

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.
G01R 33/38 (2006.01)



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200410004145.5

[45] 授权公告日 2009年8月26日

[11] 授权公告号 CN 100533168C

[22] 申请日 2004.2.13

[21] 申请号 200410004145.5

[30] 优先权

[32] 2003.2.13 [33] DE [31] 10306017.0

[73] 专利权人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

[72] 发明人 沃尔克·韦森伯格

[56] 参考文献

US5451877A 1995.9.19

CN1188897A 1998.7.29

US4585995A 1986.4.29

US4978919A 1990.12.18

US6335620B1 2002.1.1

US6025715A 2000.2.15

JP3096983B2 2000.10.10

CN1171921A 1998.2.4

审查员 隋欣

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

代理人 马莹 邵亚丽

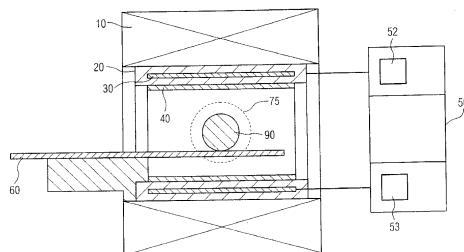
权利要求书2页 说明书8页 附图3页

[54] 发明名称

确定对涡流场进行补偿设置的方法

[57] 摘要

本发明涉及一种确定对涡流场进行补偿设置的方法，该涡流场是由于磁共振设备的一种在时间上变化的梯度场造成的，其中，在该方法中在使用梯度场的条件下至少产生两个由不同位置形成的磁共振数据组，并从这些磁共振数据组中计算出对一个滤波器的补偿设置，利用该滤波器可以将梯度场的受控量这样进行预先失真，使得由梯度场与至少一部分涡流场之和具有一个希望的时间上的变化，其特征在于，利用所述滤波器的一个预定的起始设置产生用于磁共振数据组的梯度场，所述起始设置至少近似地考虑了涡流场的分量。



1. 一种确定对涡流场进行补偿设置的方法，该涡流场是由于磁共振设备的一种在时间上变化的梯度场造成的，其中，

在该方法中在使用梯度场的条件下至少产生两个由不同位置形成的磁共振数据组，并

从这些磁共振数据组中计算出对一个滤波器的补偿设置，利用该滤波器可以将梯度场的受控量这样进行预先失真，使得由梯度场与至少一部分涡流场之和具有一个希望的时间上的变化，

其特征在于，利用所述滤波器的一个预定的起始设置产生用于磁共振数据组的梯度场，所述起始设置至少近似地考虑了涡流场的分量。

2. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述梯度场利用一个梯度线圈产生。

3. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述涡流场的分量在涡流场球函数级数展开的意义下包括含交叉项的一次项。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的方法，其中，所述涡流场的至少一个其它分量利用一个用于产生校正磁场的校正装置得到补偿。

5. 根据权利要求4所述的方法，其中，所述涡流场的至少一个其它分量是在涡流场球函数级数展开的意义下更高次的分量。

6. 根据权利要求4所述的方法，其中，利用滤波器的补偿设置确定校正装置的一个补偿设置。

7. 根据权利要求4所述的方法，其中，所述用于磁共振设备的校正装置利用一个可预定的起始设置运行，该起始设置至少近似补偿了涡流场的其它分量。

8. 根据权利要求4所述的方法，其中，所述校正装置包括至少一个校正线圈和/或一个填隙片线圈。

9. 根据权利要求7所述的方法，其中，所述校正装置包括至少一个校正线圈和/或一个填隙片线圈。

10. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述起始设置存放在磁共振设备的一个存储器或者一个计算程序中。

11. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述起始设置对于相同生产序

列的磁共振设备是相同的。

12. 根据权利要求1所述的方法，其中，为了产生磁共振数据组使用了一个空间上扩展的模型。

13. 根据权利要求1所述的方法，其中，所述两个磁共振数据组借助于层选择性的激励作为二维数据组产生。

确定对涡流场进行补偿设置的方法

技术领域

本发明涉及一种确定对涡流场进行补偿设置的方法。

背景技术

磁共振技术是一种用于获得检查对象身体内部图像的公知技术。其中，在磁共振设备中将由梯度线圈系统产生的、快速接通的梯度磁场叠加到一个由基本磁铁产生的、静态均匀的基本磁场上。此外，磁共振设备包括一个高频系统，该系统为了触发磁共振信号向检查对象中辐射高频信号，并接收所产生的磁共振信号，在该磁共振信号的基础上建立磁共振图像。

在此，梯度线圈系统的梯度线圈在确定的空间方向上产生一个梯度磁场，在所期望的理想情况下该梯度磁场至少在磁共振设备的一个成像空间中仅仅具有一个与基本磁铁磁场共线的磁场分量。这里，该磁场分量具有一个可以预定的梯度，该梯度在任意时刻至少在成像空间内部是独立于位置尽可能大小相同的。因为梯度磁场是一个在时间上变化的磁场，尽管上面的叙述适用于任何时刻，但是从一个时刻到另一个时刻梯度的强度是变化的。为了产生梯度磁场在梯度线圈系统中相应地设置电流。这里，所需电流的幅度在几百 A。电流上升和下降率在几百 kA/s。为了获得电流梯度线圈与梯度放大器连接。

梯度线圈系统一般由导电结构所围绕，在这些导电结构中通过接通的梯度磁场感应出涡流。这些导电结构的例子有超导的基本磁铁的真空容器和/或制冷板、高频屏蔽的铜薄膜以及梯度线圈系统本身。由涡流产生的涡流磁场是不希望的，因为在没有相对控制措施下其减弱了梯度磁场并在梯度磁场时间上的变化过程中产生失真。这导致了对磁共振图像的质量的影响。这点同样适用于包括梯度线圈所属的屏蔽线圈、且主动屏蔽的梯度线圈系统，其中，与未屏蔽的梯度线圈系统相比因此基本上实现了涡流在数量上的减少。

由于涡流磁场造成的梯度磁场的失真可以在一定程度上通过一个梯度

磁场控制的对应预先失真量来补偿。其中，为了补偿对该控制量这样进行滤波，使得在梯度线圈没有预先失真的运行中出现的涡流场通过该预先失真被抵消。在此，该涡流场可以按照球函数级数展开的形式进行描述，其中，为了描述涡流场分量在时间上的相关性，为该球函数级数展开的每个系数设置一个在时间上递减的、通过一个时间常数表征的指数函数。作为滤波器可以采用一个其参数通过时间常数和系数确定的、对应的滤波器。

EP 0228056A2 公开了作为高通滤波器实现的滤波器。其中，为了确定滤波器所要求的参数首先对涡流场进行测量。为此，描述了一种通过在一个探头中感应的磁共振信号测量磁场变化的方法。因为涡流场的测量要求成像空间的至少两个位置上进行，所以对于每个测量周期该探头必须在两个测量位置上来回转换。因为在磁共振设备中在许多情况下还要求，在成像空间一个尽可能大的区域中测量现有的涡流场，为此的通过探头的测量极其昂贵。因为为了对涡流场进行完整的测量必须扫描整个成像空间。如果还希望测量高次的涡流场分量，则尤其如此。由此不能进行自动化的测量。

在 US 6025715 中描述了一种方法，其中将涡流补偿设置在不同的滤波器参数组上，然后分别测量剩余场。通过对滤波器参数依赖于剩余场的经验性插值确定一种优化的补偿。该方法的缺点在于，对每个梯度场需要 53 个测量，因此该方法持续时间非常长。

DE 4313392A2 中公开了一种测量涡流场的方法，其中，如同在将磁共振设备中也用于其它测试和调整目的的一样，将一个空间上扩展的模型（Phantom）设置在检查空间内并按层选择的磁共振方法进行测量。在此，可以在没有专用装置（如测量探针）的条件下完全自动地进行和验证涡流补偿。该方法的处理是简单的，因为该模型对于测量不必运动。

