子体的电流、以及所述探头的阻抗中的至少一项; 以及

根据所述电压降、电流以及阻抗中的至少一项来确定(158)到导电旋转物体的距离。

9. 如权利要求 8 所述的方法 (150)，进一步包括在探头中供应反馈以稳定等离子体放电，其中所述启动并稳定 (154) 包括维持通过所述探头的恒定幅度的电流。

10. 如权利要求 8 所述的方法 (150)，其中确定 (158) 到导电旋转物体的距离包括：将所述阻抗与多个校准数据进行比较。

间隙测量系统及其操作方法

技术领域

本发明大体上涉及探头 (probe) 和传感器系统, 更具体地涉及用于测量两物体之间的间隙的探头。

背景技术

各种类型的探头和传感器系统已被用于测量两物体之间的距离。另外, 探头系统已被用于各种应用中。例如, 涡轮机具有多个布置在护罩 (shroud) 附近的涡轮叶片。涡轮叶片和护罩之间的间隙随涡轮叶片的温度而变化。例如, 护罩和涡轮叶片之间的间隙在涡轮机很冷时最大, 并随着涡轮机的加热而逐渐减小。所希望的是, 为了涡轮机安全有效的运转应维持涡轮叶片和护罩之间的空隙或间隙。可在涡轮机内放置传感器以测量涡轮叶片和护罩之间的距离。该距离可用于引导护罩移动以维持护罩和涡轮叶片之间所希望的位移。

诸如涡轮机和压缩机之类的旋转部件的效率还受到旋转叶片和部件外壳之间的空隙或间隙的强烈影响。通常, 最小化空隙会使这些部件的效率最大化。然而, 为了防止旋转叶片碰到部件外壳, 小量的间隙是理想的。在某些应用中, 电容探头被用于测量两物体之间的距离。该探头被安置在其中一个物体上并测量相对于另一物体的电容, 从而估计两物体之间的间隙。然而, 对于高温应用, 例如燃气涡轮, 由于使设备在恶劣工作环境中工作所必需的要求很严格, 所以现有的设备价格昂贵并且制造困难。

因此, 存在对解决上述问题的改进的传感器系统的需求。

发明内容

根据本发明的一个实施例, 提供了一种间隙感测系统。该系统包括与测试物体以可变距离 d 间隔开的探头。该系统还包括用于提供电流通过探头的交流 (AC) 电源, 其中 AC 电源和探头被配置成在探头的尖端和测试物体之间产生受控的等离子体通道。该系统进一步包括处理单元, 被配置成根据所述探头的尖端和测试物体之间的电压差来确定所述可变距离 d 。

根据本发明的另一个实施例, 公开了一种测量到导电旋转物体的距

离的方法。该方法包括将探头放置在距离导电旋转物体具有可变距离 d 之处。该方法进一步包括启动并稳定探头的尖端和导电旋转物体之间的等离子体放电。该方法进一步包括测量电压降、流过在探头的尖端和导电旋转物体之间形成的等离子体的电流以及该探头的阻抗中的至少一项。另外，该方法包括根据电压降、电流和阻抗中的至少一项来确定到导电旋转物体的距离。

附图说明

当参照附图阅读以下详细说明，本发明的这些及其它特征、方面和优势将被更好地理解，在附图中，相似的符号表示相似的部分，其中：

图 1 是根据本发明实施例的用于以射频启动并稳定等离子体的探头系统的图解说明；

图 2 是表示图 1 中的探头系统的等效电路；

图 3 是根据本发明实施例的用于以射频启动并稳定等离子体的屏蔽式探头系统的示意性图示；

图 4 是表示图 3 中的屏蔽式探头系统的等效电路；

图 5 是根据本发明实施例的间隙感测系统的框图表示；

图 6 是图 5 中的间隙感测系统的特定示例的框图表示；

图 7 是说明测量旋转物体的间隙的方法的示范性步骤的流程图；

图 8 是试验台的一部分的示意性图示；以及

图 9 是在图 1 和图 3 的探头系统的尖端和图 8 中的突起之间所测量的电压降的图形图示。

部件列表

- 10. 等离子体探头
- 12. 内部导体
- 14. AC 电压源
- 16. 外部导体
- 18. 线圈
- 20. 第一电极
- 22. 第二电极
- 24. 空隙
- 26. 等离子体放电
- 28. 地

-
- 30. 等效电路
 - 32. 电感器
 - 34. 电容器
 - 36. 电阻器
 - 38. 传输线
 - 40. 寄生电容
 - 42 泄露电阻
 - 44. 传输线的一端
 - 46. 负载
 - 60. 屏蔽式探头系统
 - 62. 中央导体
 - 64. AC 电压源
 - 66. 第一电极
 - 68. 外部导体
 - 70. 线圈
 - 72. 第二电极
 - 74. 空隙
 - 76. 热等离子体放电
 - 78. 屏蔽
 - 90. 等效电路
 - 92. 电感器
 - 94. 电容器
 - 96. 电阻器
 - 98. 泄露电阻器
 - 100. 电容器
 - 102. 传输线的一端
 - 104. 负载
 - 110. 间隙感测系统
 - 112. 探头
 - 114. 测试物体
 - 116. 可变距离 d
 - 118. AC 电源

