

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.



[12] 发明专利申请公布说明书

G01R 33/12 (2006.01)

G01R 33/022 (2006.01)

G01R 33/02 (2006.01)

[21] 申请号 200710025170.5

[43] 公开日 2007 年 12 月 19 日

[11] 公开号 CN 101089646A

[22] 申请日 2007.7.17

[21] 申请号 200710025170.5

[71] 申请人 南京农业大学

地址 210095 江苏省南京市玄武区卫岗 1 号

[72] 发明人 蹇兴亮 周克印

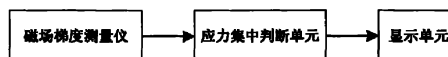
权利要求书 2 页 说明书 5 页 附图 3 页

[54] 发明名称

基于磁场梯度测量的金属磁记忆检测装置及方法

[57] 摘要

本发明公开了一种基于磁场梯度测量的金属磁记忆检测装置及方法，所述的装置由磁场梯度测量仪、应力集中判断单元和显示单元组成。所述磁场梯度测量仪能不移动测量探头就可测出探头所在位置的沿某一个或多个方向的磁场梯度值，可以是结构 A 或结构 B。结构 A 利用两个磁传感器测量的磁场强度差值除以两传感器中心之间的距离就得到磁场梯度；结构 B 采用振动法，磁传感器在一定范围内振动，对应的磁场变化量除以振动范围就得到磁场梯度。所述的方法是以构件表面漏磁场梯度为应力和应力集中的评判依据，磁场梯度大说明应力大，存在应力集中。本发明对应力集中或缺陷检测准确性高，且能定量研究应力和应力集中程度。



1、一种基于磁场梯度测量的金属磁记忆检测装置，由磁场梯度测量仪、应力集中判断单元和显示单元构成，其特征在于，所述的装置是通过磁场梯度测量仪测量出距铁磁性构件表面小于5mm处的磁场梯度值，然后由应力集中判断单元根据磁场梯度大小判断构件内部或表面应力集中状况；所述磁场梯度测量仪是指无需移动测量探头就能测出探头所在位置的沿某一个或多个方向的磁场梯度值的磁场梯度测量仪，该测量仪包括测量磁场梯度的探头、放大电路；所述的探头是下述两种类型的结构之一，每种结构的探头都包含一个非铁磁性材料制成的外壳，结构A为采用分立元件构成的磁传感器阵列，至少包含2个磁传感器，某方向上分布的两个传感器之间的距离固定，该两个传感器输出信号送差动放大电路两个输入端，经差动放大，输出信号大小正比于两传感器测量的磁场强度的差值，即近似正比于这两个传感器连线几何中心位置的沿连线方向的磁场梯度；结构B采用振动法测量磁场梯度，探头包括外壳、磁传感器和使其振动的振动板，振动板为悬臂梁结构压电双晶片，磁传感器安装在其自由端，磁传感器检测面法线与被测构件表面法线在同一直线上并垂直于传感器振动方向，传感器以固定频率和固定振幅振动，将空间静态分布的磁场调制成交流信号，该信号振幅正比于探头所在位置的沿传感器振动方向的磁场梯度；由结构B探头组成的磁场梯度测量仪，包含一个低频振荡电路，用于产生低频正弦波信号，驱动压电双晶片振动，传感器输出端接有源带通放大电路，带通放大电路的中心频率等于传感器振动频率，带通放大电路输出端连接正弦波峰值检测电路，所检测信号的峰值代表磁场梯度值；所述的应力集中判断单元是根据被检测构件的具体形状和材质预设若干种判断阈值，当被测构件表面的磁场梯度大于对应阈值时，表明构件在此位置有应力集中或缺陷，实现金属磁记忆无损检测目的；所述的显示单元用于接收并显示所测量的磁场梯度大小，或者显示所检测构件的应力集中程度或应力大小。

2、根据权利要求1所述的检测装置，其特征是，由结构A探头组成的检测装置，既可为单通道只检测一个方向的磁场梯度，也可为双通道同时检测两个方向的磁场梯度；其探头各传感器根据需要进行布局，如果只测量一个方向上的磁场梯度，则只需要将两个传感器并排放置，可测量沿这两个传感器连线方向的磁场梯度，传感器中心之间的距离近，为3~5mm；如果要求同时测量两个相互垂直方向x和y方向上的磁场梯度，则需要4个传感器对称分布，探头中心为坐标原点和对称中心，4个传感器在同一个平面内，x轴上的两个传感器即传感器(11)和传感器(12)可测量x轴方向上的磁场梯度，y轴上的两个传感器即传感器(13)和传感器(14)可测量y轴方向上的磁场梯度，这时需采用双通道差动放大电路，差动放大电路输出信号大小表示磁场梯度值，每通道的两个传感器中心之间的距离为6~10mm，各传感器性能相同。

3、根据权利要求1所述的检测装置，其特征是，由结构B探头组成的检测装置，其带通放大电路的频带宽度小于2Hz，中心频率等于低频振荡电路的中心频率，为30~48Hz；其峰值检测电路采用乘法器同步检波电路实现，乘法器两输入信号分别来自带通放大电路和低频振荡电路。

