



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110772222 A  
(43)申请公布日 2020.02.11

(21)申请号 201910683415.6

(22)申请日 2019.07.26

(30)优先权数据

18185744.2 2018.07.26 EP

(71)申请人 国际听力公司

地址 丹麦米泽尔法特

(72)发明人 K·R·内尔高

(74)专利代理机构 北京金阙华进专利事务所  
(普通合伙) 11224

代理人 陈建春

(51)Int.Cl.

A61B 5/00(2006.01)

A61B 5/12(2006.01)

A61B 90/00(2016.01)

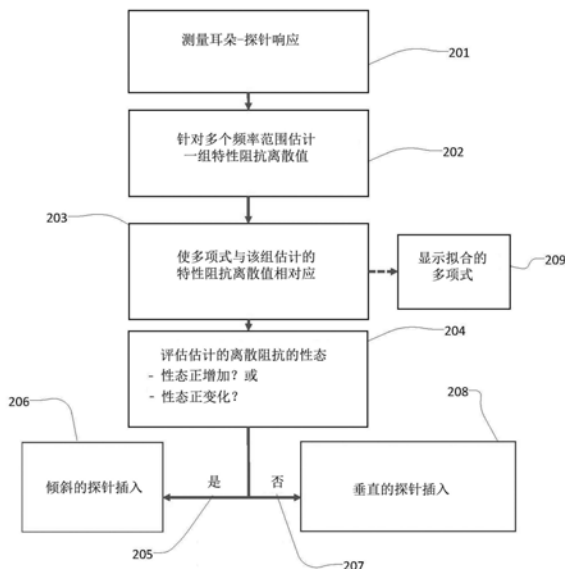
权利要求书2页 说明书12页 附图13页

(54)发明名称

用于检测和补偿耳用探针倾斜插入的装置及方法

(57)摘要

本申请公开了用于检测和补偿耳用探针倾斜插入的装置及方法,其中所述方法包括步骤:将耳用探针插入到波导内;经所述耳用探针向所述波导内发射声刺激;测量耳用探针响应;在所述耳用探针响应的多个频率范围从测得的耳用探针响应估计所述波导的特性阻抗;利用针对所述多个频率范围中的每一频率范围估计的特性阻抗表征所述耳用探针的插入倾斜度。



1. 用于检测耳用探针倾斜插入到声波导内的方法,所述方法包括步骤:
  - 将耳用探针插入到波导内;
  - 经所述耳用探针向所述波导内发射声刺激;
  - 测量耳用探针响应;
  - 在所述耳用探针响应的多个频率范围从测得的耳用探针响应估计所述波导的特性阻抗;
  - 利用针对所述多个频率范围中的每一频率范围估计的特性阻抗表征所述耳用探针的插入倾斜度。
2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述波导为人类受测人员的耳道。
3. 根据前面任一权利要求所述的方法,其中所述刺激被配置为纯音、唧唧声、扫频音、伪随机噪声或类似的声学刺激。
4. 根据前面任一权利要求所述的方法,其中所述特性阻抗通过使用反射率或者阻抗度量的虚部和实部的Hilbert变换进行估计。
5. 根据权利要求1-3任一所述的方法,其中所述特性阻抗通过评估反射率或阻抗度量的因果关系进行估计。
6. 根据前面任一权利要求所述的方法,其中多个频率范围从一组截断频率确定。
7. 根据权利要求6所述的方法,其中截断频率从使阻抗或反射率度量的Hermitian对称频谱具有可微性的点确定。
8. 根据前面任一权利要求所述的方法,其中耳用探针插入倾斜度通过估计所估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化得到。
9. 根据权利要求8所述的方法,其中所述变化通过使一函数拟合跨多个频率范围估计的特性阻抗进行估计。
10. 根据前面任一权利要求所述的方法,其中,在另一步骤中,倾斜探针插入通过利用探针插入倾斜度找到一组补偿倾斜探针插入的补偿参数而进行补偿。
11. 根据权利要求10所述的方法,其中用于补偿倾斜探针插入的方法包括另外的步骤:
  - 将估计的特性阻抗的一组离散值输入到信号处理器;
  - 使一函数拟合估计的特性阻抗的该组离散值;
  - 从拟合的函数逼近一入射阻抗以估计所述波导由其特性阻抗终止处的阻抗。
12. 根据权利要求11所述的方法,其中,在另一步骤中,惯量贡献通过下述步骤计算和补偿:
  - 进一步估计使反射率或阻抗度量在多个截断频率下的非因果关系最小化的一组离散惯量;其中在包括下面步骤的方法中
    - 将惯量的一组估计的离散值输入到信号处理器;
    - 使一函数拟合惯量的估计的离散值的该组离散值;
    - 组合通过拟合的多项式的逼近估计的实部和虚部以描述入射阻抗的估计量;及
    - 输出估计的入射阻抗以用在反射率度量中。
13. 诊断工具,包括:
  - 具有探针尖的耳用探针,所述耳用探针配置成插入到受测人员的耳道内;
  - 所述耳用探针还包括

