



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103499635 A

(43) 申请公布日 2014. 01. 08

(21) 申请号 201310356093. 7

(22) 申请日 2013. 08. 15

(71) 申请人 中广核检测技术有限公司

地址 518000 广东省深圳市福田区上步中路
1001 号科技大厦 1506

申请人 苏州热工研究院有限公司
中国广核集团有限公司

(72) 发明人 贝雅耀 林忠元 刘金宏 周在杞
陈予苏 王小刚

(74) 专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有
限公司 32103

代理人 孙仿卫 李艳

(51) Int. Cl.

G01N 27/82(2006. 01)

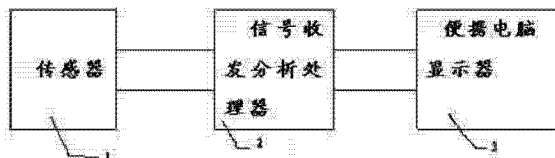
权利要求书1页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

螺旋盘式传热管导行波检测技术及其传感器

(57) 摘要

本发明涉及一种螺旋盘式传热管在役检查用的导行波检测方法, 包括以下步骤: 导行波检测装置的探头发射导行波信号, 导行波沿螺旋盘式传热管内部传输, 沿管内壁传至传热管的出口端, 传热管的出口端有开路 and 短路两种状态; 传热管内壁的不连续缺陷与导行波相互作用后, 导行波携带不连续缺陷的基本信息, 经传感器, 接入信号收发分析处理器的平衡电桥; 利用信号收发分析处理器的快速傅里叶变换将频域信号转变为时域信号, 显示出谐振频幅响应曲线。由于本发明的导行波检测技术, 使用传感器以快捷的扫查速度检测第四代核电站高温气冷堆蒸发器螺旋盘式传热管, 将得到比较精确的不连续点反射定位。



1. 一种螺旋盘式传热管在役检查用的导行波检测方法,利用导行波检测装置,对螺旋盘式管内部的不连续缺陷进行在役检查,其特征在于该检测方法包括以下测量步骤:

导行波检测装置的探头发射导行波信号,导行波沿螺旋盘式传热管内部传输,沿管内壁传至传热管的出口端,所述传热管的出口端有开路 and 短路两种状态;

所述传热管内壁的不连续缺陷与导行波相互作用后,导行波携带不连续缺陷的基本信息,经传感器,接入信号收发分析处理器的平衡电桥;

利用信号收发分析处理器的快速傅里叶变换将频域信号转变为时域信号,显示出谐振频幅响应曲线。

2. 按照权利要求 1 所述的螺旋盘式传热管在役检查用的导行波检测方法,其特征在于,所述谐振频幅响应曲线根据被测管的展开长度,选择以皮秒或纳秒表示电长度或被测管缺陷离管口的距离。

3. 按照权利要求 1 所述的螺旋盘式传热管在役检查用的导行波检测方法,其特征在于:将被测管束当作圆柱电磁谐振腔对被测管缺陷进行检测,建立传热管的射频范围内扫频频率幅度谐振响应曲线与管壁厚度的相应关系,通过谐振频幅曲线显示出传热管壁厚的减薄量,完成传热管腐蚀减薄量的在线实时检测。

4. 一种螺旋盘式传热管在役检测用的导行波传感器,其特征在于,所述传感器包括:一向被测管道发射导行波的圆形探头、一射频信号输入输出转换器,所述传感器由一外壳保护,所述探头与所述转换器连接,所述转换器通过电缆与一射频信号源连接,所述转换器通过电缆与一信号收发分析处理器连接,被测管束缺陷的反射信号经转换器后传输到信号收发分析处理器。