在 DE 4313392A1 的方法的扩展中，在 DE 19859501C1 中描述了一种基于磁共振测量的方法，利用该方法可以额外地确定所谓的交叉项。在此，一个交叉项是涡流场的一个场分量，该涡流场由具有一个梯度的梯度场在第一方向上引起，其中，该场分量在与第一方向垂直的第二方向上起作用。该场分量例如是一个一次的场分量，这样该场分量可以通过对一个可以在第二方向上产生一个具有梯度的梯度场的梯度线圈在对应相反方向上的操纵得到补偿。在该方法中，将一个空间上扩展的模型设置在磁共振设

备的成像空间中，接通一个可预定脉冲宽度的测量梯度脉冲，而在测量梯度脉冲断开之后产生至少两个时间上相互分开的成像序列块，从该成像序列块的成像磁共振信号中产生至少两维的数据组，其中，一个在磁共振信号中包含的相位信息包含了涡流场的参数。利用一个对应的求值方法可以从中确定涡流场的幅度和时间常数。

此外，在磁共振设备中所谓填隙片线圈是公知的，例如根据不同的检查对象，利用该填隙片线圈可以使基本磁铁磁场均匀化。为此，使用对应的直流电运行该填隙片线圈。因为线性的基本磁铁磁场偏差（即，一次的干扰）可以通过对梯度线圈施加一个直流电流来进行补偿，因此填隙片线圈一般这样构成，使得可以分别用一个填隙片线圈精确地补偿一个高于第一级次的确定级次的干扰。此外，在已经提到的 DE 19859501C1 中还公开了，通过一个附加的脉冲式地为填隙片线圈提供电流，也可以补偿造成涡流的更高次干扰。

在此，可以参考图 1 对涡流和涡流补偿在数学上描述如下：额定梯度脉冲 $u(t)$ 作为输入信号（在最简单的情况下如图 1 所示的矩形脉冲）通过一个涡流补偿滤波器预先失真。该滤波器的传输函数是 $K(t)$ 。该梯度放大器产生一个与之成比例的电流。假设该放大器不对信号产生失真，则在数学描述中不必对其进一步考虑。梯度线圈产生一个梯度场 $g(t)$ 作为输出信号。涡流在周围的导电结构中产生相反的影响，使脉冲波形失真。涡流的影响可以通过一个传输函数 $W(t)$ 进行描述。在完善的涡流补偿中梯度场 $g(t)$ 具有与输入信号 $u(t)$ 相同的脉冲波形。在数学上梯度场 $g(t)$ 通过输入信号 $u(t)$ 与传输函数 $K(t)$ 和 $W(t)$ 的折积产生：

$$g(t) = u(t) \times K(t) \times W(t)。$$

在一个拉普拉斯变换后从折积操作得到一个简单的相乘：

$$\tilde{g}(s) = \tilde{u}(s) \tilde{K}(s) \tilde{W}(s)。$$

其中， s 表示拉普拉斯变换的变量，而拉普拉斯变换的量通过在相同的字母上加上“ \sim ”表示。对于完善的涡流补偿输出信号 $g(t)$ 应该与输入信号 $u(t)$ 对应。因此，涡流补偿滤波器的传输函数 $K(t)$ 通过下列等式给出：

$$\tilde{K}(s) = \frac{1}{\tilde{W}(s)}。$$

按照迄今公知的方法涡流补偿如下实现：首先断开涡流补偿，即

$\tilde{K}(s)=1$ 。施加一个阶梯形的输入信号 $u(t)$ ，其拉普拉斯变换是 $\tilde{u}(s)=1/s$ 。作为对该阶梯形的输入信号的反应形成一个可以描述为指数函数的和的梯度场 $g(t)$ 。由此可以分析地或者数字地计算拉普拉斯变换 $\tilde{g}(s)$ 。因此，给出涡流的传递函数：

$$\tilde{W}(s) = \frac{\tilde{g}(s)}{\tilde{u}(s)} = s\tilde{g}(s)。$$

并由此得到涡流补偿滤波器的传递函数：

$$K(S) = \frac{1}{\tilde{W}(S)} = \frac{1}{s\tilde{g}(s)}。$$

从该滤波器传输函数可以计算滤波器参数。

最后，DE 10156770A1 公开了一种具有梯度线圈系统的磁共振设备，其中，将一个导电结构这样地设置和构成，使得至少在磁共振设备的成像空间中由一个梯度场通过感应效应引起的该结构的磁场与梯度场相似。其中，在一个实施方式中至少该结构的一部分作为一个基本磁场磁铁的组成部分以桶套的形式构成。由此，首先可以以梯度线圈系统没有次级绕组的优点构成，因为基于通过该结构引起的相似性，接通的梯度场的不希望后果可以通过一种预先失真进行控制。

