



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102435637 B

(45) 授权公告日 2016.03.30

(21) 申请号 201110238086.8

(22) 申请日 2011.08.12

(30) 优先权数据

12/855018 2010.08.12 US

(73) 专利权人 通用电气公司

地址 美国纽约州

(72) 发明人 S·马哈林加姆 M·K·K·米塔尔

P·沙马 R·V·V·L·兰戈朱

W·巴苏 P·霍沙尔

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公

司 72001

代理人 柯广华 朱海煜

(51) Int. Cl.

G01N 27/04(2006.01)

G01N 27/22(2006.01)

(56) 对比文件

US 5284142 A, 1994.02.08,

CN 1252571 A, 2000.05.10,

CN 1526358 A, 2004.09.08,

董秀珍等. 电阻抗断层成像系统及重构算

法.《第四军医大学学报》.1999,第20卷(第3期),全文.

P.A.T.PINHEIRO ET AL.Three-dimensional electrical resistance tomography in a stirred mixing vessel.《CHEMICAL ENGINEERING COMMUNICATIONS》.Gordon and Breach Science Publishers,1999,第175卷25-27,33页.

审查员 耿青梅

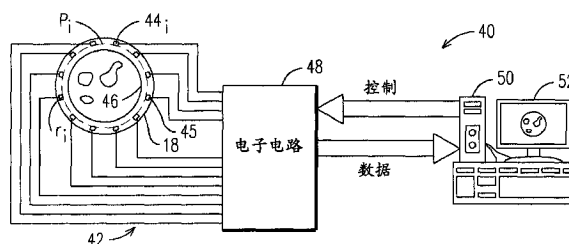
权利要求书1页 说明书11页 附图4页

(54) 发明名称

执行电阻抗断层摄影的系统和方法

(57) 摘要

本发明名称为“执行电阻抗断层摄影的系统和方法”。用于重建多材料物体之内的电性质分布的电极阵列、系统和方法。一个实施例包括:沿三维螺旋路径布置以提供一个或多个螺旋阵列的电极,和测量信号以计算表示结构的内部的传导率分布或导纳率分布的电路。可获得表示多材料区域的图像数据。



1. 一种用于生成数据以重建在结构的内部区域的多材料物体之内的电性质分布的方法,包括:

沿三维螺旋路径配置多个电极 (44i),以在所述多材料物体周围提供电极 (44i) 的三维阵列 (H_j);

将用于输入的信号模式集合施加到沿所述三维螺旋路径配置的所述电极 (44i) 以在所述多材料物体内部形成以螺旋方式转动的电场,并响应所述信号模式集合的施加,从所述电极 (44i) 获得测量的电信号集合。

2. 如权利要求 1 所述的方法,还包括:

通过所述测量的电信号集合,计算在其周围放置所述电极 (44i) 的结构的区域中表示所述结构的内部的三维传导率分布或导纳率分布;以及

确定表示在包括具有不同传导率或导纳率的两个或多个区域的结构中的多材料区域的三维图像数据。

3. 如权利要求 2 所述的方法,其中:

配置所述多个电极 (44i) 的所述步骤包括:沿着一系列的三维螺旋路径放置所述电极 (44i),以提供 p 个螺旋阵列 (H_j),每个阵列都包括 r 个电极 (44i) 的序列;以及

将所述用于输入的信号模式集合施加到所述电极 (44i) 的所述步骤包括:当在给定时间将所述信号模式集合施加到所述电极 (44i) 时,将不同的信号模式施加到所述电极 (44i) 的不同电极。

4. 如权利要求 3 所述的方法,其中,每个螺旋阵列包括布置为有序序列的 r_i 个电极 (44i),其中,对于 i 的给定值,每个与不同螺旋相关联的所述电极 (44i) r_i 沿着公共平面 P_i 以环状模式放置。

5. 如权利要求 1 所述的方法,其中,将多个信号模式集合顺序地施加到所述电极 (44i),并且所施加的电信号集合系列的每个包括电压输入模式,以及为每个施加的信号集合获得电流电平的测量的电信号集合。

6. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述结构是导管 (44),具有不同传导率的材料穿过所述导管流动。

7. 如权利要求 1 所述的方法,其中,所述结构是导管 (44),具有不同相的材料穿过所述导管流动。

8. 如权利要求 6 所述的方法,其中,所述材料包括油和烃气。

9. 如权利要求 7 所述的方法,其中,图像信息用于确定流过所述导管 (44) 的液体材料和气态材料的相对比例。

10. 如权利要求 2 所述的方法,还包括:将所述图像数据提供到显示器,所述显示器用于查看表示所述结构的所述内部的图像。

执行电阻抗断层摄影的系统和方法

技术领域

[0001] 本发明一般涉及多材料物体的无损评估或非侵入式评估,并且更具体地说,涉及用于生成数据以对包括封闭边界之内不同材料的物体(称之为多材料物体)执行电阻抗断层摄影(tomography)的方法。

背景技术

[0002] 电阻抗断层摄影(EIT)的原理是基于以下认识:检查中的物体具有在诸如传导率和电容率的电性质中的变化,这些变化与诸如密度或化学组成的材料特性高度相关。例如,在人体中,在身体组织间电导率有相当大的变化。

[0003] 在工业活动和其它非临床应用中,期望执行非侵入式监测或成像,以确定主体(body)体积的组成或者表征某特征的大小和形状,或感兴趣物体内的其它情况。通常,EIT对于为体积内由可辨别电性质表征的特征成像是有用的。然而,EIT也能够以某种方式使用,其中,最终结果可以是指示体积内不同材料的位置、比例或其它性质的数学值或数学值的集合,而不是生成图像。例如,能够在此基础上解析具有不同密度的体积内的特征。例如,在多相流体混合物中,已知的是基于相(例如,液体或气体)或化学组成,传导率将有变化。大体上,使用较简单仪表装置执行的电测量能够提供有关以下指示的数据:(i)具体材料在体积中所处的位置,(ii)不同构成的相对比例,以及(iii)在体积内不同材料之间边界的形状。相浓度能够确定的混合物的示例是诸如泥浆的固-液合成物、诸如在油管线中存在的气-液合成物、以及一般的液-液混合物和固-气-液混合物。混合物可以是固定的或流动的。就流过管道的流体而言,在不同相材料间或具有不同化学性质的材料(例如,水和油)之间的传导率确定能够导致确定目前的相对体积。

[0004] 通常,需要在这些类型的多相流工艺中确定内部流特征,这是因为此信息实现了改善工业工艺的设计和控制及提高现有和新处理设备的操作效率。用于预测多相工艺性能的流特征可例如包括相的空间分布(空间体积相分率(volumetric phase fraction))、流态、界面面积定义、和在相或材料之间的绝对速度与相对速度的确定。由于材料的非均匀分布趋于减少可用于化学反应或化学变换的材料之间的界面面积,并可导致回流(形成空间上非均匀的反应区或浓度),因此,知道材料的空间分布特别有用。此外,体积相分率和速度是实现适当和及时控制多相流的重要参数。