4、根据权利要求1所述的检测装置，其特征是，所述的检测装置还包括报警音提示单元，当所测量的磁场梯度大于预设的阈值时，产生报警音，提示构件存在缺陷或应力集中。

5、根据权利要求1所述的检测装置，其特征是，所述的磁传感器为集成线性霍尔元件，且霍尔元件距探头外壳检测端面的距离小于5mm，保证所测量的磁场梯度为距构件表面小于5mm位置的值。

6、根据权利要求1所述的检测装置，其特征是，所述的阈值应根据构件材料、形状等通过实验确定，对于表面积大于0.01m²的常见碳素钢构件，如A3或Q235，离构件表面3mm位置的磁场梯度

阈值为 10~20mT/m。

7、根据权利要求 1 所述的检测装置，其特征是，所述的显示单元显示方式，既可为 LCD 或 LED 数码显示，也可为机械指针式电压表表头指示。

8、根据权利要求 1 所述的检测装置，其特征是，结构 A 探头改进为集成结构，即将传感器阵列集成在一个芯片中，差动放大电路也集成在同一个芯片内，传感器之间的距离比分离元件时小，测量磁场梯度的位置精度更高，该结构检测原理同结构 A。

基于磁场梯度测量的金属磁记忆检测装置及方法

技术领域

本发明涉及一种通过测量磁场梯度值检测铁磁性构件内部或表面应力集中状况的金属磁记忆检测装置，属于无损检测技术中的金属磁记忆检测领域。

技术背景

金属磁记忆无损检测原理是由俄罗斯科学家于1997年在美国旧金山第50届国际焊接学术会议上提出的，即铁磁性构件在承载情况下，其应力和变形集中区域受地磁场激励发生的具有磁致伸缩性质的磁畴组织定向和不可逆的重新取向，从而在该区域产生自有漏磁场，该漏磁场在构件表面分布特征是：切向分量具有最大值，法向分量改变符号且具有零值。基于此原理研制的金属磁记忆检测仪，大多数是通过测量构件表面法向磁感应强度分布 B_n (或者磁场强度 $H_p(y)$ 分布)，寻找零值且符号变化点，该位置为应力集中区或缺陷位置。有部分检测仪，增加了测量切向磁场强度 $H_p(x)$ 分布。

当探头固定在带测距的小车上时，通过小车移动，能得到构件表面磁场法向分量 B_n 沿小车移动方向的分布曲线。若小车沿 x 轴方向移动，通过对 x 求导数运算，可得到法向磁场分量沿 x 方向的磁场梯度分布曲线，磁场梯度也称为磁场强度变化率。多数磁记忆检测仪都具有这种得到磁场强度变化率曲线的功能，但该磁场强度变化率分布曲线只能用于对应力集中区做辅助判断。

由于已有的磁记忆检测仪都是由测量得到的磁场分布计算得出磁场强度变化率分布，而这种计算是微分运算，必然引入微分噪声，所以由这些磁记忆检测仪得到的磁场强度变化率分布曲线都包含大量的噪声信号，不能反映构件表面真实的磁场梯度分布，当然也不能由此磁场强度变化率分布对应力集中或缺陷进行正确评判。

采用法向磁场过零值点方法判断应力集中或缺陷时，容易受到背景磁场的干扰，很难确定法向磁场分量经过零值点的位置。因为背景磁场不是单纯的地磁场，应力集中产生的自有漏磁场不能由所测量的磁场减去地磁场得到。所以，基于法向磁场分量过零值点的磁记忆检测方法，存在背景磁场干扰易造成误判的缺点。

基于磁场强度或磁感应强度参量为评判依据或测量对象的磁记忆检测仪，不仅存在上述易误判的缺点，而且仅靠法向磁场分量过零值点，不能对应力和应力集中程度进行定量评判。

发明内容

本发明的目的是：克服现有金属磁记忆检测仪因采用磁场强度为评判依据而不能对应力和应力集中进行定量分析的不足之处，提供一种以磁场梯度为评判依据的磁记忆检测装置，对缺陷或应力集中的检测更加准确可靠，并能对构件应力或应力集中程度进行定量评判。该检测装置无需测量磁场强度的准确数值，也不产生微分噪声。本发明可在一定程度上用于对铁磁性构件应力大小进行间接测量。

假设沿构件表面 x 方向的空间变化量为 dx ，对应法向磁感应强度分量 B_n 的变化量为 dB_n ，则本发明所述的 x 方向的磁场梯度是指 $G_x = dB_n / dx$ ，即磁感应强度对位移 x 的变化率，常用的单位为 mT/m (毫特斯拉/米)。同理， y 方向的磁场梯度是 $G_y = dB_n / dy$ 。