- 120. 受控的等离子体通道
- 124. 处理单元
- 134. RF 载波源
- 136. RF 放大器
- 138. RF 载波信号
- 140. 衰减器
- 142. 衰减的信号电平
- 144. 解调器
- 146. 包络信号
- 150. 测量到导电旋转物体的距离的方法
- 152. 将探头放置在距离导电旋转物体的可变距离 d 处
- 154. 启动和稳定探头的尖端和导电旋转物体之间的等离子体放电
- 156. 测量电压降、流过形成于探头的尖端和导电旋转物体之间的等离子体的电流、以及探头的阻抗中的至少一个；
- 158. 基于电压降、电流和阻抗中的至少一个来确定到导电旋转物体的距离
- 160. 试验台
- 162. 突起
- 164. 中央部分
- 166. 边缘
- 168. 中央台地
- 180. 图形图示
- 182. 表示经过的时间(以秒计)的 X-轴
- 184. 表示包络信号的电压的 Y-轴
- 186. 峰值
- 188. 在中央台地测量的电压
- 190. 在底部台地测量的电压

具体实施方式

如在下文详细论述的,本发明的实施例包括间隙感测系统及其操作方法。如在此所使用的,“等离子体放电(plasma discharge)”指的是在大气压下并且在大于约 1MHz 频率的射频下产生的等离子体。

现在转到附图,图 1 是用于启动和稳定等离子体的系统 10 的示意

性图示。系统 10 还可以被称作等离子体探测器 10。等离子体探测器 10 包括耦合到交流 (AC) 电压源 14 的内部导体 12。在所示实施例中, 包括多个线圈 18 的外部导体 16 被环绕内部导体 12 排列。外部导体 16 的一端被耦合到 AC 电压源 14, 并且在相反端形成第一电极 20。第二电极 22 与第一电极 20 间隔开一个空隙 24, 用于启动等离子体放电 26。在特定实施例中, 内部导体 12 包括形状为圆柱的导体。在另一个实施例中, 内部导体 12 包括导线。在一个例子中, 外部导体 16 是螺线管。在示范性实施例中, 内部导体 12 是接地的。在另一个实施例中, 外部导体 16 通过 AC 电压源 14 接地。在一个例子中, 等离子体放电 26 启动大气压下的射频等离子体, 且频率在约 6MHz 到约 7.5MHz 之间的范围中。在特定实施例中, 内部导体 12 和外部导体 16 被配置成升高由 AC 电压源 14 供应的电压至少约 20dB 以启动等离子体 26。

图 2 是图 1 中的等离子体探头 10 的等效电路 30。对于所示实施例, 图 1 中所提及的内部导体 12 和图 1 中所提及的外部导体 16 被配置成串联 LC 电路, 其中 L 是由电感器 32 表示的外部导体 16 的电感, 而 C_s 是由电容器 34 表示的内部导体 12 和外部导体 16 之间的电容。电感器 32 可以具有由电阻器 36 表示的小的实数值电阻。在特定实施例中, 电阻 36 可以在约 10 到约 100 欧姆之间变化。图 1 中所提及的等离子体探头 10 使用通过内部导体 12 和外部导体 16 的分布式传输线 38, 从而起四分之一波长变换器的作用。外部导体 16 可包括如图 1 所提及的很多线圈 18 以增加每单位长度的电感。线圈 18 可包括线圈 18 每一个之间的寄生电容 40 并且其远小于由 C_s 标示的电容 34。因此, 电容 40 可被忽略。电路 30 还可包括电容 34 的泄漏电阻 42 并由 G 表示。泄露电阻 42 可以很小, 从而可被忽略。

在等离子体被启动之前, 因为不存在负载, 所以 AC 电压源 14 看到的是开路传输线。等效电路 30 在四分之一波长处发生谐振。当电源的频率在传输线 38 中产生驻波以使传输线 38 的物理长度是驻波波长的四分之一时, 四分之一波长谐振发生。因此, 电源 14 在引起负载 46 的传输线 38 的一端 44 看到的是短路。这导致大量电流被驱入传输线 38。所产生的大电流通过电感器 32 和电容器 34。此外, 电感器 32 的阻抗, 由 $2\pi fL$ 给出, 其中 f 是电源 14 的频率, 因为 L 和 f 都很大, 所以该阻抗也很大。因此, 在电感器 32 两端的电压降就很大, 从而在传输线 38 的

端 44 导致高电压。该高电压在负载 46 启动等离子体的产生。

等离子体的产生导致传输线 38 在负载 46 短路。在这样的情形中，被驱入传输线 38 的电流可具有两条路径。其中一条通过如上所述的电感器 32，且另一条通过负载 46 而绕过电感器 32。因此，电流被分成两路，并且较少的电流量流过电感器 32。这导致电感器 32 两端电压降较低，其也是通过在负载 46 所产生的等离子体的电压。因此，进入等离子体的电流被减小，从而增大了等离子体电阻。产生了非常快的负反馈回路，从而稳定了在负载 46 所产生的等离子体。因此，等离子体探头 10 在启动等离子体并随后将电压稳定到所需值从而不会使等离子体消除并同时防止任何可能的烧坏中起着重要作用。

在所示的本发明的另一个实施例中，图 3 描述了用于启动和稳定等离子体产生的屏蔽式探头系统 60。系统 60 包括一端耦合到 AC 电压源 64 并在相反端形成第一电极 66 的中央导体 62。系统 60 还包括外部导体 68，所述外部导体 68 包括环绕中央导体 62 排列的多个线圈 70。对于所示的实施例，外部导体 68 的一端被耦合到 AC 电压源 64 并在相反端形成第二电极 72。第一电极 66 和第二电极 72 由空隙 74 隔开以启动等离子体放电 76。与非屏蔽式探头热等离子体放电相比，屏蔽式探头系统 60 可启动更高温度的等离子体放电。系统 60 进一步包括屏蔽 78，其与中央导体 62 同心放置以用于屏蔽电磁干扰。外部导体 68 产生的磁场被压缩并存在于中央导体 62 和屏蔽 78 之间的空间中。中央导体 62 和外部导体 68 可被配置成升高 AC 电压源 64 的电压大约 30dB。绝缘材料 80 可放置在中央导体 62 和屏蔽 78 之间。在特定实施例中，绝缘材料 80 可包括陶瓷绝缘材料。在示例中，屏蔽 78 可包括同心并相互连接的内部导电圆柱体和外部导电圆柱体，并且其中外部导体 68 可放置在内部和外部导电圆柱体之间。