[0005] 关于使用EIT确定在管道中液相和气相的体积分率,通常是通过沿着研究中的主体的边缘(例如,在沿着管道的内表面的圆中)放置一系列电极来获取数据。参阅美国专利第4486835、4539640、4920490及5381333号,所有专利通过引用方式并入本文中。在由上述文献描述的系统中,电信号(电压或电流)的集合经电极施加到体积。测量的电信号(电压或电流)用于重建研究中的体积之内的空间特征,以便能够生成表示这些特征的图像。在此方面,存在其中可不存在唯一解(即,对应于获取的数据的图像)的、经常所说的逆问题。施加的电信号集合典型地是一系列激励模式。通过较大系列的此类激励模式顺序地驱动电极集合是必要的。作为示例,在该系列中的激励模式之一中,可通过相对于彼此相

移的正弦电压信号,施加所有电极。响应激励模式的每个集合,测量对应的电流信号。使用从该系列的激励模式的施加所获取的数据,应用算法以查明在体积内电性质的分布,并因此查明多种材料的分布。

[0006] 当电极沿穿透研究中的主体的选定平面放置时,算法要提供沿相同平面的电性质的分布。通常,已应用了广泛的多种数学方法和数值技术,以确定表示沿选定平面的多材料物体的电性质的分布。注意,当电流穿过检查中的结构时,它们扩布到第三维(在放置电极时所沿的平面以外),可能难以解析精细结构的细节。

发明内容

[0007] 在本发明的一个实施例中,提供了用于生成和测量电信号的电极阵列。该阵列适于重建在结构的内部区域中的多材料物体之内的电性质分布。此类区域可由具有不同传导率或导纳率的材料来表征,这些传导率或导纳率影响通过该区域的电信号的传输。电极阵列包括沿至少一个三维螺旋路径布置的多个电极,以在多材料区域周围提供电极的一个或多个螺旋阵列。

[0008] 根据本发明的另一实施例,提供了一种用于生成数据以重建在多材料物体内的电性质分布的方法。多个电极沿三维螺旋路径配置,以在多材料物体周围提供电极的三维阵列。将信号模式集合施加到电极。响应信号模式集合的施加,从电极获得测量的电信号集合。在示例实施例中,在多材料物体内部顺序地生成许多类型的电场模式。

[0009] 还提供了一种用于生成和测量电信号以重建在结构的内部中的多材料区域的图像的电阻断层摄影系统。该区域可由具有不同传导率或导纳率的材料表征,这些传导率或导纳率影响通过该区域的电信号的传输。系统包括沿至少一个三维螺旋路径布置的多个电极,以提供可在多材料区域周围放置的电极的一个或多个螺旋阵列。系统还包括处理电路,以响应信号模式集合的施加,从电极获得测量的电信号集合,该测量的电信号集合适于计算在其周围放置电极的结构的区域中表示结构的内部的传导率分布或导纳率分布。根据实施例,系统可确定表示包括具有不同传导率或导纳率的两个或更多个区域的结构中多材料区域的图像数据。此外,根据示例实施例,测量的数据可用来重建用于在监测器上显示或进一步电子传输的、多材料物体的图像。

附图说明

[0010] 当参照附图阅读以下详细说明时,将更好地理解本发明的这些和其它特征、方面和优点,附图中类似的字符在所有图形中表示类似的部件,在附图中:

[0011] 图 1 是根据一示例实施例的采油设施的框图;

[0012] 图 2 是根据本发明一实施例的、并入多相流计的基于电阻断层摄影(EIT)的成像系统的示意图;

[0013] 图 3 是根据本发明一实施例的、在流计上以螺旋阵列放置的一系列电极的侧视图;

[0014] 图 4 是图 3 中示出的螺旋阵列的展开图;以及

[0015] 图 5 是形成部分图 2 的系统的电路的示意图。部件列表 -GE 案号 241249-1

[0016] 部件号 名称

[0017]	1A	等式
[0018]	1B	等式
[0019]	1C-	等式
[0020]	1	附图
[0021]	2A	等式
[0022]	2B	等式
[0023]	2C	等式
[0024]	2	附图
[0025]	4	圆柱形导管
[0026]	4	附图
[0027]	5	等式
[0028]	5	附图
[0029]	6	等式
[0030]	6	附图
[0031]	9	等式
[0032]	10	等式
[0033]	10	典型的采油设施
[0034]	12i	油井
[0035]	12i	井
[0036]	14	管道系统
[0037]	16	管汇
[0038]	16	生产管汇
[0039]	18	mpfm
[0040]	19	阀系统
[0041]	20	生产分离器
[0042]	40	电阻抗断层摄影系统
[0043]	40	示出的 mpm 系统
[0044]	40	图像重建系统
[0045]	40	系统
[0046]	42	配线
[0047]	44	导管
[0048]	44i	连接 1 电极
[0049]	44i	电极
[0050]	44i	1 个电极
[0051]	44i	电极
[0052]	44i	电极
[0053]	45	导管表面
[0054]	45	圆柱表面
[0055]	45	表面

[0056]	45	配线
[0057]	46	导管
[0058]	47	轴线
[0059]	47	中心轴
[0060]	47	对称
[0061]	48	电路
[0062]	48	电子电路
[0063]	48	处理电路
[0064]	50	计算机
[0065]	52	显示器
[0066]	60	施加电压 EIT 系统
[0067]	60	系统
[0068]	62	电路
[0069]	62i	电路
[0070]	63	交换网络
[0071]	64	单个校准电路
[0072]	44-1	第一个电极
[0073]	441-44	最后一个电极

具体实施方式

[0074] 现在,在多材料物体之内的电性质分布能用于确定多相流中成分的比例的应用中描述本发明。在此示例中,多个材料一起在管道或导管内流动。本发明实施例的功能是提供用于测量多材料系统的特性(如在油工业中使用的那些),以估计流过管道的油、水和烃气的分率和流速的系统和方法。虽然本发明参照在油/气体/水测量中的使用进行了描述,但它并没有限于此类应用。相反,本发明适用于广泛的多种工业、健康护理和化学工艺,例如,医疗成像、癌症诊断和水处理工艺。

[0075] 通过管道的多材料流可包括固态、液态和气态中的两种或多种物理状态。多相流工艺的准确表征实现了在石油、制药、食品及化学工业中使用的系统和处理设备的设计改进和操作效率提高。用于预测多相工艺的性能的相关流特征可例如包括:相位的空间分布(空间体积相分率)、流态表征、界面面积、及在不同相或材料之间的绝对速度和相对速度。通过更准确地确定在多相流中材料的非均匀空间分布的能力,使得管理和控制工艺以获得更符合需要的结果变得可能。例如,在运送石油产品的管线中,可最小化气体相对于液体构成的比例。在煤泥运输中,能够优化水对媒的体积比例,以确保每单位体积的最大可实现能含量。做为适用于优化制造工艺的另一个示例,监测和降低在经历化学反应或化学变换的材料的非均匀分布是重要的。此类工艺可具有材料之间的减少的界面面积(由于例如,产生空间上非均匀的反应区或浓度的回流)。