本发明是通过以下技术方案实现的：通过磁场梯度测量仪测量出距铁磁性构件表面小于 $5mm$ 处的磁场梯度值，然后由应力集中判断单元根据磁场梯度大小判断构件内部或表面应力集中状况。所述磁场梯度测量仪是指无需移动测量探头就能测出探头所在位置的沿某一个或多个方向的磁场梯度值的磁场梯度测量仪，该测量仪包括测量磁场梯度的探头、放大电路。所述的探头是下述两种类型的结

构之一，每种结构的探头都包含一个非铁磁性材料制成的外壳。结构 A 为采用分立元件构成的磁传感器阵列，至少包含 2 个磁传感器，某方向上分布的两个传感器之间的距离固定，该两个传感器输出信号送差动放大电路两个输入端，经差动放大，输出信号大小正比于两传感器测量的磁场强度的差值，即近似正比于这两个传感器连线几何中心位置的沿连线方向的磁场梯度。结构 B 采用振动法测量磁场梯度，探头包括外壳、磁传感器和使其振动的振动板，振动板为悬臂梁结构压电双晶片，磁传感器安装在其自由端，磁传感器检测面法线与被测构件表面法线在同一直线上并垂直于传感器振动方向，传感器以固定频率和固定振幅振动，将空间静态分布的磁场调制成交变频率的交流信号，该信号振幅正比于探头所在位置的沿传感器振动方向的磁场梯度。由结构 B 探头组成的磁场梯度测量仪，包含一个低频振荡电路，用于产生低频正弦波信号，驱动压电双晶片振动，传感器输出端接有源带通放大电路，带通放大电路的中心频率等于传感器振动频率，带通放大电路输出端连接正弦波峰值检测电路，所检测信号的峰值代表磁场梯度值；所述的应力集中判断单元是根据被检测构件的具体形状和材质预设若干种判断阈值，当被测构件表面的磁场梯度大于对应阈值时，表明构件在此位置有应力集中或缺陷，实现金属磁记忆无损检测目的。上述装置中的显示单元用于接收并显示所测量的磁场梯度大小，或者显示所检测构件的应力集中程度或应力大小。

上述装置中，由结构 A 探头组成的检测装置，既可为单通道只检测一个方向的磁场梯度，也可为双通道同时检测两个方向的磁场梯度；其探头各传感器根据需要进行布局，如果只测量一个方向上的磁场梯度，则只需要将两个传感器并排放置，可测量沿这两个传感器连线方向的磁场梯度，传感器中心之间的距离近，为 4mm 左右；如果要求同时测量两个相互垂直方向 x 和 y 方向上的磁场梯度，则需要 4 个传感器对称分布，探头中心为坐标原点和对称中心，4 个传感器在同一个平面内，x 轴上的两个传感器即传感器(11)和传感器(12)可测量 x 轴方向上的磁场梯度，y 轴上的两个传感器即传感器(13)和传感器(14)可测量 y 轴方向上的磁场梯度，这时需采用双通道差动放大电路，差动放大电路输出信号大小表示磁场梯度值，每通道的两个传感器中心之间的距离为 6~10mm，各传感器性能相同。

由结构 B 探头组成的检测装置，其带通放大电路的频带宽度小于 2Hz，中心频率等于低频振荡电路的中心频率，为 30~48Hz；其峰值检测电路采用乘法器同步检波电路实现，乘法器两输入信号分别来自带通放大电路和低频振荡电路。

上述装置中，还包括报警音提示单元，当所测量的磁场梯度大于预设的阈值时，产生报警音，提示构件存在缺陷或应力集中。装置中的磁传感器为集成线性霍尔元件，且霍尔元件距探头外壳检测端面的距离小于 5mm，保证所测量的磁场梯度为距构件表面小于 5mm 位置的值。所述的阈值可根据构件材料、形状等通过实验确定，对于表面积大于 0.01m^2 的常见碳素钢构件，如 A3 或 Q235，离构件表面 3mm 位置的磁场梯度阈值为 10~20mT/m。上述装置的显示单元显示方式，既可为 LCD 或 LED 数码显示，也可为机械指针式电压表表头指示。结构 A 探头可改进为集成结构，即将传感器阵列集成在一个芯片中，差动放大电路也集成在同一个芯片内，传感器之间的距离比分离元件时小，测量磁场梯度的位置精度更高，该结构检测原理同结构 A。

本发明人研究发现，构件自有漏磁场在应力集中区的分布，不仅具有构件表面法向磁场分量符号变化且过零值点，切向磁场分量取最大值的特点，而且具有法向磁场分量沿表面某方向的梯度取最大值的特征。显然，测量磁场梯度分布比测量磁场强度分布更具优越性。因为测量磁场梯度只需要测量磁场的空间变化量，不需要磁场强度的准确值，在构件表面小范围内背景磁场的空间变化量很小，背景磁场的干扰就很小。对应力集中情况的判断就更准确。