发明内容

本发明要解决的技术问题是，提供一种确定对涡流场进行补偿设置的改善方法。

按照本发明，上述技术问题的解决是通过一种确定对涡流场进行补偿设置的方法实现的，该涡流场是由于磁共振设备的一种在时间上变化的梯度场造成的，其中，在该方法中在使用梯度场的条件下至少产生两个由不同位置形成的磁共振数据组，并从这些磁共振数据组中计算出对一个滤波器的补偿设置，利用该滤波器可以将梯度场的受控量这样进行预先失真，使得由梯度场与至少一部分涡流场之和具有一个希望的时间上的变化，其特征在于，利用所述滤波器的一个预定的起始设置产生用于磁共振数据组的梯度场，所述起始设置至少近似地考虑了涡流场的分量。

这里，本发明出自于这样的认知，即该涡流场不是太大，例如作为对应于 DE 4313392A1 和 DE 19859501C1 的方法的前提。在此，这种方法的

精度基于测量涡流场所采用的精度。在微弱的涡流场的条件下相当精确，而反之在具有大幅度的涡流场的条件下出现误差。如果涡流场分量约大于引起涡流场的梯度场的 10%，则该方法将出问题或者不可能，因为一方面磁共振信号的幅度减小，而另一方面选择性的层激励有误差。

通过本发明的至少推理地 (a priori) 近似补偿了涡流场的起始设置的使用，本方法也可以在强涡流场的条件下使用。因此，该方法也可以在具有例如出于性能或费用的原因导致主动屏蔽很差或者根本没有的梯度线圈的磁共振设备中使用。在本文开始提到的 DE 10156770A1 中描述了一个具有非主动屏蔽的梯度线圈系统的磁共振设备的例子。

因为一个梯度线圈的涡流场大部分通过磁共振设备的构造确定，因此涡流场在一个确定生产系列的每个磁共振设备中处于相同的数量级，所以可以利用对于该确定生产系列相同的近似值对涡流场的绝大部分进行预先补偿。然后，可以通过前面提到的方法结合预先设置的涡流补偿精确地测量例如由于加工误差或者超导基本磁场磁铁的不同制冷板温度引起的剩余小偏差，随后从中计算一个校正的涡流补偿。

附图说明

本发明的其它优点、特征和细节借助于附图由下面对优选实施方式的描述给出。图中：

图 1 表示一个用于对涡流补偿进行数学描述的框图电路，

图 2 表示一个磁共振设备的纵向剖面图，并且

图 3 表示不同的梯度场-时间变化。

具体实施方式

图 2 表示一个磁共振设备的纵向剖面图。在此，为了至少在球形的成像空间 75 内部产生尽可能均匀的静态基本磁场，该磁共振设备包括一个基本上是空心圆柱形的超导的基本磁场磁铁 10。此外，为了产生可以快速通断的、在成像空间 75 内部尽可能线性的梯度磁场，该磁共振设备还包括一个同样基本上是空心圆柱形的、设置在基本磁场磁铁 10 空腔中的梯度线圈系统 20。这里，在该梯度线圈系统 20 中集成了一个填隙片线圈系统 30，例如用该填隙片线圈系统 20 及其它部件可以在成像空间 75 内部使基本磁

场均匀化。

为了获得电流，梯度线圈系统 20 的梯度线圈以及填隙片线圈系统 30 的填隙片线圈与一个控制单元 50 连接。其中，为了对梯度线圈电流进行预先失真，该控制单元 50 包括一个具有可调节滤波器参数的滤波器 52。此外，为了调节在时间上变化的填隙片线圈电流以便补偿涡流分量，控制单元 50 还包括一个同样可以调节的电流调节器 53。