图 4 是图 3 中的屏蔽式探头系统 60 的等效电路 90。对于所示的实施例，图 3 中的中央导体 62 和图 3 中的外部导体 68 被配置成串联 LC 电路。图 3 中所提及的屏蔽 78 的存在降低了电路 90 中的有效电感并增加了有效电容。该有效电感等同于由电感器 92 表示的 $(L-M)$ ，其中 L 是中央导体的电感而 M 是中央导体 62 和屏蔽 78 之间由于涡流损耗而造成的互感。该有效电容等同于由电容器 94 表示的 $(C_{s1} + C_{s2})$ ，其中 C_{s1} 是中央导体 62 和外部导体 68 之间的电容，而 C_{s2} 是屏蔽 78 和外部导体

68 之间的电容。电感器 92 可具有由电阻器 96 表示的小的实数值电阻, 其中该电阻包括由于涡流损耗而引起的电阻。电容器 94 可包括由泄露电阻器 98 表示的可忽略的泄露电阻。电路 90 还可包括由图 3 所提及的线圈 70 的每一个之间的电容器 100 表示的可忽略的寄生电容。因为该有效电感较小, 并且存在更多涡流形式的损耗, 所以启动等离子体放电所需的电压有所增加。等离子体放电的启动导致在具有负载 104 的一端 102 短路。因此, 与图 1 中所描述的等离子体探头相比, 这可导致效率更低的等离子体探头。

图 5 是间隙感测系统 110 的框图表示。系统 110 包括与测试物体 114 以由 'd' 表示的可变距离 116 间隔开的探头 112。在特定实施例中, 测试物体 114 是导电旋转测试物体 114。在特定实施例中, 探头 112 可包括由选自钨、铁、镍和铝这一组中的材料制成的导线。在另一个实施例中, 探头 112 可以是射频 (RF) 等离子体探头。例如, RF 等离子体探头的工作频率可在约 6MHz 到约 7.5MHz 之间的范围。在特定实施例中, RF 等离子体探头是如图 1 所描述的非屏蔽式等离子体探头。在另一个实施例中, RF 等离子体探头是屏蔽式等离子体探头, 如图 3 中所描述的。提供交流 (AC) 电流源 118, 用于向探头 112 供应电流。对于特定实施例, AC 电源 118 向探头 112 供应恒定幅度的电流。受控的等离子体通道 120 可在探头 112 的尖端和测试物体 114 之间产生。等离子体通道的阻抗主要是电阻性的并可依赖流过等离子体通道的电流、通道长度及通道中气体性质 (例如气体成分、压力和温度) 而在约 1 千欧姆和 500 千欧姆的范围中变化。在某些实施例中, 等离子体是通过使用恒定电流、高频 (至少大约 20kHz) 电源 118 而被稳定的。电压和电流探头 122 可被用于测量探头 112 的尖端和旋转测试物体 114 之间的电压差。系统 110 还包括处理单元 124, 其被配置成根据在探头 112 的尖端和旋转测试物体 114 之间所测量的电压差来确定可变距离 'd' 116。该电压差对应于探头 112 的阻抗的变化。探头 112 的阻抗的变化与距离 'd' 116 成比例。在特定实施例中, 处理单元 124 被配置成比较所测量的阻抗的变化与校准数据以确定 'd' 116。在示例中, 旋转测试物体 114 可以是涡轮机或压缩机的一部分, 例如涡轮叶片。在另一个实施例中, 可变距离 'd' 116 可以在约 1 μm 到约 20mm 之间的范围中。

应该注意到, 本发明并不限于用于执行本发明的处理任务的任何特

定处理单元。术语“处理单元”，正如在此所使用的，旨在表示任何能够执行对于执行本发明的任务所必需的计算或者估算的机器。术语“处理单元”旨在表示任何能够接受结构化的输入并能够根据所规定的规则来处理所述输入以产生输出的机器。还应该注意到，在此所使用的短语“配置成”指的是处理单元配备有硬件和软件组合，用以执行本发明任务，如将被本领域技术人员所理解的那样。

图6是特定的示范性间隙感测系统110的框图表示。在所示实施例中，AC电流源包括RF载波源134。来自RF载波源134的RF信号132被馈入用于放大RF信号132的RF放大器136。在所示实例中，RF放大器136将RF信号放大50dB。放大的RF载波信号138被输入到如图5所提及的RF等离子体探头112，以在如图5所提及的RF等离子体探头112和旋转测试物体114之间的空隙116产生并维持等离子体。如上所述，等离子体通道的阻抗主要是电阻性的并可依赖流过等离子体通道的电流，通道长度以及通道中的气体性质而在约1千欧姆和500千欧姆的范围内变化。一旦等离子体被启动，负载的阻抗就会增加。在示例中，阻抗可从约50欧姆增加到约3千欧姆。来自RF放大器136的放大的载波信号138被馈入衰减器140，以将放大的RF载波信号138的电压降低到衰减的信号电平142并不改变所产生的等离子体的阻抗的情况下测量电压。在所示实施例中，衰减器140是具有（例如，约10千欧姆到约100千欧姆的）阻抗的高阻抗衰减器。衰减的信号142然后被输入到解调器144，所述解调器144将包络信号146从衰减的信号142中分离出来。在诸如约7MHz的载波频率上存在来自各种源的多个电磁干扰信号。为避免干扰信号，将包络信号146分离出来。包络信号146进一步被馈入如图5所提及的处理单元124以监视包括信号146的电压变化。