[0076] 因此,体积相分率和相关联成分的实时知识实现了及时和有效地控制多相工艺。然而,生成此类表征的计算要求可能添加过度的复杂性,并且可延迟实现对监测中工艺的及时控制所需要的响应时间。为此,许多现有系统一直依赖近似法来确定材料比例和表征

多相系统中材料的分隔。

[0077] 一种典型的 EIT 系统可基于输入信号到成对电极的顺序施加并感测在一个或多个其它电极处响应此输入的信号。例如, 电流可在一对电极之间流动, 一次一对, 并且测量在剩余电极上的电压。备选地, 可跨电极对施加电压, 一次一对, 并且测量在其它电极的一个或多个处的电流。根据本发明的示例实施例, 通过同时将电流或电压施加到所有电极, 更迅速地获取较大量的电数据。施加的电流或电压可具有预定义的相位或频移, 或者可相互电同相且可具有幅度变化。通过生成增大量的电数据, 可能实现更高的信噪比和更高的分辨率。当通过特定的信号模式激励电极时, 在多材料物体内部发展出特定的电场模式。在同时激励所有电极时, 能够灵活地控制、集中和修改此电场模式。由于需要相对较大数量的测量以提供必需的分辨率, 因此, 当检查中的主体包括在相对电容率或导电率方面有小变化的成分时, 这特别相关。

[0078] 当通过电流信号生成电数据以通过 EIT 重建图像时, 注入到成像的体积内的电流通常不以直线从一个电极行进到另一个电极。相反, 电流的扩布采用经常涉及所有三维的多个路径。由于电流路径的不当表征, 通过体积的电流在诸如放置一组电极的平面的二维内沿直线或曲线行进的假设可导致错误。当电流穿过检查中的结构时, 电流扩布到第三维 (在放置电极时所沿的平面以外) 导致了更差质量的图像, 即, 在其中难以解析精细结构的细节。例如, 电流可在具有更低电导率的平面的材料区域周围, 沿放置电极的平面以外的路径行进。在此类情况下, EIT 技术的分辨率严重降低, 因为测量的电信号不但指示电极的平面中的材料分布, 而且还指示在放置电极的平面以外的材料分布。因此, 期望找到能够对多材料物体进行改进询问 (interrogation) 的技术, 以便能够完全询问评估中的三维多材料物体, 并以更高分辨率清晰地确定内部材料分布。

[0079] 参照图 1 中示出的简化示意图, 为具有连接到管道系统 14 的多个油井 12_i 的典型采油设施 10 描述了本发明的一示例实施例。管道系统 14 包括耦合以接收来自每个井 12_i 的流 F_i 并输出总流 F 的生产管汇 16。来自每个井的流 F_i 在进入管汇 16 前穿过根据本发明的多相流计 (MPFM) 18, 并且可由阀系统 19 控制, 以调节例如液相和气相的总体比例。

[0080] 每个多相流计是系统的一部分, 实现了对靠近井的未处理井流的测量, 并因此能够提供对井性能的持续监测。由每个多相流计系统处理的信息可用于更佳的储藏管理和流控制。从油井 12_i 泵出的流体通过生产管汇 16 被送到生产分离器 20。测试分离器 (未示出) 可与多相流计系统结合在一起。多相流计系统优于测试分离器的一个优点是减少了表征流的组成需要的时间。

[0081] 生产分离器 20 将从油井泵出的油、气体和水分离。生产分离器 20 可进一步包括一个或多个测量装置, 其例如包括测量从井抽出的水量或从井抽水的速率的水表和测量从井抽出的油量的乳化剂计量器。其它典型的测量装置包括井口压力传感器和温度计。

[0082] 随后, 参照图 2 的简化示意图, 它示出了并入图 1 的 MPFM 18 之一的电阻抗断层摄影 (EIT) 图像重建系统 40 的部分视图。根据本发明的一示例实施例, 系统 40 配置成基于传导率重建生成图像。然而, 要理解的是, 原则上 EIT 图像重建可基于传导率和 / 或电容率 (有时称为导纳率)。通过系统 40, 基于在将电流信号或电压信号的每个集合施加到电极时从研究中的体积的边缘附近的电极进行的边界电测量, 推断观察中的材料的传导率和 / 或电容率。

[0083] 根据一组示例实施例,通过从所有电极为一系列的多个信号集合中每个信号获得测量,获取大量的数据。也就是说,为施加的电流和/或电压的许多不同配置或模式重复测量。在施加时变信号的一个或多个集合时,从电极定期获取数据。

[0084] 所示 MPFM 系统 40 包括将 L 个电极 44_i 连接到电子电路的配线 42。如在图 3 和图 4 中更完全示出的那样,电极 44_i 沿导管 46 的表面 45 分布。在示例实施例中,表面 45 是绕对称 47 的中心轴形成的一般圆柱形。虽然未明确示出,但导管 46 放置在油井 12_i 之一与图 1 的管汇 16 之间的线路中,以便多相成分通过导管。电极 44_i 形成 p 个螺旋阵列 H_j 的集合, j 的范围从 1 到 p。更普遍的是,电极可形成为沿一个或多个螺旋路径的有序阵列。在具有在 p 个阵列中形成的 L 个电极的示出的实施例中,每个阵列包括沿螺旋路径形成的 r 个电极 44_i 的序列, i 的范围从 1 到 r。如公知的那样,在诸如圆柱表面或球形表面的三维表面周围形成的螺旋形状可属于能够分析描述的规则形式,或者可以是不规则的螺旋几何形状。本文中描述的实施例包括沿具有规则形状的螺旋路径放置的电极,在表面 45 周围的其路径能够通过简单的数学来描述。要理解的是,在其它实施例中,电极 44_i 可沿更复杂的路径分布,包括不规则形状的路径。

[0085] 图 3 提供了示出在导管 46 周围对称地卷绕的、 $p = 12$ 个螺旋阵列的 MPFM 18 的侧视图。图 4 示出图 3 中示出的 12 个螺旋阵列的 360 度视图。图 4 中示出的螺旋阵列的视图是从关于圆柱形导管 4 的三维轮廓到平面中的视图的转换,平面中的视图在本文中称为“展开”图。也就是说,图 4 的视图的生成好像三维形状表面沿平面切开并摊开,以提供二维或平面图,其中,横坐标表示围绕导管 46 的圆周,而纵坐标沿着轴线方向。

[0086] 在公开的实施例中,沿规则螺旋的路径形成每个阵列 H_j 。图 3 和图 4 通过实线示出每个螺旋路线,对于 $j = 1-12$,沿该路径形成每个螺旋阵列 H_j 。电极 44_i 示为沿每个螺旋路径的点。对于 $j = 1$,第一电极 44_i 放置在阵列 H_1 上、沿平面 P_1 的环 $r = 1$ 中,而最后一个电极 44_{144} 放置在阵列 H_{12} 上、沿平面 P_{12} 的环 $r = 12$ 中。放置阵列中电极时所沿的螺旋路径可根据用于三维空间中规则、非倾斜螺旋的等式 1A、1B 和 1C 的关系来生成:

$$[0087] \quad 1A \quad X(\theta) = [h/(2*\pi)] \theta$$

$$[0088] \quad 1B \quad Y(\theta) = R\cos(\theta)$$

$$[0089] \quad 1C \quad Z(\theta) = R\sin(\theta)$$

[0090] 其中, X 坐标沿着与轴线 47 平行的纵向,而 Y 坐标和 Z 坐标沿着与轴线 47 横向的方向且相互正交。 θ 是在与 X 轴横向的 Y-Z 平面中测量的方位角。参数 h 定义了 X 方向上每圈的近距 (advance)。R 是螺旋路径相对导管 46 对称轴的半径。也就是说,对于具有规则形状的实施例, R 对应于从轴线 47 到沿表面 45 的路径上点的径向距离。