此外，在梯度线圈系统 20 的空腔中设置了一个也基本上是空心圆柱形的天线 40，为了触发磁共振信号利用该天线可以向一个至少部分位于成像空间 75 中的检查对象辐射高频信号，并可以利用该天线接收所产生的磁共振信号。为了将例如是一个患者的检查对象置于检查空间中并将患者待成像的部位定位在成像空间 75 中，该磁共振设备具有一个可以移动的支架装置 60，利用该装置可以将位于其上的患者带入检查空间，并将待检查的部位定位在成像空间 75 中。

下面参考图 2 的磁共振设备详细说明确定补偿设置的方法。在磁共振设备在其使用场所装配完毕之后，要进行该磁共振设备的开动。该开动首先包括确定对滤波器 52 和电流调节器 53 的设置值，使得可以补偿在图像拍摄运行中主要通过通断梯度场引起的涡流场产生的不希望的影响。

在此，对于滤波器 52 和电流调节器 53 的设置根据磁共振设备的生产系列预先给出了一个起始设置，该起始设置从平均的角度为该生产系列提供了一种合理的对涡流场的补偿。该起始设置存放在磁共振设备的一个非易失的存储器或者磁共振设备一个计算程序中。由于在生产序列内部的加工误差和/或由于在基本磁场磁铁 10 的一个制冷板中的不同温度，该补偿还具有剩余误差，该剩余误差然后利用下列步骤得到克服。

为此，例如按照已经在本文开始提到的 DE 198 59 501C1，将一个空间上扩展的模型（例如球形水模型的）放置在成像空间 75 中央，并接通至少一个可以预定脉冲宽度的梯度脉冲。接着，利用为滤波器 52 和电流调节器 53 的起始设置执行至少两个时间上相互分开的、用于模型 90 的两个不同层的成像序列块，从该成像序列块的成像磁共振信号中产生一个至少两维的数据组。其中，通过一个包含在磁共振信号所包含的相位信息中的涡流场参数，将对滤波器 52 和电流调节器 53 的补偿设置精确地确定、存储并在随后的成像中代替起始设置使用。

从在说明书引导部分介绍的数学描述出发可以将前面描述的、基于起始设置的方法数学上描述如下：与在说明书引导部分介绍的数学描述不同，设置一个具有起始设置的补偿滤波器 $\tilde{K}_0(s)$ 。由此得到一个仅仅具有很少剩余误差的梯度场 $\tilde{g}_0(t)$ ：

$$\tilde{g}_0(s) = \tilde{u}(s)\tilde{K}_0(s)\tilde{W}(s)。$$

由此可以计算出校正的涡流补偿：

$$\tilde{K}(s) = \frac{1}{\tilde{W}(s)} = \frac{\tilde{u}(s)\tilde{K}_0(s)}{\tilde{g}_0(s)} = \frac{\tilde{K}_0(s)}{s\tilde{g}_0(s)}。$$

下面用一个关于涡流时间常数的例子说明该方法。假设涡流场可以通过一个具有时间常数的指数函数来描述，则时间变化和有关的拉普拉斯变换为：

$$W(t) = (1 - a_w)\delta(t) + \frac{a_w}{\tau_w} \exp\left(-\frac{t}{\tau_w}\right) \Rightarrow \tilde{W}(s) = 1 - a_w + \frac{a_w}{s\tau_w + 1}。$$

则近似补偿也只由一个时间常数组成：

$$K_0(t) = (1 + a_{k0})\delta(t) - \frac{a_{k0}}{\tau_{k0}} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{k0}}\right) \Rightarrow \tilde{K}_0(s) = 1 + a_{k0} - \frac{a_{k0}}{s\tau_{k0} + 1}。$$