图7是说明测量到导电旋转物体的距离的方法150的示范性步骤的流程图。方法150包括在步骤152将探头放置在距离导电旋转物体的可变距离d处。在步骤154启动并稳定探头的尖端和导电旋转物体之间的等离子体放电。在特定实施例中，通过在探头中供应反馈而稳定等离子体放电，以便降低流过等离子体的电流。在步骤156，测量通过探头的尖端和旋转物体之间的等离子体的电压降。在另一个实施例中，在步骤156，测量流过等离子体的电流。在又一实施例中，在步骤156根据所测量的电压降和电流而进一步确定阻抗。通常，复数阻抗等于所测量的

电压降与恒定幅度的电流的比率。在又一个实施例中，测量等离子体探头的阻抗。在步骤 158 根据所测量的电压、电流以及复数阻抗的幅值中的至少一个来为旋转物体确定间隙。间隙的确定包括比较复数阻抗与校准数据。

示例：

如下示例仅仅是说明性的并不应解释成对要求保护的本发明的范围有所限制。

图 8 是试验台 160 的一部分的示意说明。试验台 160 包括突起 162 和中央部分 164，其中，突起 162 例如可表示涡轮叶片。突起 162 和外壳或护罩（未示出）之间的间隙的最佳距离将被确定。此外，每个突起 162 包括边缘 166 和中央台地 (plateau) 168。底部台地 170 表示中央部分 164 的边缘。

图 9 是在图 5 所提及的 RF 等离子体探头 112 的尖端和图 8 中的旋转试验台 160 的各个部件之间所测量的电压差作为时间函数的图形图示 180。试验台 160 的尖端的旋转速度被设置为大约 0.4m/s。X-轴 182 表示经过的时间（以秒计），而 Y-轴 184 表示当旋转试验台的各个部件通过等离子体放电时如图 6 所提及的包络信号 144 的电压。峰值 186 表示在如图 7 所提及的涡轮叶片 162 的边缘 166 测量的电压。类似地，点 188 表示在如图 8 所提及的突起 162 的中央台地测量的电压，而点 190 表示在如图 8 所提及的突起 162 之间的底部台地测量的电压。突起 162 的边缘 166 和中央台地 168 之间的距离约为 1.3mm。类似地，边缘 166 和底部台地 170 之间的距离约为 5mm。如所示，在边缘 166 和中央台地 168 之间测量的电压差约为 0.04V，而在边缘 166 和底部台地 170 之间测量的电压差约为 0.055V。

虽然在此仅说明和描述了本发明的某些特征，但本领域技术人员将会想到许多的修改和改变。因此，将要理解的是，随附的权利要求旨在涵盖所有这样的落入本发明真实精神内的修改和改变。