[0091] 用于螺旋路径的三维空间曲线也可以是根据等式 2A、2B 和 2C 的关系生成的规则螺旋几何形状:

$$[0092] \quad 2A \quad X(\theta) = [h/(2*\pi)] \theta + A_n \sin(n\theta)$$

$$[0093] \quad 2B \quad Y(\theta) = R\cos(\theta)$$

$$[0094] \quad 2C \quad Z(\theta) = R\sin(\theta).$$

[0095] 在 $X(\theta)$ 等式中的项 $A_n \sin(n\theta)$ 是调制分量,它使每圈产生相对于 Y-Z 平面的正倾斜或负倾斜(与项 A_n 的幅度和符号成比例)。根据 n 的值,项 $A_n \sin(n\theta)$ 也引入调制,即,绕轴线的曲线(即,螺旋路径)的每 360 度一圈中的正弦变化。对于 $n = 1$,每圈产生一

个椭圆形。具有对应于 $n > 1$ 的正弦分量的更复杂模式可适于设计放置电极时所沿的螺旋路径。通过添加 $A_n \sin(n\theta)$ 项并且当 $n = 1$ 时,螺旋路径包括了相对于与 X 轴(即,导管 46 的对称轴)正交的平面的倾斜。

[0096] 尽管如此,更普遍的是还可根据等式 3 生成螺旋形状路径的三维空间曲线:

[0097] 3A
$$X(\theta) = [h/2 * \pi] \theta \pm \sum A_n f_1(n\theta)$$

[0098] 3B
$$Y(\theta) = R f_2(\theta)$$

[0099] 3C
$$Z(\theta) = R f_3(\theta)$$

[0100] 其中, f_1 、 f_2 和 f_3 是任意函数,其可以是三角式或数值表达式,但不受此限制。此外,放置电极时所沿的螺旋路径在图中示为每个绕轴线 47 单圈,但要理解的是,路径绕轴线进行的旋转数目是设计选择。

[0101] 电极阵列的示例实施例是高度对称的,但在不同阵列 H_j 之内及之间可具有电极 44_i 的许多非对称分布。对于示出的实施例,在每个螺旋阵列 H_j 中每 r 个电极的序列中的电极 44_i 与相同阵列 H_j 中的下一电极或前一电极 44_i 等距间隔。每个阵列中电极之间的此等距间隔与每个其它阵列中电极之间的等距间隔相同。另外,阵列 H_j 沿表面 45 按预确定的相位角间隔开。因此,在给定示例中,在 $p = 12$ 时,每个阵列绕轴线 47 与下一阵列或前一阵列旋转间隔开 30 度。通过在不同螺旋阵列中电极之间的等距间隔,这导致了圆形的电极集合,即,一系列的圆状环 R,每个包括 $p = 12$ 个电极,每个环 R 与下一环或前一环 R 等距间隔,并且每个环中的 12 个电极放置成:沿圆形模式的导管表面 45、绕轴线 47 隔开 30 度。例如,在沿轴线 47 可测量的导管高度为 h 时,每个环 R 之间的间隔能够设为 $h/12$ 。图 4 示出了 12 个环 r_i ($i = 1-12$) 的每个环,每个环沿不同平面 P_i 形成。

[0102] 在图 2 中,MPFM 18 的视图是沿穿过一个此类环 r_i 的平面 P_i 的横截面。示范环 r_i 包括来自十二个示范螺旋阵列 H_j 中的每个的一个电极 44_i 。为说明本发明的目的,螺旋阵列总共包括 12 个环的布置中的、在导管 46 的圆柱形表面 45 周围形成的 144 个电极 44_i 。然而,在要成像的体积周围放置的电极的总数 L 可少于或多于 144,这部分地取决于研究中的体积的大小和期望的图像分辨率。在一个实施例中,每个电极 44_i 可沿导管 46 的内壁安装,同时电气连接经配线 45 从外部信号源通过外壁与电极连接。可对每个电极施加涂层,以减少在电极与流过导管 46 的媒体之间的接触电阻。

[0103] 12 个电极 44_i 在图 2 中示为沿导管 46 的圆柱表面 45、且在穿过中心轴 47 的平面 P_i 中以圆形布置配置。在此示例中且一般地说在附图中,平面 P_i 与轴线 47 正交,但环 R 可以变化的角度穿过轴线 47。此外,螺旋阵列 H_i 可沿其它三维表面(例如,具有球形轮廓或椭圆形轮廓的表面)形成。环 R 不必须是圆形形状的。

[0104] 图 2 示出在环 R 中 12 个电极 44_i 与信号源的连接,并且这是所有电极 44_i 通过到电子电路 48 的配线 45 与信号源进行连接的示范,信号源例如对每个电极包括:电流源或电压源、数模转换器、模数转换器、差分放大器和一个或多个滤波器。电路 48 还包括模拟复用器、时钟电路和/或耦合到计算机 50 以便将输入信号集合提供到电极的数字 I/O 单元。用于电路 48 的特定布置在本领域中是已知的,并且在本文中不进一步描述,这是因为本发明的说明不要求特定电路设计的说明。

[0105] 计算机 50 可包括高速处理器(包括用于图像重建类型的常规数字信号处理器)和适合的显示器 52(用于查看根据本发明生成的图像)。诸如现场可编程门阵列(FPGA)和

复杂可编程逻辑装置 (CPLD) 的其它处理电路可并入到计算机 50 中或并入到系统 40 的其它部分中。

[0106] 在每个电信号集合施加到螺旋阵列 H_j 之一的电极 44_i 时, 在表面 45 封闭的体积之内产生的电场以螺旋, 即螺丝状方式转动。施加到螺旋阵列 H_j 的不同阵列的信号能够以协调方式改变, 例如, 通过定义的相位关系, 从而扩大由螺旋阵列 H_j 之一生成的时变模式。以下示范讨论假设将电压信号施加到电极, 并且响应该施加获取电流信号, 从而生成图像重建需要的数据。使用电压源将每个模式集合施加到电极 44_i , 并且测量每个电极中对应的电流信号集合。在其它实施例中, 替代地或附加于施加电压模式集合, 将一个或多个电流源模式集合施加到电极, 并且基于注入的电流跨电极地测量电压。在给定时间 t , 每个信号模式向每个螺旋阵列中不同的电极的施加在电极间是不同的。