构件表面外漏磁场的强度是随着距表面的距离增加而减小的，磁场梯度也是随距离增加而减小。

为了提高对应力集中区检测的可靠性,探头应当尽量靠近构件表面,以便测量近距离位置的磁场梯度分布。但由于传感器本身具有一定厚度,探头外壳也有厚度,为保证检测可靠性,要求霍尔元件距探头外壳端面的距离小于5mm是恰当的,实际上,该距离越小越好。

图1是本发明装置的系统组成框图。实际制作时,应力集中判断单元一般采用比较器电路实现,根据被检测构件的材料、结构、形状和使用环境等因素,通过实验设定判断阈值,磁场梯度大于该阈值的位置存在应力集中区或缺陷。显示单元一般采用指针式电压表指示,也可将反映磁场梯度的电压信号经A/D转换成数字量,由LED或LCD数码显示。

本发明人对标距为100mm,直径为10mm的低碳钢A3制成的棒状标准试件进行了大量拉伸实验,发现在屈服以前,构件表面漏磁场梯度分布与构件最近曾受到过的最大应力之间近似具有简单的正比例关系。实验中,对试件拉伸加载到某载荷,然后卸载,将试件从拉伸机上取下并将拉伸时的上下方向变化为沿东西方向水平放置,测量试件表面法向磁场分量沿轴线由东向西方向的磁场梯度分布,计算出在标距范围内各测量点磁场梯度的平均值,该磁场梯度的平均值与试件被加载时所受载荷大小具有正比例关系。对磁场梯度的测量是有时效性的,本发明人对试件表面漏磁场梯度的测量,是在卸载后5~10分钟之间进行的,这时载荷与磁场梯度的比例系数近似为 $1.2\text{kN}/(\text{mT}/\text{m})$,传感器敏感元中心距离试件表面的距离为3mm。卸载后经过48小时放置,再次测量该低碳钢试件表面的磁场梯度,结果降低为卸载后5~10分钟之间测量值的一半。卸载后放置60天,再次测量其磁场梯度,结果已不足最初测量值的1/5,说明构件因应力而产生的漏磁场强度及磁场梯度会随时间缓慢减弱。实验表明,本发明的基于磁场梯度测量的磁记忆检测装置不仅能够对铁磁性构件的应力集中状况进行评价,而且能对承载又卸载的构件曾受到的应力进行间接测量。即通过对构件表面的磁场梯度的测量,推算出在此之前一定时间内,构件曾受到过的最大载荷。

本发明人发现构件表面漏磁场梯度的大小与构件内部或表面的应力大小有密切关系,如果构件出现应力集中,其周围的磁场梯度将显著增加,

本发明与现有磁记忆检测仪相比有如下有益效果:结构简单、成本低廉;测量的磁场梯度分布曲线没有微分噪声,直接通过磁场梯度的大小评判缺陷和应力集中状况,可靠性高;能对构件的应力和应力集中程度进行定量评价。

附图说明

图1是本发明系统组成框图

图2是根据本发明的实施例一结构A探头的4个传感器布局

图3是根据本发明的实施例一由结构A探头组成的系统结构示意图

图4是根据本发明的实施例二由结构B探头组成的系统结构示意图

图5是根据本发明的实施例二由结构B探头组成的系统中结构B探头示意图

图6是根据本发明的实施例一由结构A探头组成的系统电路图

图7是根据本发明的实施例二由结构B探头组成的系统电路图

具体实施方式

下面结合附图和具体实施方式对本发明作详细描述,共给出2个实施例。本发明是通过直接测量铁磁性构件表面的磁场梯度分布判断构件内部或表面应力集中或缺陷状况的。这种磁场梯度分布不应根据测量得到的磁场分布曲线通过求导计算得到,因为这样会产生微分噪声。磁场梯度的测量可采用下面实施例类似方法进行。

实施例一：由结构 A 探头组成的基于磁场梯度测量的金属磁记忆检测装置

本实施例采用结构 A 探头组成检测系统，能同时测量沿构件表面相互垂直的两个方向的磁场梯度，任意一个方向的磁场梯度超过设定的阈值都会报警。探头采用 4 个对称分布的传感器组成，传感器为集成霍尔元件，布局见图 2，将它们封装在一个透明塑料外壳内。其中传感器 11 和传感器 12 中心之间的距离为 Δx ，两传感器所在位置沿法线方向的磁感应强度分量为 $Bn1$ 和 $Bn2$ ，则两传感器对称中心，即坐标原点位置的沿 x 方向的磁场梯度为 $Gx = (Bn2 - Bn1) / \Delta x$ ；传感器 13 和传感器 14 中心之间的距离为 Δy ，它们所在位置沿法线方向的磁感应强度分量为 $Bn3$ 和 $Bn4$ ，则坐标原点位置的沿 y 方向的磁场梯度为 $Gy = (Bn4 - Bn3) / \Delta y$ 。