--至少一接收器和至少一传声器,其中所述接收器配置成将刺激发射到耳道内,及所述传声器配置成测量耳用探针响应,其中所述诊断工具还包括

-信号发生器,配置成产生刺激并将所述刺激传给所述接收器以将所述刺激传入耳道内;及

-信号处理器,配置成接收通过所述传声器测得的耳用探针响应,其中所述信号处理器配置成执行根据权利要求1-12任一所述的方法的步骤。

14. 根据权利要求13所述的诊断工具,其中所述信号处理器配置成通过估算估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化而计算探针插入倾斜度,和经所述诊断工具的显示器向用户显示前述变化。

15. 根据权利要求13或14所述的诊断工具,其中所述诊断工具配置成具有控制设置,从而使所述诊断工具的用户能将所述诊断工具设定为第一模式,其中所述用户被显示估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化。

16. 根据权利要求13-15任一所述的诊断工具,其中所述诊断工具由用户设定为补偿模式,进而所述诊断工具执行根据权利要求10-12任一所述的方法的步骤,其中已补偿的反射率度量被输出到所述诊断工具的显示器。

## 用于检测和补偿耳用探针倾斜插入的装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及尤其在听力测试诊断情形中用于检测和补偿倾斜的耳用探针插入的装置及方法。更具体地,本发明涉及从耳用探针测量结果检测倾斜的耳用探针插入并补偿其对耳道反射率的影响。

### 背景技术

[0002] 耳道反射率已证明是对识别传导性听觉障碍、原位校准刺激水平及估计从耳朵发出的声压有用的量。耳道中使用耳用探针测量受隐失模式影响,及耳道反射率另外取决于耳用探针位置处的特性阻抗。均匀波导的特性阻抗与其截面积密切相关,其固有地因耳道不同及随插入深度变化。隐失模式在声流通过窄孔注入到波导(如耳道)内时出现,因为非传播模式被引出并与耳用探针和波导之间的几何失配密切相关。隐失模式及特性阻抗的错误估计量或假设因而引起耳道反射率的误差,其应被分别补偿和估计以获得准确的耳道反射率测量结果,尤其在较高频率时。

[0003] 另外的引起耳道反射率不准确的因素与耳用探针插入到耳道内的插入角度有关。耳用探针通常使用橡胶或泡沫耳塞插入到耳道内,在校准程序构成受控设置的同时,很难采取无创性预防措施来避免耳用探针倾斜插入到耳道内。在耳道本身固有地不均匀的同时,其进一步地并非直波导。将耳用探针尖放在耳道的弯曲位置处可导致倾斜插入,尽管从外面看其似乎是垂直的。因而,为避免因倾斜的探针插入引起例如反射率测量结果出现误差从而影响耳道反射率,需要使能在诊断情形中检测和补偿倾斜的耳用探针插入的解决方案。

### 发明内容

[0004] 本发明公开了一种方法和诊断装置,其能检测耳用探针前面的物理特征(即耳用探针的插入角度)是否提供适合定义并估计耳道或者模拟耳道的波导的特性阻抗的条件,从而使用估计的特性阻抗获得有效的反射率度量。

[0005] 即,公开了用于检测耳用探针倾斜插入到声波导内的方法。该方法包括步骤:

[0006] -将耳用探针插入到波导内;

[0007] -经耳用探针向所述波导内发射声刺激;

[0008] -测量耳用探针响应;