[0107] 在一个实现中, 多个电信号模式集合带相位调制地施加到螺旋阵列 H_j 。也就是说, 将增大的相移指配到螺旋阵列 H_j 序列中的每个阵列。例如, 对于第 k 个模式集合, 在观察施加到具体环 R 中的电极序列的信号时, 在 $p = 12$ 个电极中提供逐渐增大的相移 Φ_i 。在第 r 个环中的第 i 个电极处, 如下给出施加的信号中的相移:

$$[0108] \quad (4) \Phi = (2\pi k(i-1)/L - 2\pi k(r-1)/R) \bmod 2\pi$$

[0109] 其中, $\bmod$ 是按模运算符。也就是说, Φ 是由 $(2\pi k(i-1)/L - 2\pi k(r-1)/R)$ 除以 2π 得到的余数。

[0110] 通过相位调制, 所有电极接收到具有相同最大幅度 A_0 的信号。例如, 可如下给出在任何一个环上、在第 i 个电极第 k 个模式的幅度 A :

$$[0111] \quad (5) A_{k,i} = A_0 \sin(\omega t + \Phi)$$

[0112] 或者

$$[0113] \quad (6) A_{k,i} = A_0 \sin(\omega t - \Phi)$$

[0114] 但在其它实施例中, 螺旋阵列中的电极能够通过幅度调制而改变。例如, 可如下给出在第 r 个环上、在第 i 个电极第 k 个模式的幅度 A :

$$[0115] \quad (7) A = A_0 \cos(2\pi k(i-1)/L - 2\pi k(r-1)/R)$$

[0116] 其中, A_0 同样是最大幅度。通过将等式 (5)、(6) 或 (7) 中的余弦函数替代为正弦函数, 能够生成类似的 L 个信号的集合。

[0117] 虽然实施例可基于施加到螺旋阵列 H_j 的不同阵列的信号是基于相位调制、幅度调制还是频率调制而不同, 但本公开实施例的一般特征是: 当每个电信号集合施加到电极 44_i 时, 在由表面 45 封闭的体积之内产生的时变电场类似于螺旋螺丝的转动。

[0118] 图 5 是形成部分图 2 的系统 40 的施加电压 EIT 系统 60 的简化示意图。系统 60 驱动 $p = 12$ 个螺旋阵列 H_j , 每个阵列包括 $r = 12$ 个电极 44_i 。电极的总数 $L = rp = 144$ 。在此示例中, 每个阵列中的 r 个电极每个连接到不同的电压源电路 62_i , 以接收相位调制、幅度调制或频率调制的电压信号, 用于在由表面 45 封闭的体积内生成场。电路 62_i 可包括测量响应于施加的电压而生成的电流信号的安培计和直接测量施加的电压的伏特计。交换网络 63 使得单个校准电路 64 能够连接到任何电压源 / 安培计 / 伏特计电路, 以允许将整个系统校准到单个参考源。数字控制器 (未示出) 与上述组件接口, 以操作交换功能 (包括测量数据的校准、信号生成和获取)。根据本发明, 测量数据由计算机 50 处理, 以确定放置电极时所沿的平面 P 中的电导率分布。

[0119] 电导率和电容率分布经进一步处理,以确定多相流的材料特性,包括在诸如油和水的液相中不同材料的分布或不同相的分布。电导率分布的分析可确定多材料系统的单个成分的流态、相分率及速度。例如,流态可包括泡状流、搅拌流(churn flow)、段塞流或环状流。

[0120] 在电压源实施例,在电极之间的电流是跨所有电极施加的相对电压、沿在其周围配置电极的平面 P 的传导率分布和电容率分布的函数。例如,材料可以只是油,或者它可以是油-水液体混合物及单独的气相。取决于材料构成的分布,在电极之间的传导率和电容率将变化,并因此在电极之间的电流电平也将变化。因此,通过施加一个或多个电压集合和对应的测量电流数据,能够计算沿平面 P 对应于变化的传导率的传导率值的矩阵。由于这些电导率值对应于通过平面 P 的材料的传导率和电容率,因此,通过分析传导率,能够确定材料组成或相流分布。

[0121] 每个电压模式集合都是时变函数,其有助于在导管 44 内的时变电场的产生,时变电场也就是类似于以某个角速度绕轴线 47 转动的螺旋的电场,该角速度是施加的信号频率 ω 或其整数倍的函数。对于恒定频率 ω ,场旋转的角速度将是恒定的。根据图 5 的系统 60,专用于每个电极的电路 62 全部在公共时钟信号下操作,每个电路生成的波形具有相对于为相同螺旋阵列 H_j 中相邻电极生成的波形的相位截然不同的相位。因此,多个相移波形同时施加到每个螺旋阵列 H_j 中均等间隔开的电极的不同电极,并且不同阵列中的电极相对于彼此具有相移。也就是说,对于绕轴线 47 间隔开 30 度的 $p = 12$ 个螺旋阵列 H_j ,施加到相同环 R 中的、是不同螺旋阵列的成员的电极的序列的信号,每个的相位具有最大幅度 A_0 ,该幅度相对于施加到沿环的下一电极或前一电极的信号具有相移。总之,时变输入信号生成绕轴线 47 旋转的缠绕的电场模式。

[0122] 在一个实施例中,在只要确定传导率分布时,施加到电极以获取有关相位分布的完整信息的电压模式集合的总数可小到 $k = L/2$ 。 $L/2$ 个模式可以是前向模式或反向模式,前向模式产生绕轴线 47 以顺时针方向缠绕的电场,反向模式产生绕轴线 47 以逆时针方向缠绕的电场。

[0123] 根据本发明的一实施例,数据获取过程顺序地将 k 个电压模式集合施加到电极 44_i 。在其它实施例中,施加的电信号集合可包括一个或多个电流值集合和一个或多个电压值集合。为获得更好的理解,假设第一电信号集合是电压值集合。

[0124] 对于每个施加的电压模式集合,例如根据图 5 的系统 60 来测量电信号模式集合。用于每个施加的电压模式集合的获取的数据元素的示范数量是电极数与每个周期对施加的信号进行测量的次数之积。系统 40 的电路 48 包括 A/D 转换器时,对于每个电压激励模式,为 L 个电极的每个电极记录电流数据的时间系列。处理此时间系列数据,以提取在所有 L 个电极处的电流的幅度和相位。在每个电极的时间系列数据提供了在该电极处的电流的一个幅度值和一个相位值。因此,对于 L 个电极,有 L 次测量。该过程为所有 k 个电压模式集合重复进行,以提供测量的时间系列数据的 kL 个元素。

[0125] 基于完全施加的电信号集合 (L, L) 、测量的电信号的结果的完全集合 (L, L) 、及完全施加的电信号集合的逆,确定表示导管中材料分布的阻抗矩阵或导纳矩阵。在一个实施例中,可利用伪逆确定施加的信号集合的逆。计算的矩阵表示在导管中的材料分布,并且大小为 $(L \times L)$ 。它是等于其自己的转置的、带有复数元(complex entry)的对称矩阵, - 也

就是说,对于所有索引 i 和 j ,在矩阵 a 的第 i 行和第 j 列中的元素等于在矩阵 a 的第 j 行和第 i 列中的元素:

$$[0126] \quad (8) a_{i,j} = a_{j,i}$$

[0127] 基于测量的时间系列数据的 kL 个元素,确定表示在导管 46 中材料分布的传导率矩阵。基于传导率矩阵和或导纳率矩阵执行图像重建。对指示材料分布的矩阵值的示范确定的进一步讨论见于美国申请序列号第 12/652116 号,其通过引用方式并入本文。