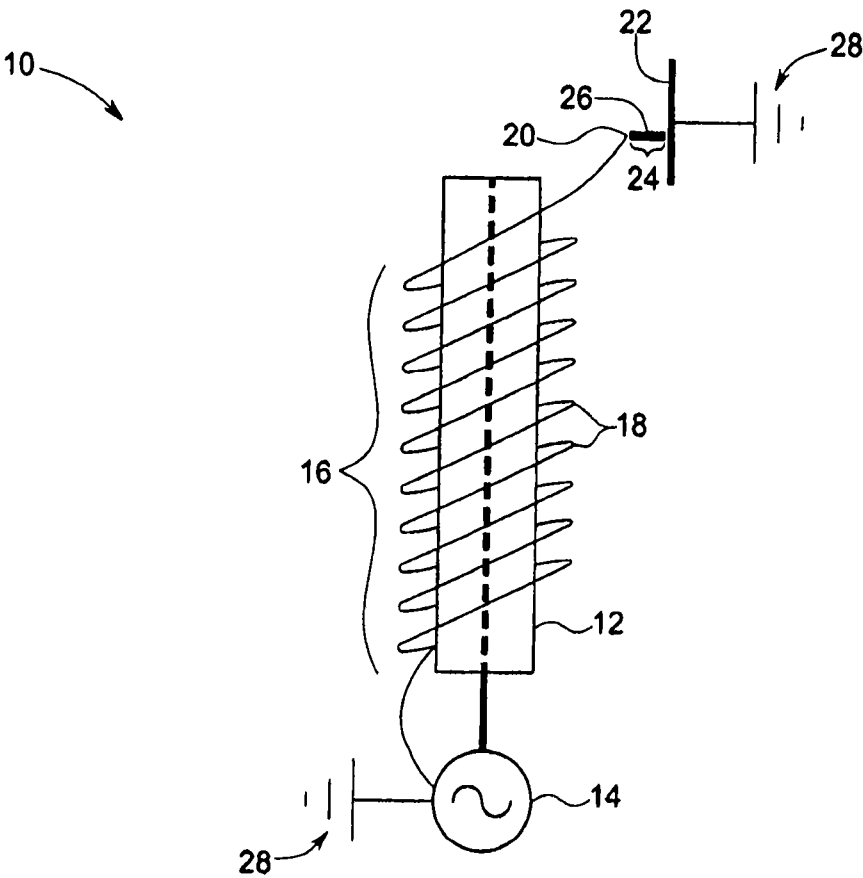


图 1

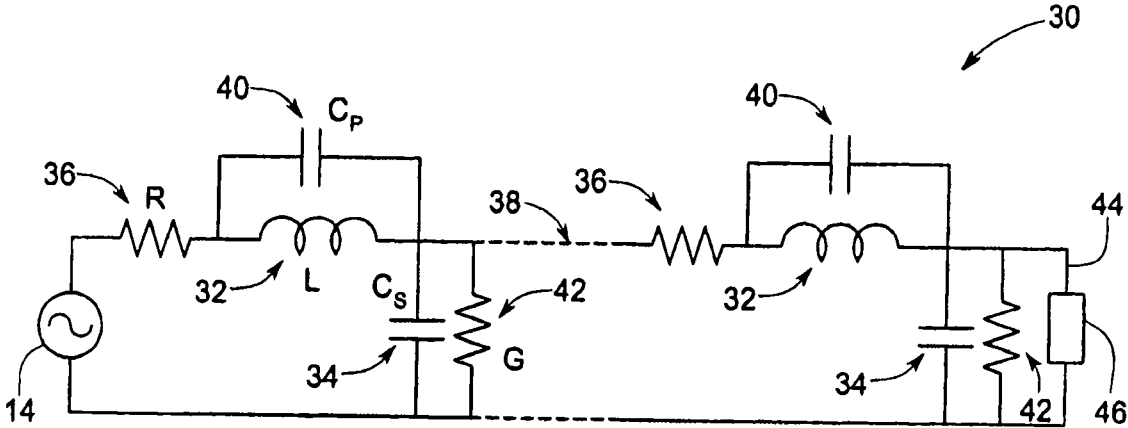


图 2