在一个阶梯形的梯度脉冲下通过一个阶梯函数描述

$$u(t) = \sigma(t) \Rightarrow \tilde{u}(s) = \frac{1}{s}$$

在拉普拉斯空间中得到下列梯度场：

$$\tilde{g}_0(s) = \tilde{u}(s)\tilde{K}_0(s)\tilde{W}(s) = \frac{1}{s} \left[1 + a_{k0} - \frac{a_{k0}}{s\tau_{k0} + 1} \right] \left[1 - a_w + \frac{a_w}{s\tau_w + 1} \right]，$$

而在逆拉普拉斯变换之后得到下列时间变化：

$$g_0(t) = 1 - \frac{a_w(a_{k0}\tau_{k0} + \tau_{k0} - \tau_w)}{\tau_{k0} - \tau_w} \exp\left(-\frac{t}{\tau_{k0}}\right) + \frac{a_{k0}(a_w\tau_w + \tau_{k0} - \tau_w)}{\tau_{k0} - \tau_w} \exp\left(-\frac{t}{\tau_w}\right)。$$

在图3中示出了模拟的梯度场-时间变化。其中，点表示的曲线对应于理想的梯度阶梯函数。点划线表示的曲线给出了在40%涡流分量和时间常数为300ms的假设下没有对涡流补偿的起始设置，即，采用的滤波器系数等于零。对于和点划线表示的曲线同样的涡流性质，实线表示的曲线由具有起始参数为65%和200ms的、接通的涡流补偿形成，该涡流补偿补偿到直到几个百分数，其中66.6%和180ms是正确的。

此时，该部分补偿的实线表示的曲线作为 $g_0(t)$ 可以极其精确地得到测量，并经拉普拉斯变换得到下列公式：

$$\tilde{K}(s) = \frac{\tilde{K}_0(s)}{s\tilde{g}_0(s)} = \frac{1}{\left[1 - a_w + \frac{a_w}{s\tau_w + 1}\right]},$$

由此得到所期望的结果：

$$K(t) = \frac{1}{1 - a_w} \delta(t) - \frac{a_w}{(1 - a_w)\tau_w(1 - a_w)} \exp\left[-\frac{t}{\tau_w(1 - a_w)}\right].$$

涡流补偿校正的幅度和时间常数则为：

$$a_k = \frac{a_w}{1 - a_w} \quad \tau_k = \tau_w(1 - a_w).$$

上面的描述可以扩展到指数函数的和。

这里，按照本发明的方法不但适合于在开动时最初确定涡流补偿，而且也可以对现存的涡流补偿进行改善。如果超导基本磁场磁铁的制冷板的温度以及因此时间常数发生了变化，则这点可能是必须的。