[0128] 施加的信号集合可由矩阵 P 表示,并且测量的信号集合可由矩阵 Q 表示。阻抗网络随后由矩阵 Z 表示,其中

$$[0129] \quad (8) Z = P * Q^{-1}.$$

[0130] 然而,矩阵 Q 是测量的信号集合,并且是不适定矩阵。因此,难以找到此矩阵的逆。因此,在此情况下,计算导纳矩阵更容易,这是因为导纳矩阵能够按如下给出的来计算:

$$[0131] \quad (9) Y = Q * P^{-1}.$$

[0132] 诸如电压集合的、施加的信号集合在此情况下比诸如电流集合的、测量的信号集合具有更佳的保真度。此外,由于施加的信号集合事先已熟知,因此,它能够存储在计算机中,并且其逆也存储在计算机中。因此,要确定导纳矩阵,用测量的信号集合直接乘以可得到的、施加的电压信号的逆。在一个实施例中,如果施加的信号集合是电流集合 M 且测量的信号集合是电压集合 S ,则材料分布也可通过阻抗矩阵 Z 来表示和计算。在此情况下,阻抗矩阵 Z 如下给出:

$$[0133] \quad (10) Z = S * M^{-1}.$$

[0134] 在两个等式 (9) 和 (10) 中,在一个实施例中,利用伪逆来计算矩阵 P 和 M 的逆。伪逆技术可例如包括:单侧逆、Drazin 逆、群逆、Bott-Duffin 逆、或 Moore-Penrose 伪逆。逆计算技术因而用于获得阻抗矩阵或导纳矩阵的直接计算,其代替了使用数值方法或迭代方法。等式 (9) 和 (10) 的导纳矩阵 Y 和阻抗矩阵 Z 随后可计算如下:

$$[0135] \quad (11) Y = Q * (P^H P)^{-1} * P^T$$

$$[0136] \quad (12) Z = S * (M^H M)^{-1} * M^T$$

[0137] 其中, P^H 和 M^H 是矩阵 P 和 M 的共轭转置。

[0138] 在一些处理系统中,多材料系统的成分的导纳值或阻抗值可随时间变化。然而,由于施加的信号集合是恒定的且测量信号集合是实时测量的,因此,也可计算时变导纳矩阵或阻抗矩阵。在一个实施例中,随机流态模型的多种预计算表格或矩阵存储在计算机中,并且在系统确定电网表示时,只是将它与存储的矩阵进行比较,并因此识别流态。在另一实施例中,通过启发式算法分析导纳矩阵或阻抗矩阵以确定相流或材料分布。例如,启发式算法可包括模糊逻辑算法或遗传算法或神经网络算法。模糊逻辑算法提供了基于含糊、不明确、不精确、有噪声或缺失的输入信息得出明确结论的简单方式。模糊逻辑算法的结果是近似的而不是精确的。此外,可训练神经网络,以基于流和预计算矩阵的历史识别流态和计算最类似的传导率布,从而确定多材料系统的特性。

[0139] 已描述了用于显示结构内部的图像的方法,图像可以是多相媒体的图像或人体的器官或其它部分的医疗图像,但更普通地说,是由不同电性质表征的体积之内特征的图像。在公开的实施例中,生成图像以表征流过导管的多相流体(例如,油、水和烃气),或者包含具有不同传导率(其影响通过体积的电信号的传输)的多个区域的体积。确定的图像信息

可用于估计流过导管的液体和气体材料的相对比例。

[0140] 本发明实施例的特征是提供以螺旋阵列放置的一系列电极,并在三维表面周围提供多个此类电极的螺旋阵列。可带有多种相移、幅度调制或频率调制将电信号集合施加到电极,以生成对表征结构内部有用的场。通过包括具有不同传导率的两个或更多个区域的结构,本发明通过采用电阻抗断层摄影,使用计算上更具效率的图像生成方案,确定以某种方式表示结构内部的图像。

[0141] 在本发明公开的实施例中,施加的电信号集合的系列每个包括电压输入模式,并且测量的电信号集合每个包括测量的电流电平。在其它实施例中,施加的电信号集合的系列每个包括电流输入模式,并且测量的电信号集合每个包括测量的电压电平。在又一些实施例中,在施加的电信号集合的系列中的一些集合包括电压输入模式,而施加的电信号集合的系列中的其它集合包括电流输入模式,并且一些测量的电信号集合包括测量的电流电平,而其它测量的电信号集合包括测量的电压电平。

[0142] 虽然本文只示出和描述了本发明的某些特性,但本领域技术人员将想到许多修改和变化。因此,要理解所附权利要求旨在涵盖落入本发明真正精神之内的所有此类修改和变化。