5. 根据权利要求 4 所述的传感器,其特征在于,所述探头有一渐变的圆管端口,且所述端口的尺寸与被测管的内径相吻合。

6. 根据权利要求 4 所述的传感器,其特征在于所述探头可调节深度地插入被测管口中并且可 360 度旋转地与被测管部分内壁接触,不与被测管的外壁接触。

7. 根据权利要求 4 所述的传感器,其特征在于:所述电缆为一兼有输入和输出功能的同轴线。

8. 根据权利要求 4 所述的传感器,其特征在于:所述电缆的长度在 60cm 至 100cm 之间。

9. 根据权利要求 4 所述的传感器,其特征在于所述电缆的输入接头与所述射频信号源的输出端连接,所述电缆的输出接头与所述信号收发分析处理器输入端连接。

10. 根据权利要求 4 所述的传感器,其特征在于所述转换器为一探针式同轴波导转换器,包括一调谐螺钉,所述转换器的同轴线设置为探针,在探针顶部加一圆盘,从转换器的宽边插入到波导腔中,所述波导腔的一端为铜或铝制作的金属壁,呈短路状态,该端为短路端;所述波导腔的另一端为输出端,呈开路状态;所述转换器通过调整下列三个尺寸来达到在工作频带内的良好匹配:(1) 探针到短路端的距离;(2) 探针的长度;(3) 探针顶部圆盘的厚度和直径;(4) 调谐螺钉的位置。

螺旋盘式传热管导行波检测技术及其传感器

技术领域

[0001] 本发明涉及一种螺旋盘式管在役检查用的导行波检测方法及其导行波检测用的导行波传感器。

背景技术

[0002] 在第四代核电站高温气冷堆蒸发器螺旋盘式传热管的检测技术研究中,到目前为止,涡流检测技术无法使用。压水堆核电站的蒸汽发生器 U 形传热管可以使用涡流检测技术。在此即使提高填充系数,根据 $Z=[(\omega L)^2+R^2]^{1/2}$ 反推空心线圈的自感,按下式确定圈数并反复核算。线圈自感 $L=0.03(rN)^2/6r+9l+10b$ 式中 N—圈数 ;r、l、b 为计量单位。圈数相同,线径细则难绕,电阻增大, Q 值下降,发热增加,故宜加大线径,一般为 0.1-0.15mm。保证电感量准确应整齐分层密绕。两个差动线圈尽可能保持一致,至于绕向,因接成桥路,尽管对检测并无实际影响。但在对第四代高温气冷堆蒸发器螺旋盘式传热管的检测时遇到了困难。无论是内穿式或外套式涡流探头均无法检测此类传热管。或换用远场涡流和多频涡流技术,反复试验也无济于事。

[0003] 现有技术中存在的欠缺为:首先涡流探头无法送达。再者螺旋盘管层次多,一圈盘绕一圈,即使内穿涡流探头用电动机自动化方式输送也无法到位,尤其该高温气冷堆蒸发器的上部弯曲呈不规则扭折盘旋的连接用管,更加不可行。对于第四代核电站高温气冷堆蒸发器螺旋盘式传热管的检测和在役检查,使用涡流方法或内窥镜技术,都必须将探头送达被测部位。没有一种常规检测技术可以不要传送探头抵达被测管相关部位的。而本发明所用导行波检测技术的传感器则具有不送、不套、不穿、不必达和没有耦合剂的“四不一没有”的特点。

发明内容

[0004] 本发明的目的在于克服检测螺旋盘式传热管时发送探头的麻烦,克服现有技术中螺旋盘式传热管的不连续点及腐蚀减薄难以准确定位的欠缺。同时为解决以上技术问题,本发明提供一种螺旋盘式管在役检查用的导行波检测方法,利用导行波检测装置,对螺旋盘式管内部的不连续缺陷进行在役检查,导行波检测装置的探头发射导行波信号,导行波沿螺旋盘式传热管内部传输,沿管内壁传至管的出口端,所述传热管的出口端有开路和短路两种状态;所述传热管内壁的不连续缺陷与导行波相互作用后,导行波携带不连续缺陷的基本信息,经传感器,接入信号收发分析处理器的平衡电桥;利用信号收发分析处理器的快速傅里叶变换将频域信号转变为时域信号,显示出谐振频幅响应曲线。

[0005] 进一步地,谐振频幅响应曲线根据被测管的展开长度,选择以皮秒 ps 或纳秒 ns 表示电长度或被测管缺陷离管口的距离。

[0006] 进一步地,将被测管束当作圆柱电磁谐振腔对被测管缺陷进行检测,建立传热管的射频范围内扫频频率幅度谐振响应曲线与管壁厚度的相应关系,通过谐振频幅曲线显示出传热管壁厚的减薄量,完成传热管腐蚀减薄量的在线实时检测。

[0007] 本发明还提供一种螺旋盘式传热管在役检查用的导行波传感器,所述传感器包括:一向被测管道发射导行波的圆形探头、一射频信号输入输出转换器,所述传感器由一外壳保护,所述探头与所述转换器连接,所述转换器通过电缆与一射频信号源连接,所述转换器通过电缆与一信号收发分析处理器连接,被测管束缺陷的反射信号经转换器后传输到信号收发分析处理器。