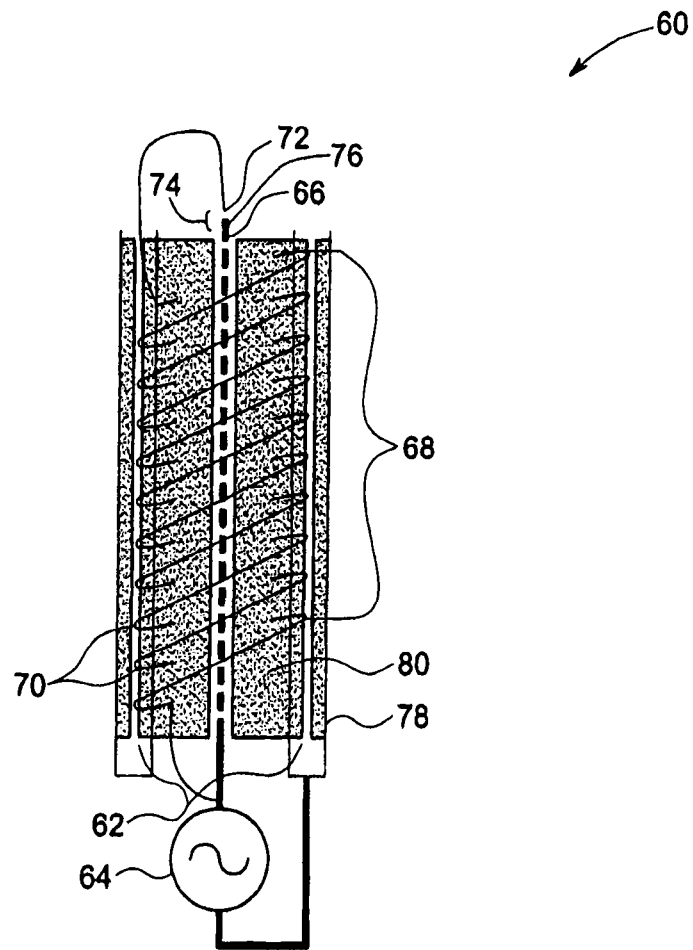


图 3

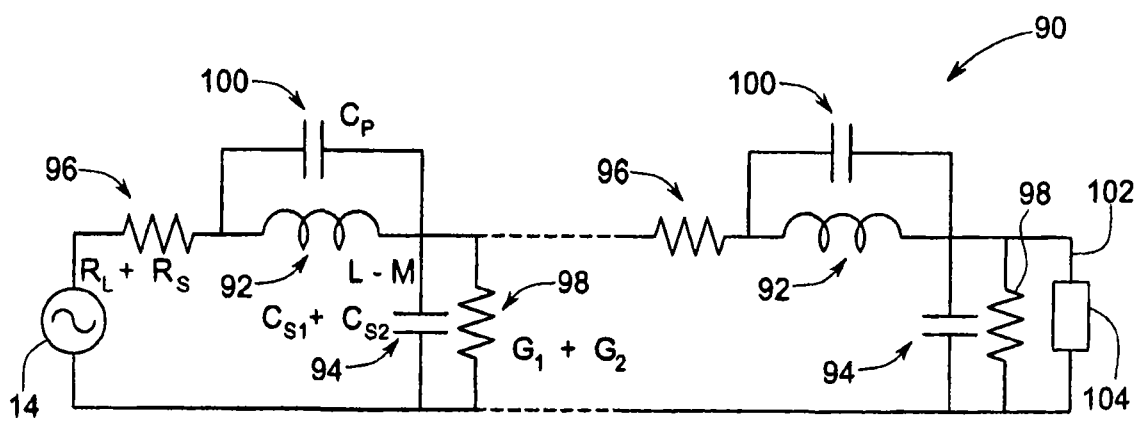


图 4

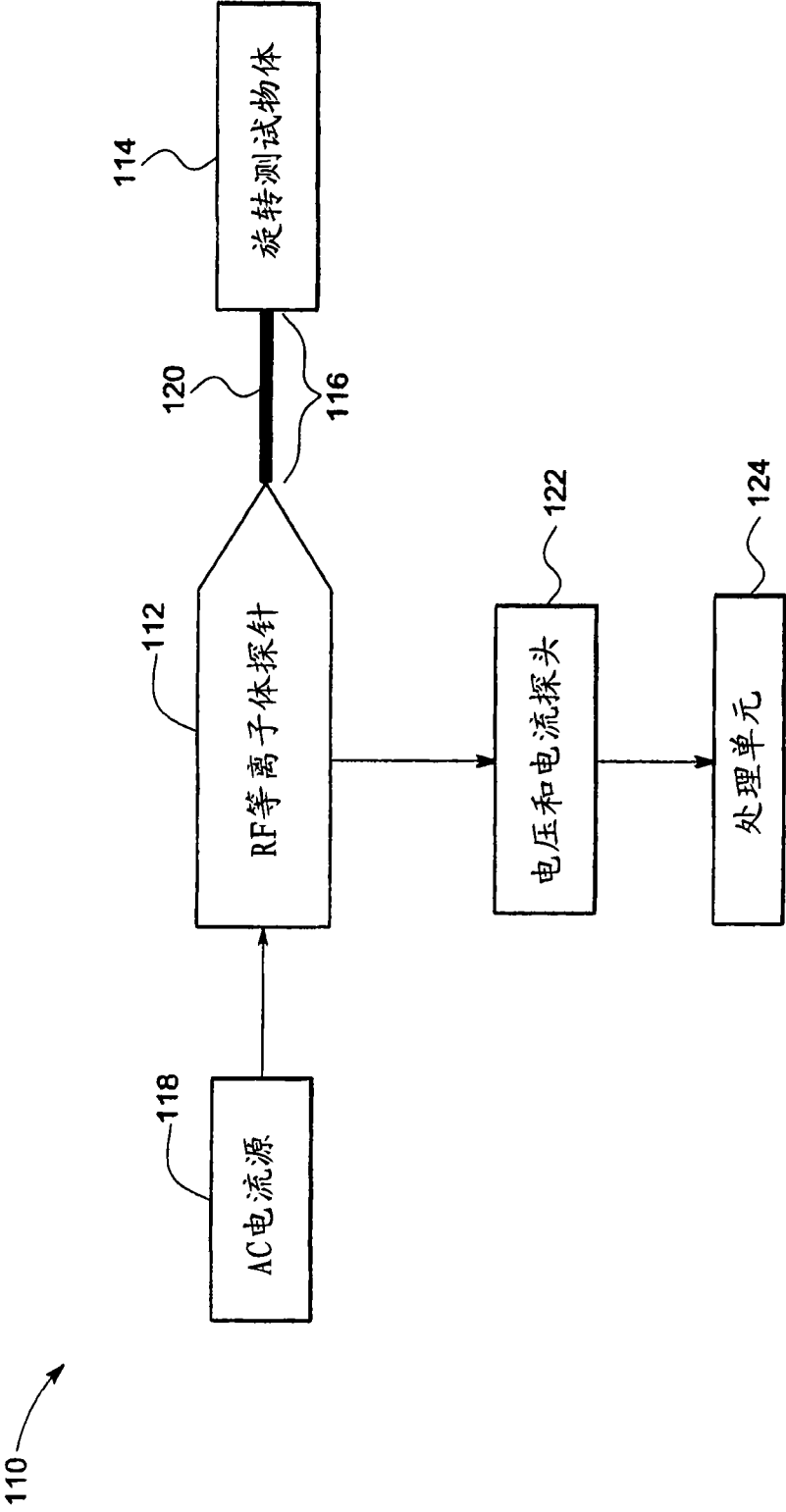