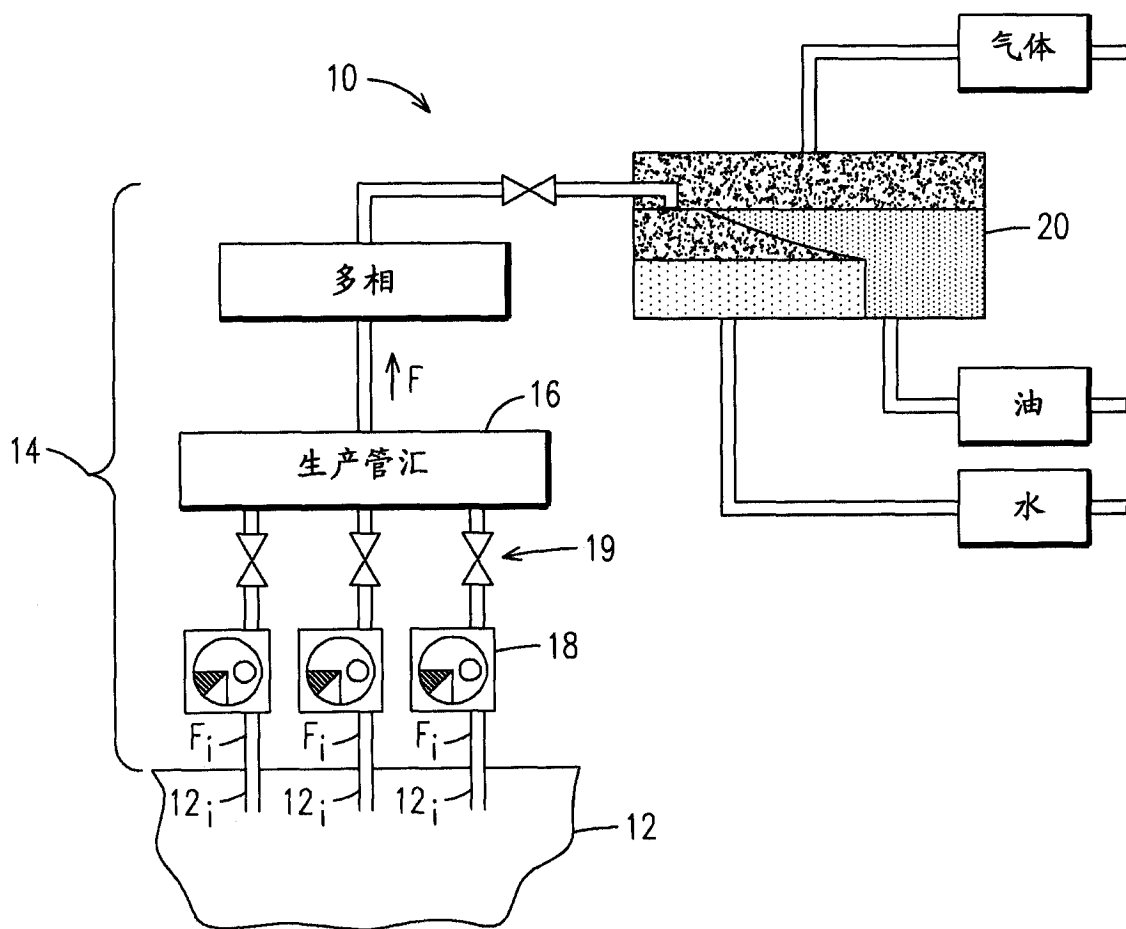


图 1

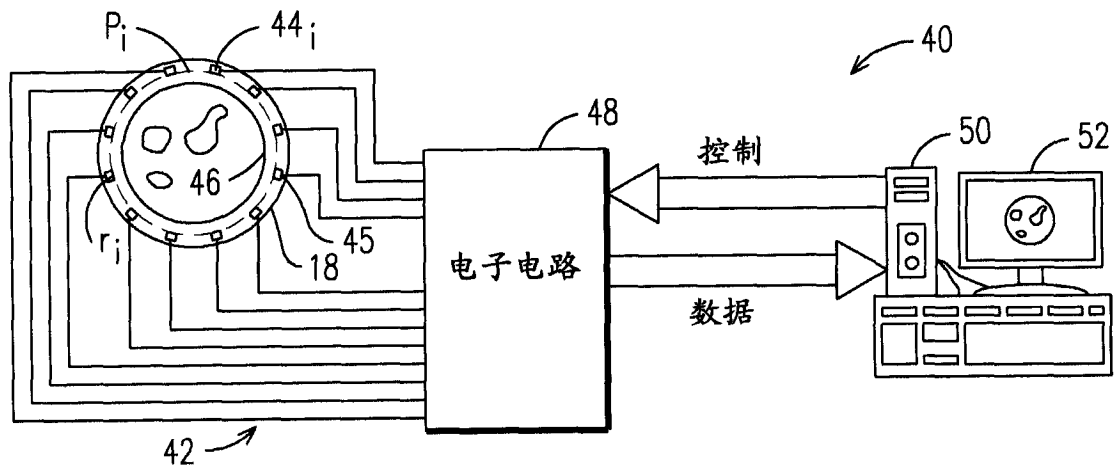


图 2

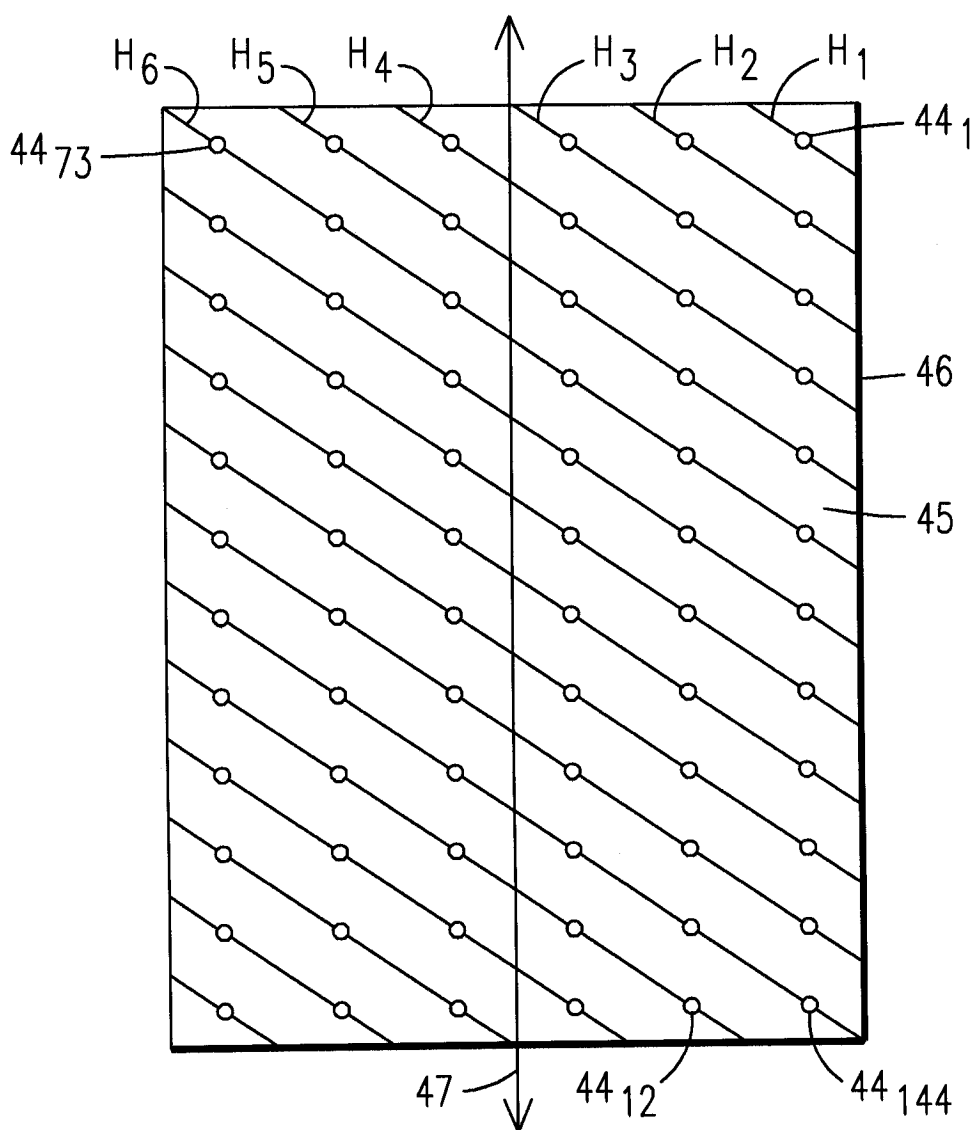