[0009] -在所述耳用探针响应的多个频率范围从测得的耳用探针响应估计所述波导的特性阻抗;

[0010] -利用针对所述多个频率范围中的每一频率范围估计的特性阻抗表征所述耳用探针的插入倾斜度。

[0011] 通过提供在此提出的方法,不仅可能提供波导如耳道中耳用探针的插入倾斜度的估计量,而且可能补偿这样的倾斜。这很重要,因为例如听力诊断中的多个诊断度量取决于耳道的特性阻抗的准确的估计量以计算例如耳道反射率、刺激电平及从耳朵发出的声学响

应的准确的估计量。因而,使用该方法,可能从耳用探针响应的测量结果评估耳用探针插入,这例如使听觉病矫治专家能够评估或者使预定阈值算法能检测耳道中的测量结果是否足够准确以用于听力诊断评估。

[0012] 应注意,声学特性阻抗用于描述传输线如耳道,并被定义为沿该传输线的单波传播的声压与容积流量的比;即波在其它方向不存在反射的情形下按一个方向行进。当诊断情形需要耳道的描述时,特性阻抗在听力诊断学中感兴趣,因为其被用在这些计算中的多个计算中。均匀传输线的特性阻抗与该传输线的截面积密切相关。因而,耳道的特性阻抗通常未知并需要基于例如耳用探针测量结果和/或表征耳用探针的声学Thevenin(戴维南)等效参数进行估计。

[0013] 因而,在实施例中,波导为人类测试人员的耳道,适合对其进行听力测试或诊断。

[0014] 在本方法中,刺激配置成使得高效的耳用探针响应可被记录,因而,在实施例中,刺激被配置为纯音、唧唧声、扫频音、伪随机噪声或类似的声学刺激。

[0015] 更具体地,检测耳用探针倾斜插入的方法在实施例中利用Hilbert(希尔伯特)变换方法估计特性阻抗。也就是说,在实施例中,特性阻抗通过使用反射率或者阻抗度量的虚部和实部的Hilbert变换进行估计。因而,在评估估计的特性阻抗之前,反射率或阻抗度量的实部和虚部从Hilbert变换进行计算。在于此描述的方法中,波导优选耳道在多个不同频率的未知特性阻抗通过使用Hilbert变换得到,如本申请的申请人的未决公开申请EP3288294中描述的。

[0016] 此外,在备选方案中,可考虑其它估计特性阻抗的方法,优选地,应注意,例如使用Fourier(傅里叶)变换、逆傅里叶变换或Hilbert变换评价反射率度量或阻抗度量的因果关系的方法被考虑为估计特性阻抗的优选方法,因为这些方法可将声波导在耳用探针位置处的本地物理特征与沿该波导进一步向下的特征分开。然而,可使用基于不同于评价因果关系的原理估计特性阻抗的方法。

[0017] 为了针对阻抗或反射率度量的多个频率范围估计特性阻抗,本方法配置成使得多个频率范围从一组截断频率确定。

[0018] 更具体地,在实施例中,截断频率可从使阻抗或反射率度量的Hermitian(厄米)对称频谱具有可微性的点确定。通过找到使阻抗或反射率度量的厄米对称频谱具有可微性的点,估计的特性阻抗中因有限阻抗测量带宽引起的误差可被避免。

[0019] 作为备选,多个频率范围可从用于估计特性阻抗的任何其它方法的适当要求确定或者可任意地预先确定。

[0020] 基于针对按所描述的得到的多个频率估计的特性阻抗,探针插入倾斜度可通过估计估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化得到。

[0021] 因而,在实施例中,估计的特性阻抗跨频率范围的变化可通过使一函数拟合跨多个频率范围估计的特性阻抗而得到。优选地,将拟合的函数为多项式,其将从具体描述中变得显而易见。

[0022] 在另一实施例中,当已检测到倾斜的耳用探针插入时,本方法还包括用于补偿这样的倾斜插入的补偿步骤。即,在另一步骤中,倾斜的探针插入可通过利用探针插入倾斜度找到一组补偿倾斜探针插入的补偿参数而进行补偿。

[0023] 在实施例中,用于补偿倾斜探针插入的方法包括另外的步骤:

- [0024] -将估计的特性阻抗的一组离散值输入到信号处理器；
- [0025] -使一函数拟合估计的特性阻抗的该组离散值；
- [0026] -从拟合的函数相当准确地估算(逼近)入射阻抗以估计所述波导的特性阻抗终止处的阻抗。
- [0027] 因而,可能仅通过查看该特性阻抗而补偿倾斜的耳用探针插入。
- [0028] 然而,为更准确地确保因耳用探针倾斜插入引起的所有误差均已被补偿,在实施例中,本方法可包括另外的步骤,其中来自隐失模式的作用连同耳用探针插入倾斜的扩散流也被考虑。因而,在另一步骤中,计算惯量贡献并通过下述步骤补偿:
- [0029] -进一步估计使反射率或阻抗度量在多个截断频率下的非因果关系最小化的一组离散惯量;
- [0030] -将惯量的一组估计的离散值输入到信号处理器;
- [0031] -使一函数拟合惯量的估计的离散值的该组离散值;
- [0032] -组合通过拟合的多项式的逼近估计的实部和虚部以描述入射阻抗的估计量;及
- [0033] -输出估计的入射阻抗以在计算反射率度量时使用。
- [0034] 通过应用上面提及的步骤,确保产生于倾斜插入的耳用探针的所有贡献均可被补偿。
- [0035] 在本发明的另一方面,提供配置成执行用于检测和补偿倾斜探针插入的方法步骤的诊断工具。该诊断工具可被配置为听力筛查器、诊断工具或类似装置,配置成测量耳用探针响应以评估受测人员的听力。
- [0036] 更具体地,诊断工具包括:
- [0037] -具有探针尖的耳用探针,所述耳用探针配置成插入到受测人员的耳道内;及所述耳用探针还包括
- [0038] --至少一接收器和至少一传声器,其中至少一接收器配置成将刺激发射到耳道内,及所述传声器配置成测量耳用探针响应,其中所述诊断工具还包括
- [0039] -信号发生器,配置成产生刺激并将所述刺激传给所述接收器以将所述刺激传入耳道内;及
- [0040] -信号处理器,配置成接收通过所述传声器测得的耳用探针响应,其中所述信号处理器配置成执行在此描述的方法的步骤。
- [0041] 即,诊断工具配置成将被控制为一模式,其中信号发生器将刺激传给接收器,藉此该接收器经耳用探针的探针尖将刺激发射到耳道内。耳用探针响应通过传声器进行测量并输入到诊断工具的信号处理器内。在信号处理器内,配置设定成执行可能倾斜插入的耳用探针的检测和补偿方法。
- [0042] 应注意,耳用探针可由设置在耳道中的接收器和传声器构成,其中圆顶状密封件与耳道壁邻接。
- [0043] 更具体地,信号处理器配置成通过估算估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化而计算探针插入倾斜度,和/或进一步配置成经诊断工具的显示器向用户显示前述变化。这使用户例如听觉病矫治专家或其他听觉护理专家能够评估估计的特性阻抗是否能用在与听力有关的参数如反射率的进一步计算中。这样,听觉护理专家可被通知关于倾斜插入的耳用探针的消息,其可能使进一步计算失真,因此,如果期望结果准确,需要新的记录或者补

偿。

[0044] 作为备选,该评估也可配置为自动过程,其中诊断工具处理通过传声器测得的耳用探针响应并自动评估倾斜度,及可能补偿这样的倾斜,如下面所述。

[0045] 在另一实施例中,诊断工具可配置成具有控制设置,从而使用户能将诊断工具设定为一个或多个模式,其中第一模式包括:向用户显示估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化;及第二模式,其中补偿控制被呈现给用户,从而使用户能将诊断工具设定为补偿模式,进而诊断工具执行根据在此描述的补偿步骤的补偿计算。因而,诊断工具配置成在其显示器上输出已补偿的反射率度量。

## 附图说明

[0046] 本发明将从下面结合附图进行的详细描述得以最佳地理解。为清晰起见,这些附图均为示意性及简化的图,它们只给出了对于理解本发明所必要的细节,而省略其他细节。在整个说明书中,同样的附图标记用于同样或对应的部分。每一方面的各个特征可与其他方面的任何或所有特征组合。这些及其他方面、特征和/或技术效果将从下面的图示明显看出并结合其阐明,其中:

[0047] 图1A示出了根据一实施例的耳用探针垂直插入到丙烯酸玻璃波导内。

[0048] 图1B示出了根据一实施例的耳用探针倾斜插入到丙烯酸玻璃波导内。

[0049] 图2A示出了根据一实施例的耳用探针垂直插入到耳道内。

[0050] 图2B示出了根据一实施例的耳用探针倾斜插入到耳道内。

[0051] 图3示出了耳用探针垂直和倾斜插入到无回声波导内时入射测量阻抗。

[0052] 图4A示出了针对多个截断频率和垂直插入的耳用探针测得的、堵塞耳模拟器的反射率量值。

[0053] 图4B示出了针对多个截断频率和倾斜插入的耳用探针测得的、堵塞耳模拟器的反射率量值。

[0054] 图4C示出了耳用探针以不同角度插入到波导内时的反射率量值。

[0055] 图5示出了任意喇叭载荷的分析性入射阻抗的实部、任意喇叭载荷的分析性入射阻抗的累积平均、及拟合累积入射阻抗平均的多项式。

[0056] 图6示出了任意喇叭载荷的分析性入射阻抗的频率归一化的虚部、使任意喇叭载荷对不同截断频率的非因果关系最小化的惯量的累积平均、及拟合估计的惯量的多项式。

[0057] 图7示出了耳用探针倾斜插入到堵塞耳模拟器内时在多个截断频率估计的特性阻抗的离散值,及拟合的二阶多项式。

[0058] 图8示出了耳用探针垂直插入到堵塞耳模拟器内时在多个截断频率估计的特性阻抗的离散值,及拟合的二阶多项式。

[0059] 图9示出了对于耳用探针垂直插入到堵塞耳模拟器内,使在不同截断频率的反射率的非因果关系最小化的惯量的估计的离散值。

[0060] 图10示出了对于耳用探针倾斜插入到堵塞耳模拟器内,使在不同截断频率的反射率的非因果关系最小化的惯量的估计的离散值。

[0061] 图11示出了如在此描述的检测耳用探针倾斜插入的方法步骤的流程图。

[0062] 图12示出了如在此描述的另外的补偿倾斜探针的方法步骤的流程图。

[0063] 图13示出了垂直插入的耳用探针的堵塞耳模拟器的反射率度量与倾斜插入的耳用探针的反射率度量的量值之间的比较,其中倾斜已被补偿。

[0064] 图14示出了垂直插入的耳用探针的反射率度量及已补偿的倾斜插入的耳用探针的反射率度量的群时延。

[0065] 图15示出了配置成执行根据在此描述的实施例的方法的诊断工具。

[0066] 图16示出了诊断工具的显示器,显示了倾斜度及推荐的行动。

### 具体实施方式

[0067] 下面结合附图给出的具体描述用作多种不同配置的描述。具体描述包括用于提供多个不同概念的彻底理解的具体细节。然而,对本领域技术人员显而易见的是,这些概念可在没有这些具体细节的情形下实施。装置和方法的几个方面通过多个不同的功能单元、模块、元件、步骤、处理、算法等(统称为“元素”)进行描述。根据特定应用、设计限制或其他原因,这些元素可使用电子硬件、计算机程序或其任何组合实施。

[0068] 为提供在此描述的方法的完全理解,首先,详细说明对声波及波导的几个评论。如已知的,对于沿截面积为A的无损失均匀波导传播的声波,声音P与容积流量U的比由波导的特性阻抗给出:

$$[0069] \quad Z_0 = \frac{P}{U} = \frac{\rho c}{A} \quad (1)$$

[0070]  $\rho$ 为空气密度, $c$ 为声速。当耳用探针以斜角插入到不均匀的波导内时,测量结果受耳用探针前面的好像喇叭的载荷影响。当试图原位估计声学量如使用等式(1)中的定义估计特性阻抗时,该喇叭载荷导致问题,如先前发明内容部分中描述的。