图 3 是本实施例系统结构示意图。图 6 是本实施例的具体电路图。从图中看出，两个通道结构完全相同，以 x 通道为例说明工作过程。传感器 11 和 12 通过线缆接入电路插座 JP601，传感器为三端集成霍尔元件， $\pm 2.5V$ 电源经电容 C601 滤波后，由插座 JP601 对传感器供电。传感器输出信号分别经电阻 R601 和 R602 送运放 U601A 和 U601B 的同相输入端。运放 U601A、U601B、U601C、电阻 R603、R604、R605、R606、R607、R608、R609、R610、R611、R612、R613、R614、可调电阻 W603、W604、电位器 W601、W602 等组成差动放大电路，其输出信号大小正比于两传感器测量的磁场强度差值，即正比于磁场梯度 Gx 。其中 W601 和 W602 为一个同轴双联电位器，转动时一个滑动头电位增加，另一个滑动头电位降低，用于补偿传感器 11 和 12 因性能差异造成的零磁场时输出电位不同；W603 用于补偿两传感器灵敏度的差异。电压表表头 V601 的量程为 $\pm 2.5V$ ，用于指示磁场梯度值。W604 用于设置报警阈值。运放 U601D、电阻 R615、R616、R617、R618 和全桥二极管 D601 组成阈值比较器电路，当磁场梯度的绝对值大于设定值时，运放 U601D 输出低电位，有源蜂鸣器 LS601 工作报警，表示 x 方向磁场梯度超过阈值。

由插座 JP602、电容 C602、运放 U602A、U602B、U602C、U602D、电阻 R621、R622、R623、R624、R625、R626、R627、R628、R629、R630、R631、R632、R633、R634、R635、R636、R637、R638、可调电阻 W623、W624、双联同轴电位器 W621、W622、全桥二极管 D621、二极管 D622、电压表表头 V602、有源蜂鸣器 LS602 等组成检测装置的 y 通道电路。

本实施例装置是单量程双通道的，本技术领域内的熟练技术人员应当理解这只是举例说明，可以对本实施方式做出变更或修改，而不背离本发明的原理和实质。例如，能很容易地将本电路改制成多量程单通道的，或者做些其他修改。

实施例二：由结构 B 探头组成的基于磁场梯度测量的金属磁记忆检测装置

本实施例采用结构 B 探头组成检测系统，采用振动法测量磁场梯度。图 4 是本实施例检测系统的组成示意图，图 5 是本实施例的一种探头结构示意图，图 7 是实施例具体电路图。探头包括：集成线性霍尔元件引出线 1，压电双晶片引线 2，固定端夹持块 3，外壳 4，压电双晶片 5，集成线性霍尔元件固定电路板 6，霍尔元件引脚 7，霍尔元件检测面 8。

图 4 和图 5 中，低频振荡电路产生 40Hz 的正弦波电压信号，一路送升压驱动电路放大，由压电双晶片引线 2 接入给探头，使压电双晶片 5 振动，带动传感器振动；另一路正弦波信号作为参考信号送乘法器一个输入端，参与同步检波。霍尔元件检测面 8 平行于被检测构件表面，若传感器沿 x 方向振动，振动范围(2 倍振幅)为 Δx ，在此振动范围磁感应强度法向分量的变化量为 ΔBn ，则沿 x 方向的磁场梯度为 $Gx = \Delta Bn / \Delta x$ 。传感器输出信号为微弱正弦波信号，正弦波信号峰值正比于磁场梯度，该正弦波信号频率等于传感器振动频率，也等于 40Hz。微弱信号送带通放大电路放大，该电路中心频率为 40Hz，带宽为 1.5Hz，中心频率处电压放大倍数为 1000，放大后的信号送乘法器另一个输入

端被同步检波。乘法器输出信号经低通滤波，得到直流电压信号，该直流电压信号大小正比于磁场梯度，因此可用此信号表示磁场梯度，并由应力集中判断是否超过阈值和显示单元显示其大小。

图7中，插座JP701用于通过线缆连接探头的传感器，±2.5V电源经电容C710、C711滤波后对传感器供电。传感器输出信号经可调电阻W701、电阻R701送第一级带通放大电路进行选频放大。电路共包含3级2阶无限增益有源带通放大器，包含1级2阶无限增益有源滤波器。由运放U701B、电阻W701、R701、R702、W702、R703、W703、R704、R705、电容C701、C702组成第一级带通放大器，由运放U701A、电阻R706、R707、W707、R708、R709、W709、R710、电容C703、C704组成1级50Hz滤波器，由运放U701C、电阻R712、W712、R713、W713、R714、W714、电容C705、C706组成第二级带通放大器，由运放U701D、电阻R15、R716、W716、R717、R720、R721、电容C707、C708组成第三级带通放大器。每级带通放大器中心频率均为40Hz，主要通过调节可调电阻W702、W713、W716实现；通过调节可调电阻W701、W703、W712、W714可改变该级的增益，对中心频率也有影响，需配合调整各可调电阻使电路满足要求。调节电阻W707、W709使该级滤波器的中心频率为50Hz，且对50Hz信号完全吸收，消除工频干扰。