[0008] 进一步地,所述探头有一渐变的圆管端口,且所述端口的尺寸与被测管的内径相吻合。

[0009] 进一步地,在于所述探头插入被测管口与被测管部分连接,不与被测管的外壁接触,所述探头与管口的距离尺寸可调节,所述探头可 360 度旋转,从而确定被测管缺陷在管束截面的具体位置。

[0010] 进一步地,所述探头扫查被测管时,不使用耦合剂。

[0011] 进一步地,所述电缆为一兼有输入和输出功能的同轴线,所述电缆的长度在 60cm 至 100cm 之间。

[0012] 进一步地,所述电缆的输入接头与所述射频信号源的输出端连接,所述电缆的输出接头与所述信号收发分析处理器输入端连接。

[0013] 进一步地,所述转换器为一探针式同轴波导转换器,所述转换器的同轴线被做成探针的形式,在探针顶部加一圆盘,从转换器的宽边插入到波导腔中,所述波导腔的一端口为铜或铝制作的金属壁,呈短路状态,所述波导腔的另一端为输出端,呈开路状态。

[0014] 进一步地,所述转换器通过调整下列三个尺寸来达到在工作频带内有较好的匹配:(1)探针到短路端的距离;(2)探针的长度;(3)探针顶部圆盘的厚度和直径;(4)调谐螺钉的位置。

[0015] 由于以上技术方案的采用,本发明与现有技术相比具有如下优点:在螺旋盘式传热管时的检测过程中,不需要将探头发送到被测管的待测部位,只需将探头插入管口,就可以进行传热管的检测,且能快速的确定其不连续点及缺陷的位置。本发明提供的导行波传感器在扫查时没有使用耦合剂,结构简单,操作方便。

附图说明

[0016] 下面结合附图及实施例对本发明作进一步描述:

图 1 为导行波检测装置的电原理图

图 2 为扫查新的螺旋盘式传热管的扫描曲线

图 3 为扫查螺旋盘式传热管管内 $\Phi 3\text{mm}$ 金属异物的扫描曲线

图 4 为扫查螺旋盘式传热管环缝间隙 0.1mm 时的扫描曲线

图 5 为扫查螺旋盘式传热管纵向与横向裂纹相距 40cm 的扫描曲线

图 6 为扫查螺旋盘式传热管无纵缝、有横缝的扫描曲线

图 7 为扫查螺旋盘式管的两个不连续缺陷的扫描曲线。

具体实施方式

[0017] 以下结合具体实施例对本发明做进一步详细说明。应理解,这些实施例是用于说明本发明的基本原理、主要特征和优点,而本发明不受以下实施例的范围限制。实施例中采

用的实施条件可以根据具体要求做进一步调整,未注明的实施条件通常为常规实验中的条件。

[0018] 一种螺旋盘式管在役检查用的导行波检测方法,利用导行波检测装置,对螺旋盘式管内部的不连续缺陷进行在役检查,所述导行波检测装置包括一传感器,所述传感器包括:一向被测管道发射导行波的圆形探头、一射频信号输入输出转换器,传感器由一外壳保护,探头与转换器连接,转换器通过电缆与一射频信号源连接,同时,转换器通过电缆还与一信号收发分析处理器连接,其中,电缆为一兼有输入和输出功能的同轴线,所述电缆的长度在 60cm 至 100cm 之间,电缆的输入接头与射频信号源的输出端连接,电缆的输出接头与所述信号收发分析处理器输入端连接。

[0019] 转换器为一探针式同轴波导转换器,转换器的同轴线被做成探针的形式,探针顶部有一圆盘,从转换器的宽边插入到波导腔中,波导腔的一端口为铜或铝制作的金属壁,呈短路状态,波导腔的另一端为输出端,呈开路状态。转换器可以通过调整下列尺寸来达到在工作频带内有较好的匹配:(1) 探针到短路端的距离;(2) 探针的长度;(3) 探针顶部圆盘的厚度和直径;(4) 调谐螺钉的位置。如表 1 中探针的长度为 L、探针顶部圆盘的厚度 h 和直径 D、探针到短路端的距离 j;圆孔的厚度和直径分别为 n 和 d。表 1 给出了优选地探针式转换器的主要结构参数。