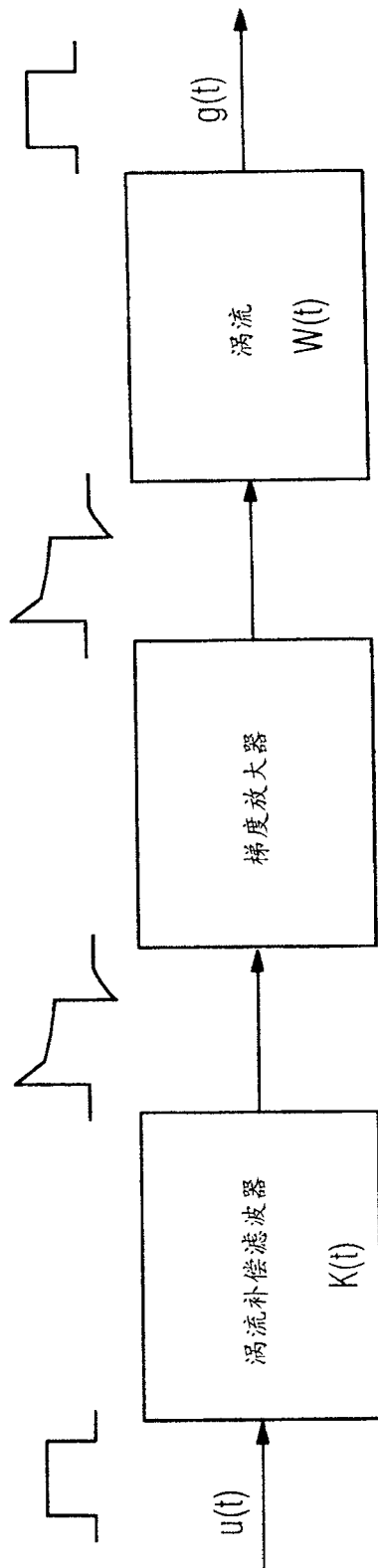


图 1

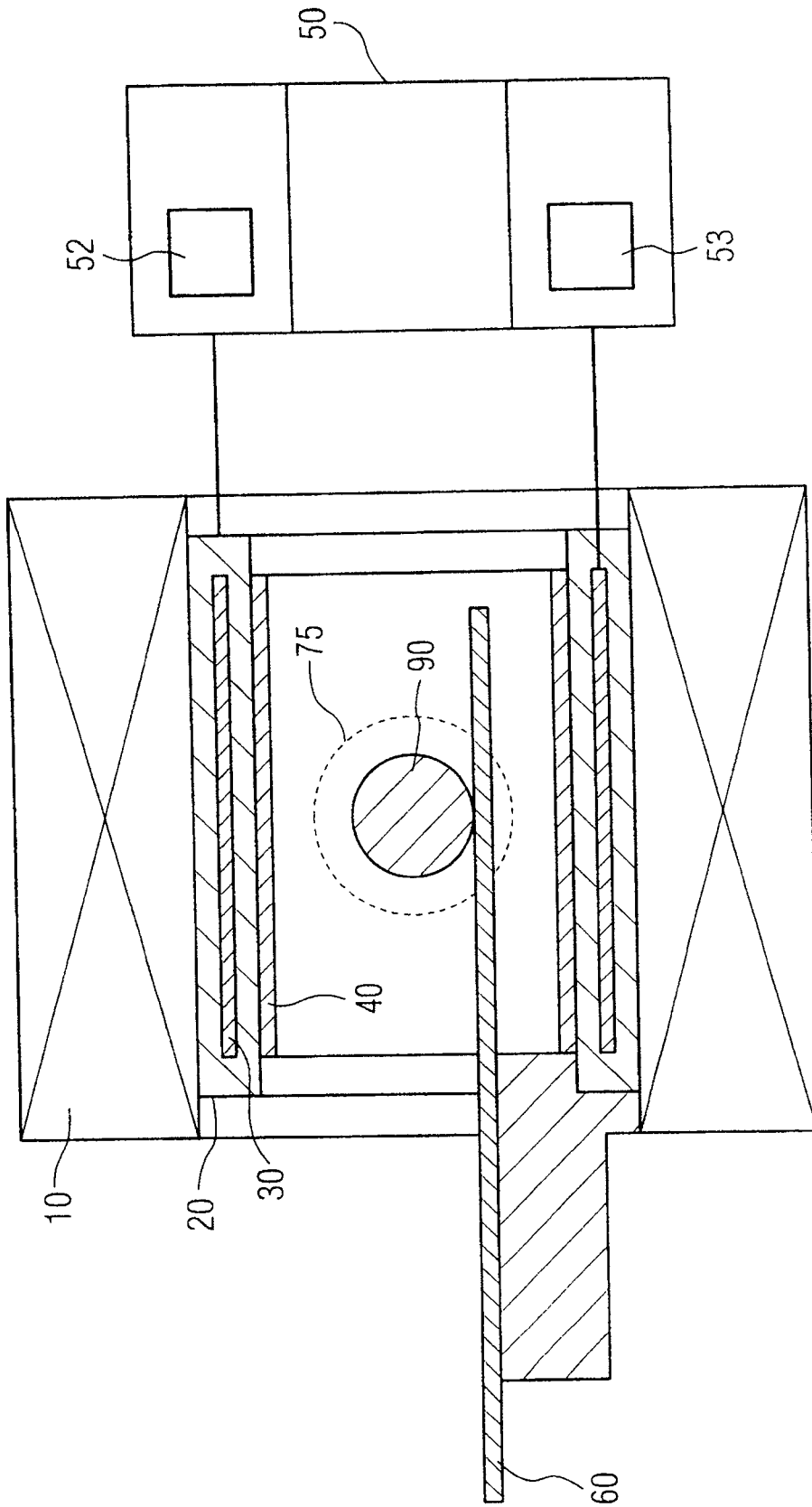