集成电路U702A为4象限模拟乘法器，型号是MLT04。电阻R722、电容C709组成低通滤波器，量程为±2.5V的电压表表头V701用于指示磁场梯度值。由运放U703A、电阻R731、R732、R733、R734、W731、电容C731、C732、二极管D731、D732组成低频振荡电路，调节电阻W731可改变振荡电路输出信号的幅度，振荡电路的频率则由电阻R731、R732和电容C731、C732决定，本实施例振荡频率为40Hz。产生的40Hz正弦波信号一路经电阻R735送乘法器一个输入端，参与同步检波，另一路振荡信号经电阻W732送升压驱动电路。由运放U703C、U703D、电阻R737和升压变压器T731组成升压驱动电路，将正弦波信号电压升高到峰峰值为30V，通过调节电阻W732实现。通过插座JP702将升高后的电压引出加到压电双晶片上，使其做机械振动。由运放U703B、电阻W733、R736、R738、R739、R740、二极管D733、D734和有源蜂鸣器LS731组成应力集中阈值判断报警电路。阈值设定通过调节电阻W733实现。

本实施例装置是单量程单通道的，本技术领域内的熟练技术人员应当理解这只是举例说明，可以对本实施方式做出变更或修改，而不背离本发明的原理和实质。例如，能很容易地将本电路改制成多量程多通道的，或做些其他修改。

以上两个实施例中，集成线性霍尔元件型号为3503，运放为LM324，实施例二中压电双晶片外型尺寸为60mm×20mm×0.6mm。

以上两个具体实施方式中，显示单元均采用最简单的机械指针式电压表，利用已有公知技术可以方便地将它们改为LED或LCD显示，而不背离本发明的实质。本发明的核心实质是通过测量构件表面的磁场梯度评判构件内或表面的应力和应力集中程度。凡采用等同替换或等效变换的形式所获得的技术方案，均落在本发明的保护范围之内。