图 3

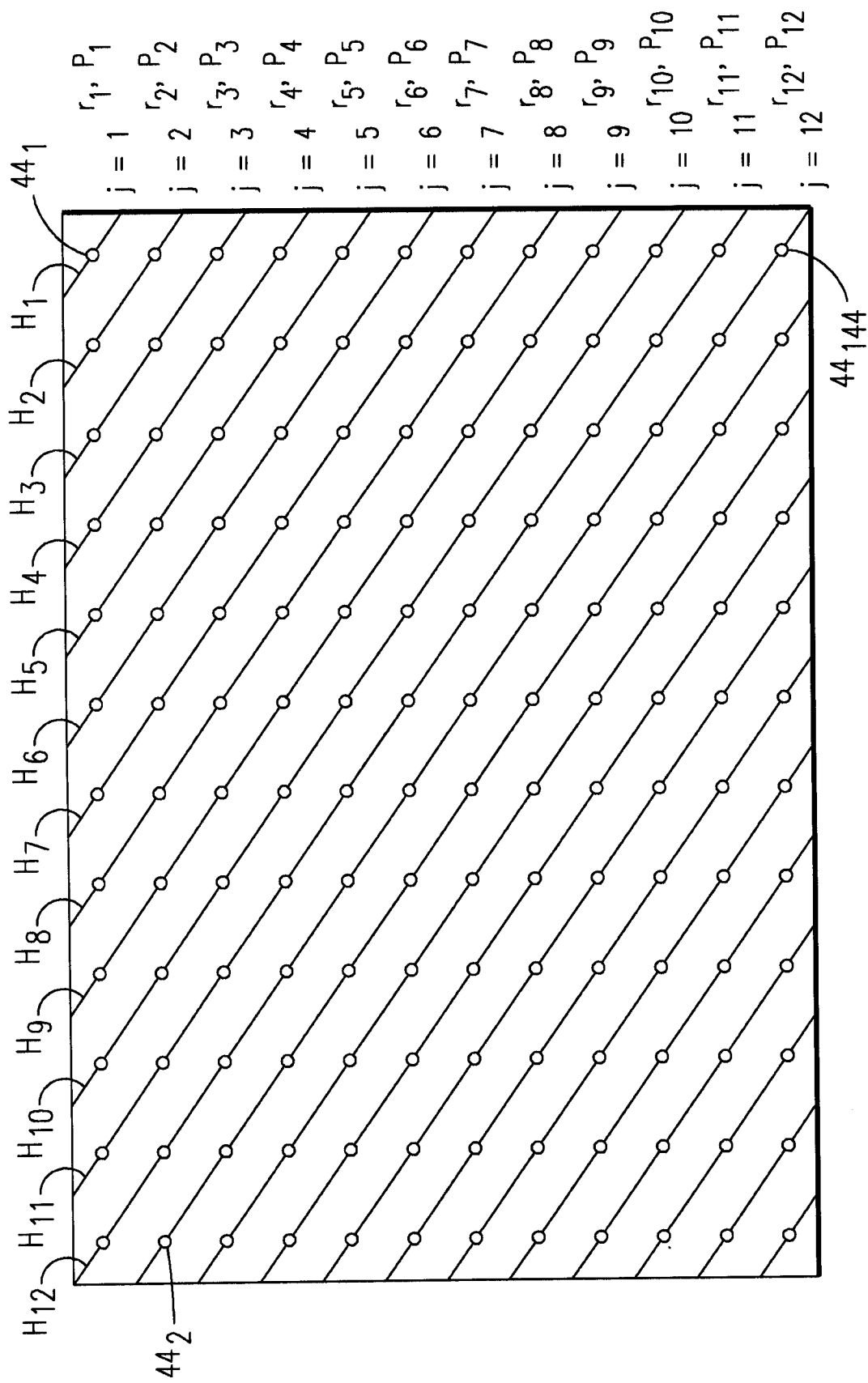


图 4

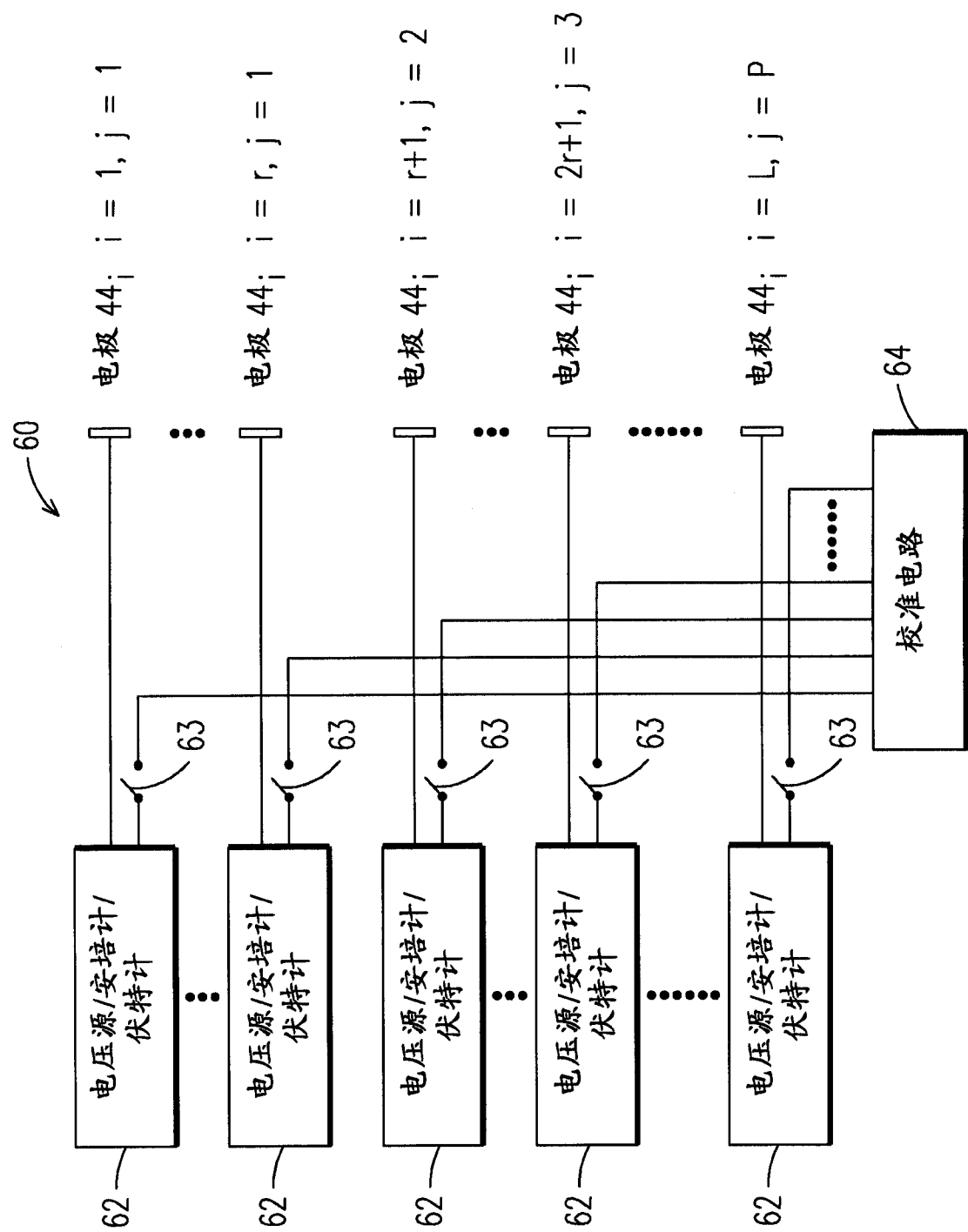


图 5