表 1

L	探针的长度	0.92mm
h	圆盘的厚度	0.90mm
D	圆盘的直径	1.30mm
j	探针到短路端的距离	2.15mm
n	圆孔的厚度	2.20mm
d	圆孔的直径	1.15mm

[0020] 除了上述尺寸外,还包括系列化数据中其他相关的数据,这个数据以标准化波导尺寸为依据,可以放大或缩小。

[0021] 在扫查被测管的缺陷时,被测管束缺陷的反射信号经转换器后传输到信号收发分析处理器。导行波检测装置的探头发射导行波信号,所述探头有一渐变的圆管端口,且所述端口的尺寸与被测管的内径相吻合,探头插入被测管口与被测管部分连接,而不与被测管的外壁接触,所述探头与管口的距离尺寸可调节,所述探头可 360 度旋转,从而确定被测管缺陷在管束截面的具体位置,探头扫查被测管时,不使用耦合剂导行波沿螺旋盘式传热管内部传输,沿管内壁传至管的出口端,传热管的出口端有开路和短路两种状态;传热管内壁的不连续缺陷与导行波相互作用后,导行波携带不连续缺陷的基本信息,经传感器,接入信号收发分析处理器的平衡电桥;利用信号收发分析处理器的快速傅里叶变换(FFT)将频域信号转变为时域信号,显示反射系数幅值的扫描曲线。反射系数幅值的扫描曲线根据被测管的展开长度,选择以皮秒 ps 或纳秒 ns 表示电长度或被测管缺陷离管口的距离。将被测管束当作圆柱电磁谐振腔对被测管减薄量进行检测,建立传热管的射频频范围内扫频频率幅

度谐振响应曲线与管壁厚度的相应关系,通过谐振频幅曲线显示出传热管壁厚的减薄量,完成传热管腐蚀减薄量的在线实时检测。

[0022] 实施例 1

传感器插入管子的前部为导行波检测(GT)探头,后部有外壳保护即传感器的转换器。探头此时插入传热管的管口。

[0023] 参见图 2,为一个完好的螺旋盘式传热管新管进行扫查的曲线图。选择合适尺寸的探头,按操作程序,检查役前的管件内壁缺陷。用导行波检测(GT)方法扫查,结果发现对于一支新管,没有缺陷,具体曲线是平直的,反映管内壁没有不连续点存在,该根管件结构完整性较好。作为役前检查的背景显示,平直的曲线,存在质量完好性信息。具体螺旋盘式传热管外形的螺旋管换热组件共 19 个 $\times 35=665$ 根,单个换热组件: $35=5+6+7+8+9$;单根换热管: $\Phi 19 \times 3\text{mm}$;材质:高温段 Inco1oy 800H,低温段 T22。

[0024] 参见图 3,图中右侧高峰表示导行波检测(GT)扫查螺旋盘式传热管发现管内存在异物。该波峰证实该异物堵内径 13mm 达到 60%的面积。定位从末端管口测在 1.4m 处,而从放探头的管口测在 1.2m 处。然后用 RT(射线)和 VT(内窥镜)验证,给出了异物位置与导行波检测(GT)的显示完全吻合的结论。

[0025] 参见图 4,扫查管环向裂缝宽为 0.1mm 时的扫描曲线。用导行波检测(GT)方法扫查,其出口端处于开口状态,对于环向裂缝的缺陷比较容易发现。图中管端开路状态反射较短路状态反射系数幅值低。在环缝间隙为 0.1mm 时反射系数幅值比 0.2mm 的低。证实了不连续的大小导致反射系数幅值的不同。用电长度,或皮秒 ps、纳秒 ns 表示,定位较准确。

[0026] 参见图 5,图中管端开路状态,纵缝与横缝相距 40cm,前者由于靠近传感器反射较后者反射系数幅值高。同样证实了不连续的位置远近导致反射系数幅值的不同。

[0027] 参见图 6,图中长 4.6m 一段螺旋盘式传热管,管端开路状态,曲线前者小峰为横裂缝,后者峰高为发现异物,即纵缝插入 0.01mm 刀片,反射系数幅值高。同样证实了出现不连续的位置有异物则反射系数幅值也就大。