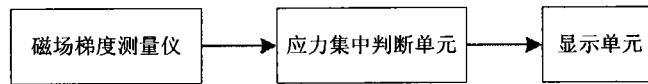


图 1

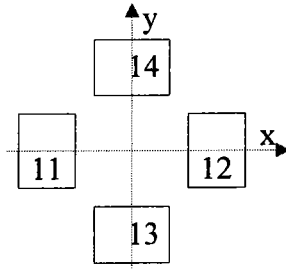


图 2

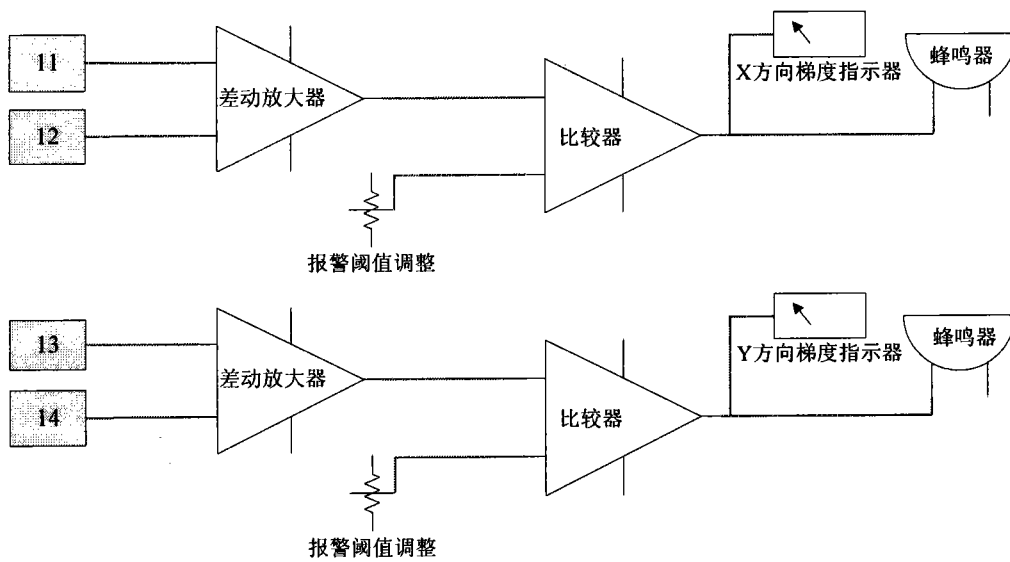


图 3

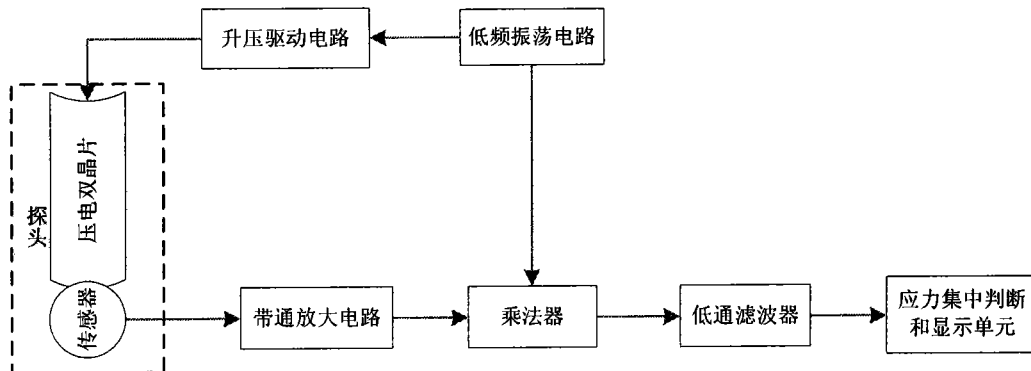