[0071] 首先,为证明耳用探针倾斜插入到波导如耳道内对反射率测量结果的影响,本申请的发明人已在半径 $a=4\text{mm}$ 的均匀无回声钢波导中进行一组阻抗测量结果。为图示耳用探针的不同的对准及机械连接,图1A和1B分别示出了耳用探针1垂直和倾斜插入到丙烯酸玻璃波导2内。应注意,当提及垂直插入的探针时,其意为探针尖10与波导2的截面平面垂直地对准;而倾斜插入的耳用探针1具有与波导的截面平面实质上未对准的探针尖10。

[0072] 图1A和1B的图示为发明人已测试在此描述的方法起作用的测试设置。然而,应当理解,该设置在已在图2A和2B中示意性图示的耳道中同样可行,其中可以看到,耳用探针101已被设置在耳朵103的耳道102内。如图所示,耳用探针101在图2A中如图1A的测试设置中所示的垂直插入。相反,图2B中的耳用探针如图1B的测试设置中所示的以倾斜方式插入到耳道102中。

[0073] 如果查看无回声波导中入射测量阻抗 $Z_{\text{meas},0}$ 的实部11A和虚部11B,可评估倾斜耳用探针插入引起的问题。因而,如图3中所示,可以看到,倾斜探针插入(点线)怎样影响该阻抗测量结果的实部11A ( $\text{Re}\{Z_{\text{meas},0}^{\angle}\}$ )和虚部11B ( $\text{Im}\{Z_{\text{meas},0}^{\angle}\}$ )的性态,因为垂直插入展现测得的阻抗的多半恒定不变的实部 ( $\text{Re}\{Z_{\text{meas},0}^{\perp}\}$ ) 12A,对应于等式(1),及测得的阻抗的虚部 ( $\text{Im}\{Z_{\text{meas},0}^{\perp}\}$ ) 12B因隐失模式及其它贡献引起的惯量而与频率成正比。相反,对于倾斜的耳用探针插入,测得的阻抗的实部11A按频率的函数递增,偏离无回声波导的实际阻

抗,及以似乎另外的惯量贡献于测得的阻抗的虚部11B。应注意,在本说明书中,垂直符号(⊥)将用于指用垂直耳用探针插入进行的测量,及角符号(∠)指倾斜耳用探针插入。

[0074] 为评估倾斜耳用探针插入对例如反射率度量的影响,给出下式

$$[0075] \quad R_{\omega_t} = \frac{Z - j\omega_t \hat{L}(\omega_t) - \hat{Z}_0(\omega_t)}{Z - j\omega_t \hat{L}(\omega_t) + \hat{Z}_0(\omega_t)} \quad (2)$$

[0076] 其中隐失模式惯量 $\hat{L}(\omega_t)$ 和特性阻抗 $\hat{Z}_0(\omega_t)$ 仅使用直到多个截断频率中的截断频率 $\omega_t$ 的可用数据进行估计,如图4A和4B中所示。图4A和4B分别示出了垂直和倾斜耳用探针插入的反射率量值 $|R_{\omega_t}^{\perp}|$ 和 $|R_{\omega_t}^{\angle}|$ 。如从图4B清楚看出,当利用多个不同的截断频率 $\omega_t$

估计 $\hat{L}(\omega_t)$ 和 $\hat{Z}_0(\omega_t)$ 时,倾斜耳用探针插入将大的不确定性引入到反射率度量 $R_{\omega_t}^{\angle}$ 中。因而,从这些图可清楚地看出,反射率度量受倾斜耳用探针插入影响,至少高于1kHz时,其中倾斜耳用探针插入的反射率度量在不同的频率开始偏离耳用探针插入。该性态主要由图3中 $Z_{\text{meas},0}^{\angle}$ 性态引起。相反,使用垂直插入时的测量结果导致跨多个不同的截断频率实质上类似的反射率度量,表明耳用探针以垂直角度插入。

[0077] 上面描述的考虑通过查看图4C得到进一步确认,其中多个不同插入角度的反射率量值被示出,对于每一角度,使用最大可能的截断频率。在此同样可清楚地看到,耳用探针插入角度很大程度上影响反射率度量,至少对于高于1kHz的频率是如此。

[0078] 因而,需要确定耳用探针插入的前述倾斜及随后补偿这样的倾斜,以确保在听力筛查时在耳道的诊断情形中进行的反射率度量准确。

[0079] 因而,提出下述的在声波导(如耳道)中检测倾斜探针插入的方法。随后,提出补偿倾斜插入的耳用探针的方法。此外,应注意,在下面的部分还描述配置成执行这些方法的装置。