[0028] 本发明的导行波方法检测可扫查完好的螺旋盘管和其他各类管,以判定其质量状况。

[0029] 实施例 2

利用本发明的导行波检测(GT)方法对螺旋盘式传热管进行扫查,可发现 T22 螺旋盘式管的两个不连续缺陷如图 7。该管壁不连续点有两处显示利用导行波扫查的结果。图 7 的结论与实际相吻合。从图上可知两个不连续缺陷相距 20cm。由此,可以很精准地确定其缺陷的可检出性和验证不连续点缺陷定位的准确性。进一步深入地验证不同缺陷的检测,通过不同材质的螺旋盘式传热管检测和分析对照,完成缺陷检测的定量化及缺陷特征的描述。本发明的导行波检测技术对于役前或安装前的螺旋盘式传热管包括在役检查传热管以及其他各类管,使用专门的传感器很方便,不必将探头内穿、外套、传输、送达到被测部位。只要快速对准被测传热管管口或通过管板的传热管管口,检测结果的图形曲线实时呈现。根据螺旋盘式传热管的几何尺寸,立即可以从仪器显示中予以准确定位,也就是可以知道不连续点在传热管的具体位置信息以及方位信息。

[0030] 本发明的原理概述如下:

导行波是一种在传输线内部传输的电磁波。本发明所使用的电磁波在射频范围内。导

行波检测就是利用射频电磁波的反射波和入射波的脉冲间隔确定了不连续点缺陷所处的位置到信号输入端的距离 D , 如下式所示:

$$D = ct_0 / 2\sqrt{\epsilon_r} \quad (1)$$

式中, C 为光速; t_0 为脉冲从出发到返回所经过的时间; ϵ_r 为介质的介电常数。

[0031] 利用阶跃信号(或脉冲信号)在传输系统中的反射(由示波器显示),来测量出传输线中各个阻抗不连续点的位置与特性。本发明所指时域反射计(TDR)用快速傅里叶变换(FFT)获取反射系数。

[0032] 若被测系统与传输线的特性阻抗相匹配,则无反射,示波器荧光屏上只有入射电压阶跃显示;若系统有失配点存在或被测传热管存在不连续缺陷,则有反射波出现。荧光屏上显示的是入射电压与反射电压的叠加。

[0033] 根据显示图形,可以确定被测传热管不连续点或被测系统失配的位置、性质和量值。时域反射测量技术配用电子计算机,可以用来进行自动宽带测量。沿被测传热管通路传输高速信号边沿,并观察其反射信号。

[0034] 反射能够说明信号的阻抗以及阻抗变化时信号延时的变化。在反射模式中作为频率函数的反射系数,可把该反射系数看成是入射电压和反射电压的传递函数。反变换将反射系数转换为时间函数。在时域反射计(TDR)或时域反射测量时,可用观察的波峰作为反射系数的幅值大小。

[0035] 若两个同样的不连续点之间的距离为 $d_{1-2} = c(t_1 - t_2) / 2\sqrt{\epsilon_r}$ 时,则当 $(t_1 - t_2)$ 小于时域反射计脉冲系统上升时间的一半时,就不可能分辨出两脉冲的间隔。时域反射可以区分各个不连续点。对被测传热管反射系数波幅的分辩力,用 R 表示:

$$R = [1.5 \times 10^8 (1 - (F_c/F_1)^2)] / \Delta F \quad (2)$$

式中 F_c 为截止频率; F_1 为起始频率; ΔF 为带宽,即起、迄频率或终止频率减起始频率。

[0036] 根据谐振腔体模型的原理,将被测螺旋盘管当作圆柱电磁谐振腔进行腐蚀减薄量检测。

[0037] 如设电磁波速为 C ; 频率为 f ; 则波长

$$\lambda_0 = C/f \quad (3)$$

测量传热管减薄量的方法依据如下公式:

$$2R = (2n-1)\lambda_0/4 \quad (4)$$

式中 $2R$ 为圆柱电磁谐振腔内径尺寸; λ_0 为谐振波长或谐振频率 $f = (2n-1)C/8R$ 。

[0038] 公式(4)表示传热管内径尺寸 $2R$ 与谐振波长 λ_0 或相应的谐振频率 f 是函数关系。通过试验建立不同壁厚条件下的幅值与频率相互关系。从频率响应上寻找反相关规律,即腐蚀减薄量越大,所响应的谐振频率越低;反之壁厚减薄越少,谐振频率越高。

[0039] 如若传热管腐蚀减薄量越少,则频响曲线就向相对高频方向移动。此时需要在被测传热管的另一端口设置短路器,为研究螺旋盘管从管板侧检验管子内壁腐蚀量,提供具