图 4

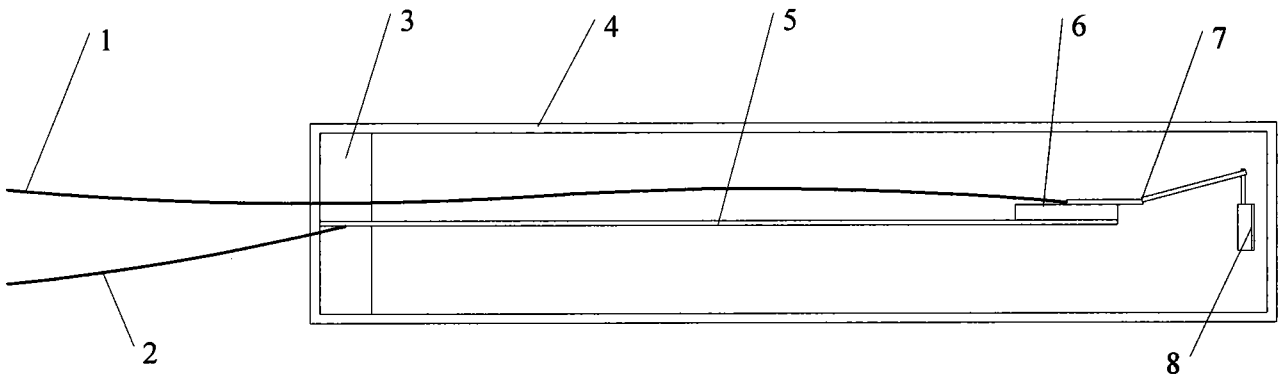


图 5

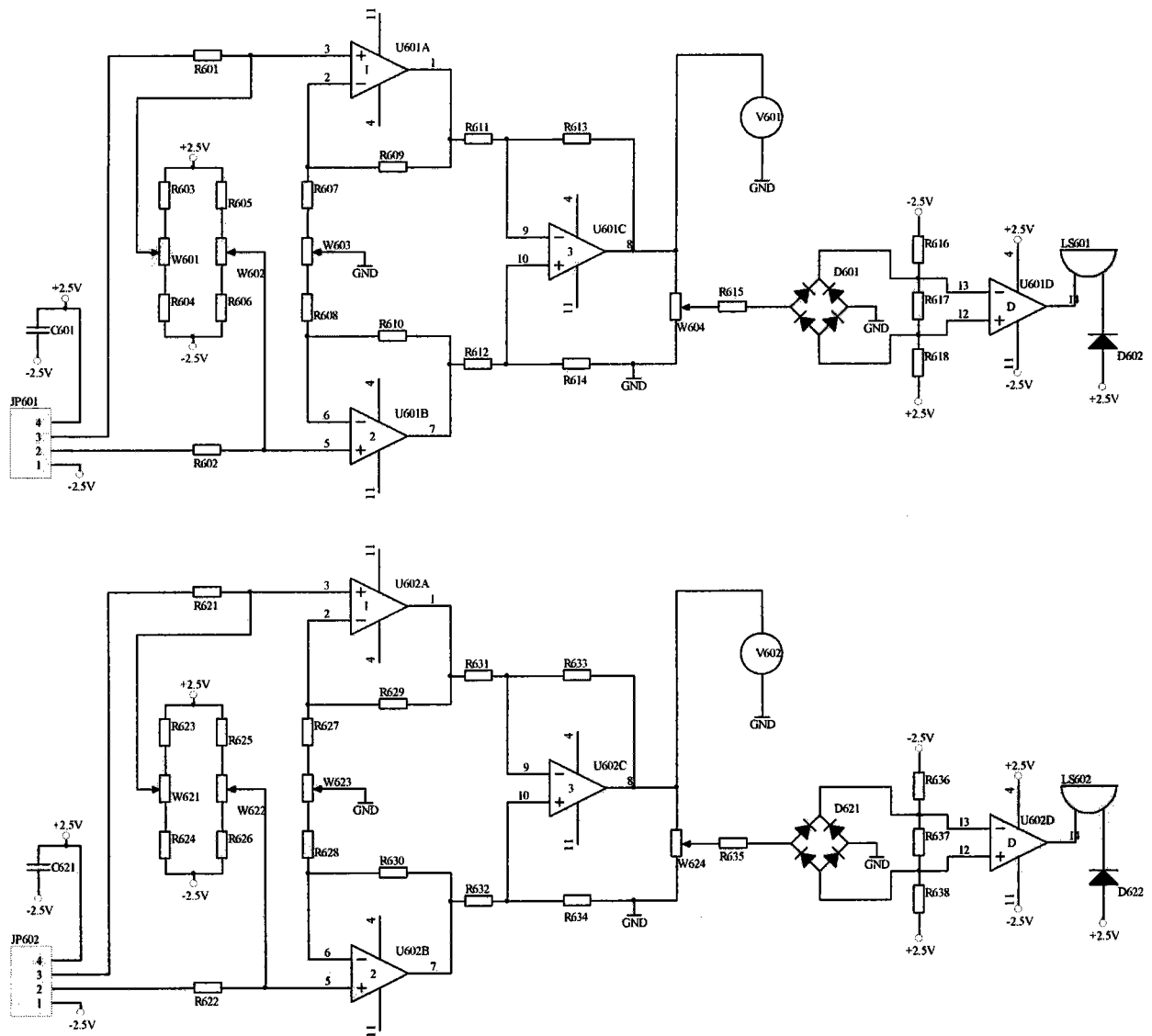


图 6

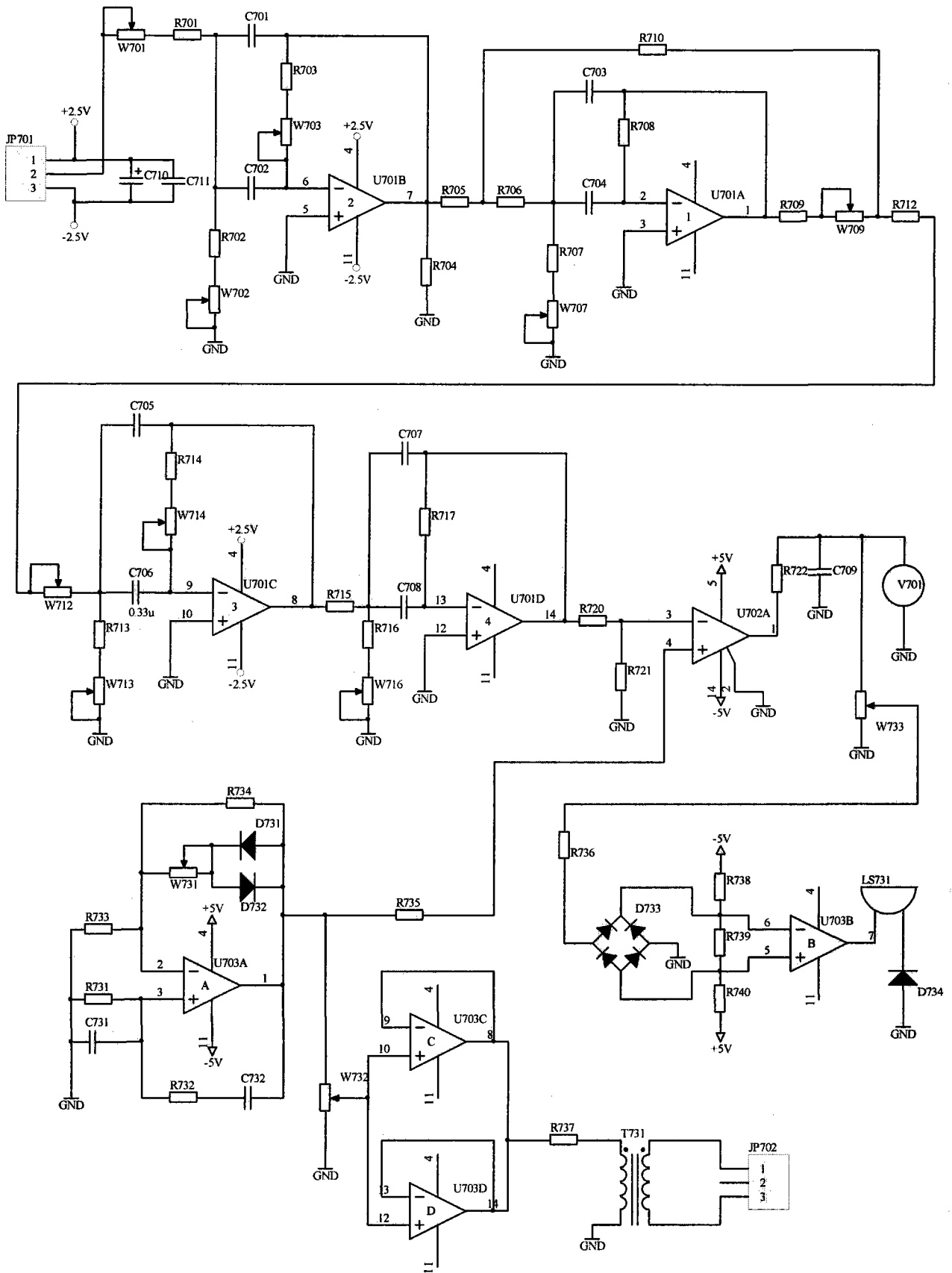


图 7