图 2

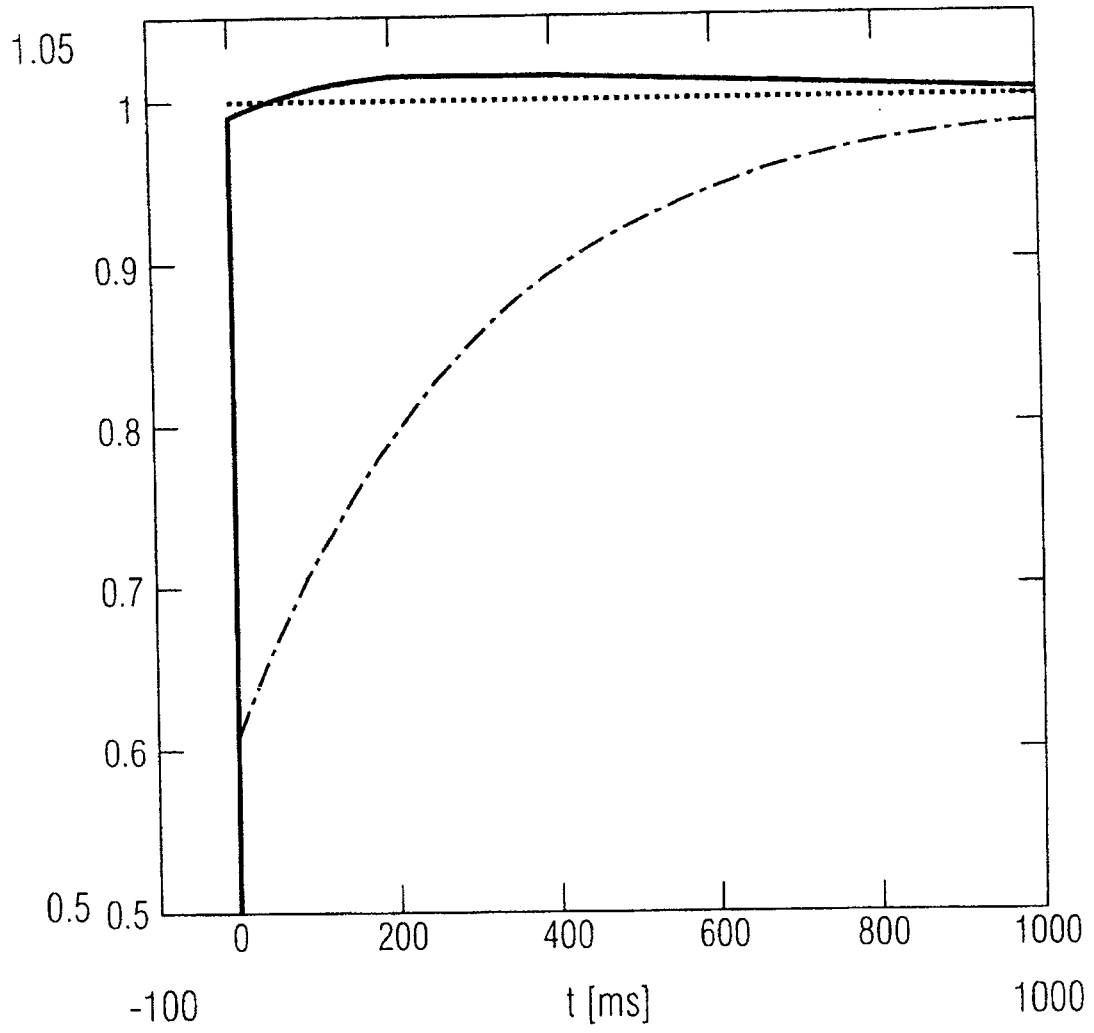


图 3