体精准的数据支持。

[0040] 以上对本发明做了详尽的描述, 实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想, 其目的在于让熟悉此领域技术的人士能够了解本发明的内容并据以实施, 并不能以此限制本发明的保护范围。凡根据本发明精神实质所作的等效变化或修饰, 都应涵盖在本发明的保护范围之内。

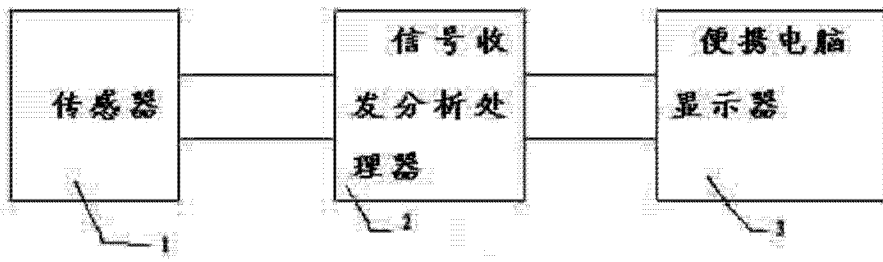


图 1

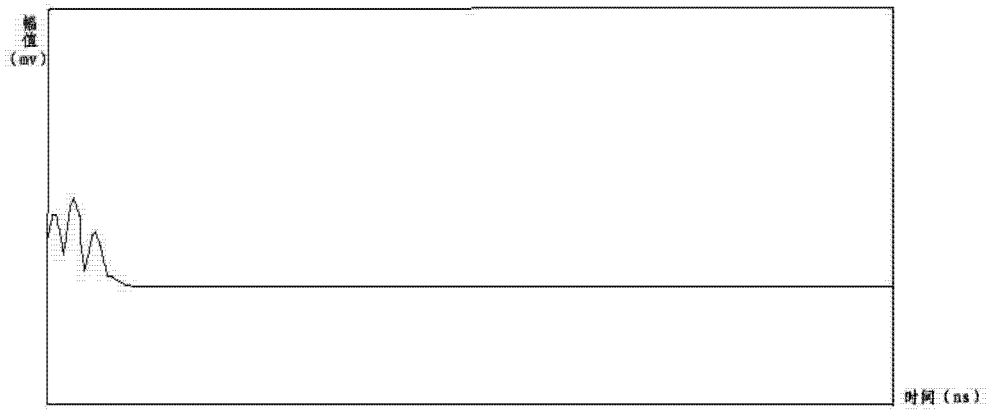