图 5

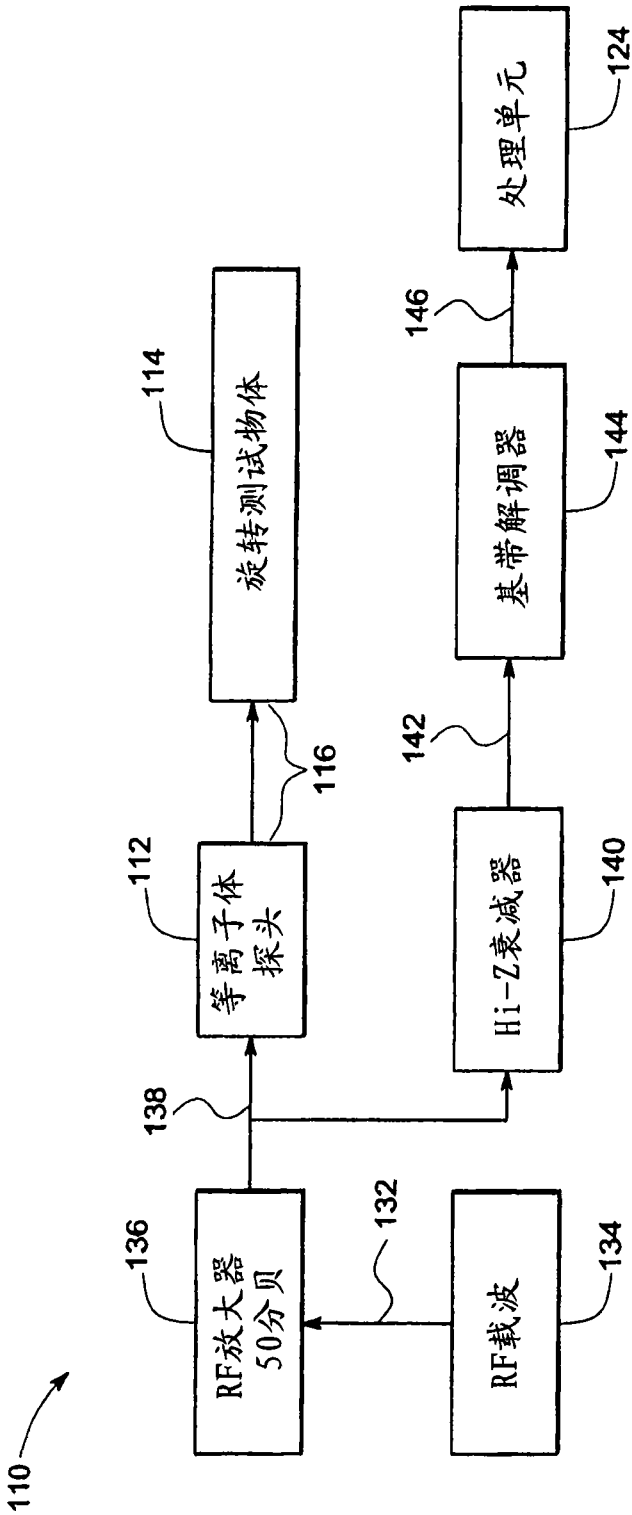


图 6

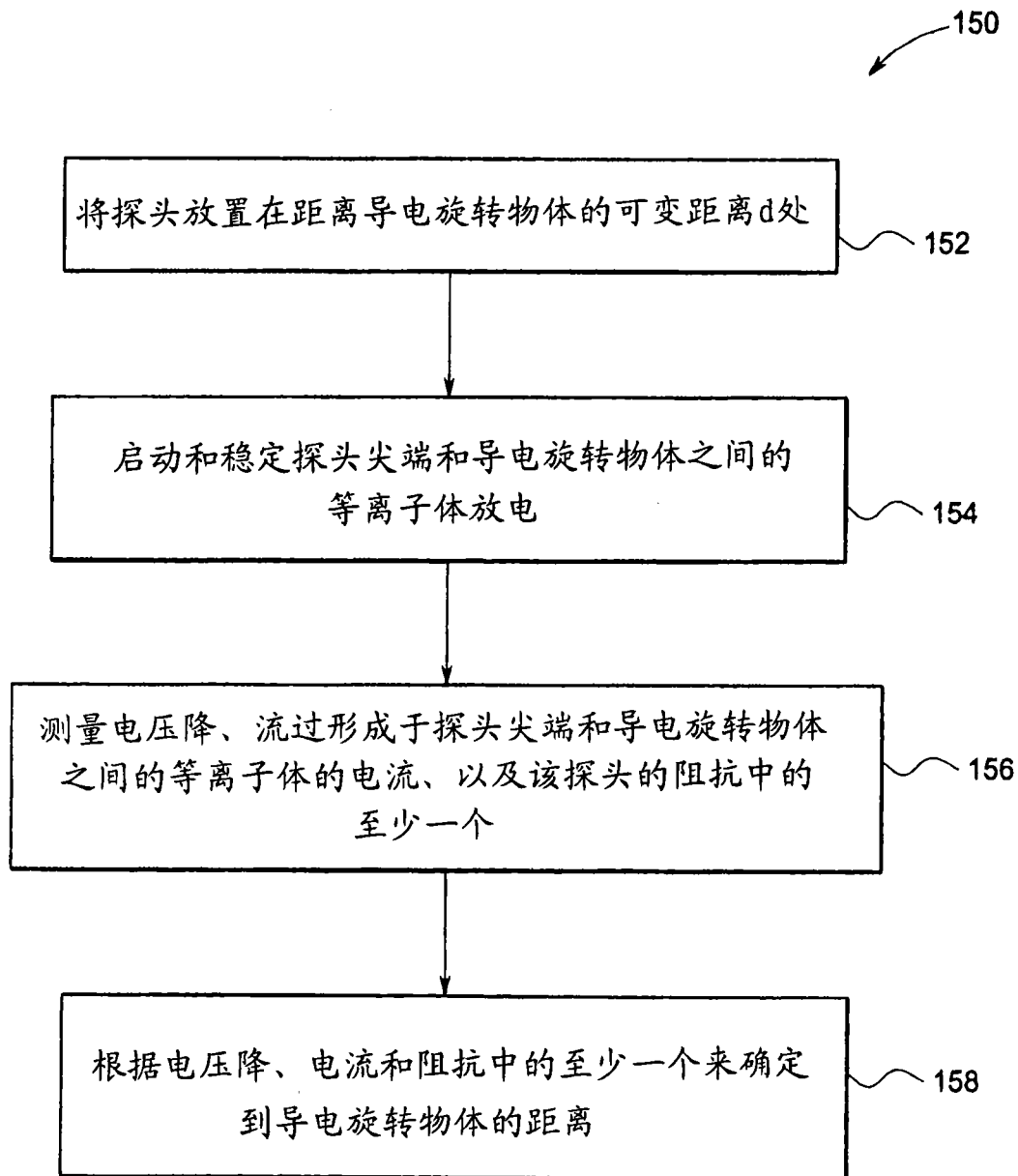