图 2

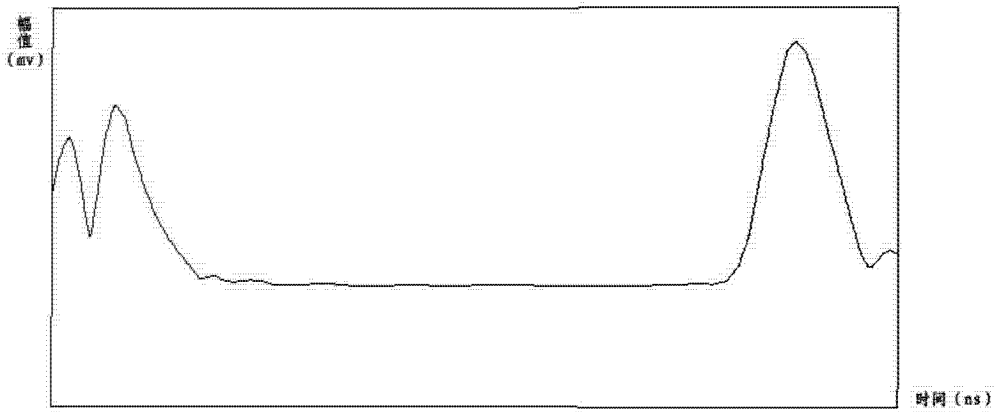


图 3

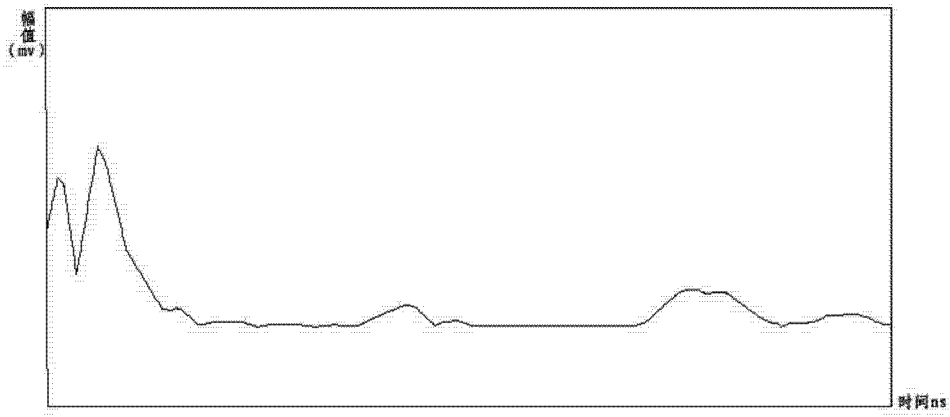


图 4

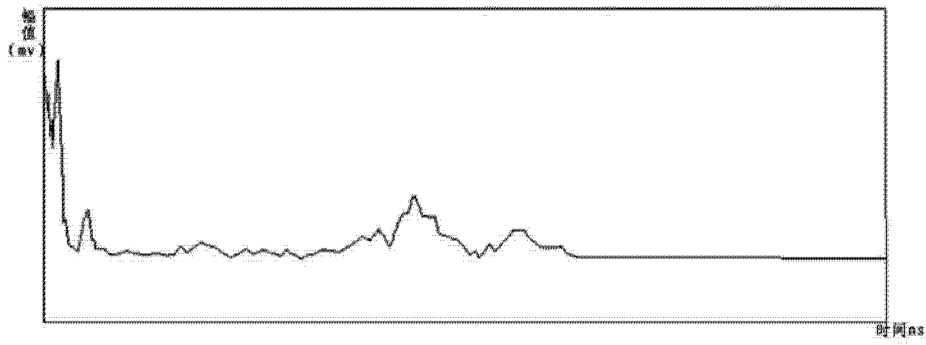


图 5

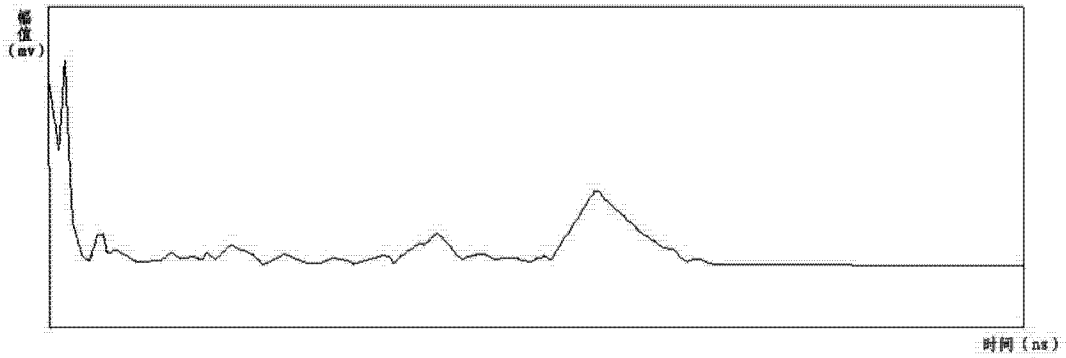


图 6

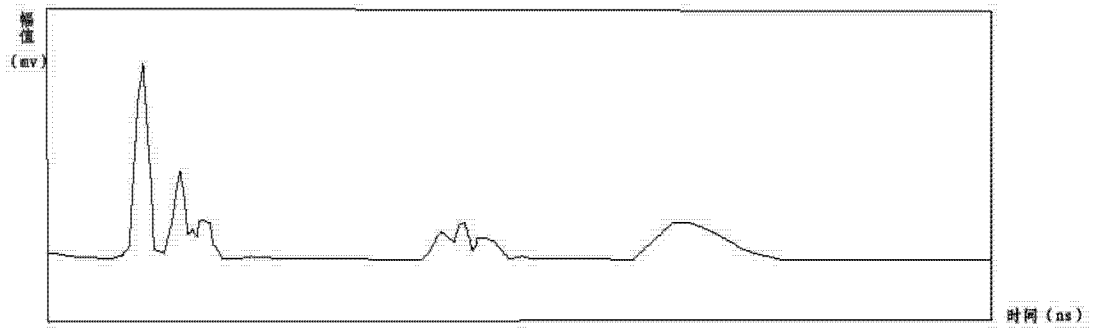


图 7