图 7

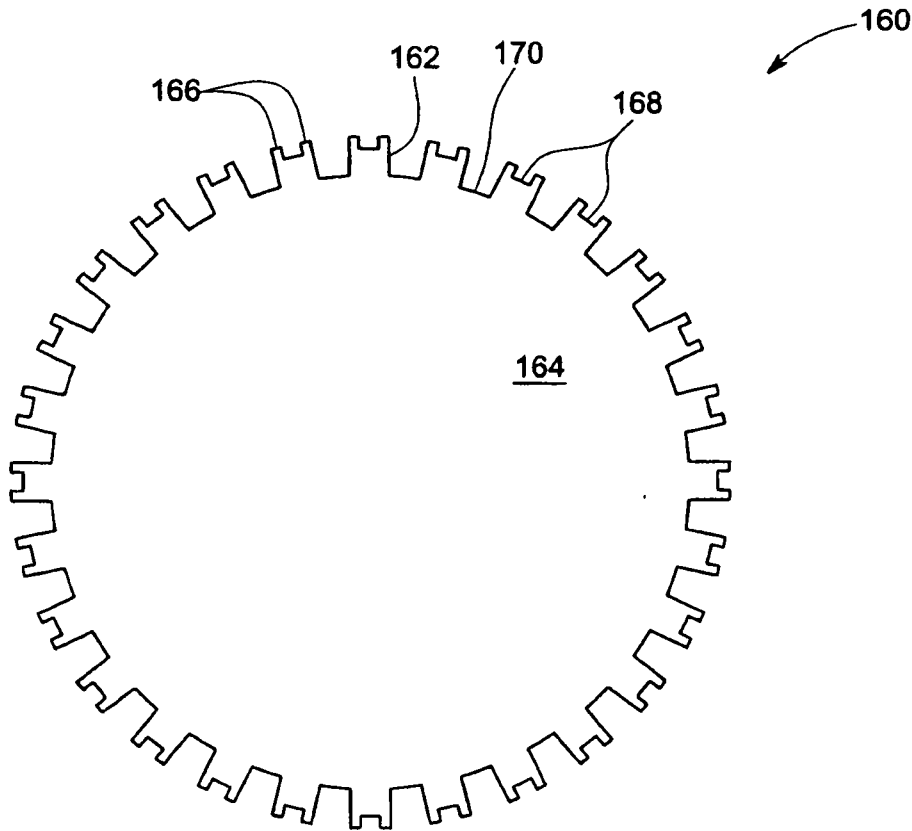


图 8

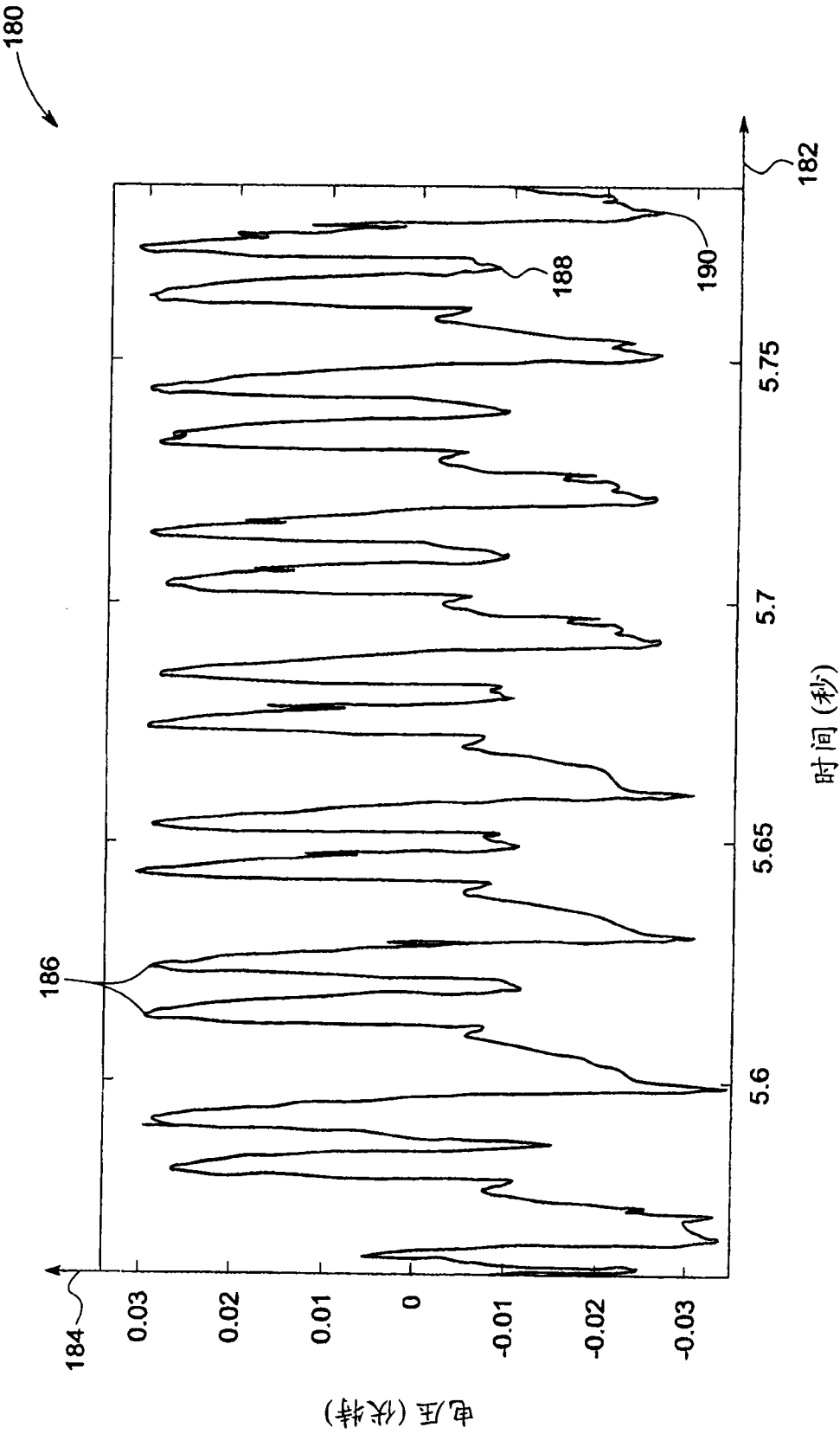


图 9