[0080] 作为开始,详细说明检测倾斜耳用探针插入的方法。该方法包括步骤,在开始将耳用探针1、101分别插入到波导2或耳道102内,如图1B和2B中所示。如图所示,耳用探针1、102按倾斜方式插入。之后,声音刺激经耳用探针1、101发射到波导(或耳道102)内。探针响应通过耳用探针101进行测量,及波导的特性阻抗 $\hat{Z}_0$ 从测得的耳用探针响应估计。在下面,使用耳用探针测得的阻抗将记为 $Z_{\text{meas}}$ ,因而反射率度量变成

$$[0081] \quad R = \frac{Z_{\text{meas}} - \hat{Z}_0}{Z_{\text{meas}} + \hat{Z}_0} \quad (3)$$

[0082] 耳用探针响应的测量针对一个频率范围进行,其中,进一步地,耳用探针响应的随后分析针对多个频率范围进行。

[0083] 对于针对多个频率估计特性阻抗,可使用几种方法。一种这样的方法包括由Nørgaard等在2017年在[J. Acoust. Soc. Am. 142 (6), 3497-3509]中及申请人的未决公开申请EP3288294中描述的时域方法,其通过使阻抗估计误差的实部和虚部最小化估计隐失

模式惯量 $\hat{L}$ 及特性阻抗 $\hat{Z}_0$

$$[0084] \quad \epsilon_Z = Z - Z_0 - \mathcal{H}[\text{Im}\{Z\}] - j\mathcal{H}^{-1}[\text{Re}\{Z\}] \quad (4)$$

[0085] 其中 $\mathcal{H}[\cdot]$ 为Hilbert变换算子。换言之,在实施例,特性阻抗通过利用反射率或阻抗度量的虚部和实部的Hilbert变换进行估计。

[0086] 应注意,可使用其它用于估计特性阻抗的方法,这样的方法包括由例如Keefe等在(1992) [J. Acoust. Soc. Am. 91 (1), 470-485]中或者Rasetshwane等在(2011) [J. Acoust. Soc. Am. 130 (6), 3873-3881]中描述的方法。

[0087] 发明人发现,耳用探针倾斜插入的影响可被表示为探针前面的喇叭载荷。这样的喇叭载荷可被表示为无损失非均匀双端口模型,具有传输线矩阵元素 $a_{11}$ 、 $a_{12}$ 、 $a_{21}$ 和 $a_{22}$ 。如果在喉部(即耳用探针)位置处的平面波阻抗已知,口部(即耳道)处的平面波阻抗可从下式计算

$$[0088] \quad Z_{\text{mouth}} = \frac{a_{22}Z_{\text{throat}} - a_{12}}{a_{11} - a_{21}Z_{\text{throat}}} \quad (5)$$

[0089] 然而,已发现直接估计喇叭载荷的这些传输线矩阵元素不可行。口部位置处的反射率由下式给出

$$[0090] \quad R_{\text{mouth}} = \frac{Z_{\text{mouth}} - Z_{0,\text{mouth}}}{Z_{\text{mouth}} + Z_{0,\text{mouth}}} \quad (6)$$

[0091] 组合这些等式并重新安排导致

$$[0092] \quad R_{\text{mouth}} = \frac{Z_{\text{throat}} / \left( \frac{a_{11}Z_{0,\text{mouth}} + a_{12}}{a_{21}Z_{0,\text{mouth}} + a_{22}} \right) - 1}{Z_{\text{throat}} / \left( \frac{a_{11}Z_{0,\text{mouth}} - a_{12}}{-a_{21}Z_{0,\text{mouth}} + a_{22}} \right) + 1} \cdot \frac{a_{11}Z_{0,\text{mouth}} + a_{12}}{a_{11}Z_{0,\text{mouth}} - a_{12}}$$

[0093] 在此,入射平面波喉阻抗

$$[0094] \quad Z_{\text{throat},0} = \frac{a_{11}Z_{0,\text{mouth}} + a_{12}}{a_{21}Z_{0,\text{mouth}} + a_{22}}$$

[0095] 入射平面波喇叭传递函数

$$[0096] \quad H_{\text{horn},0} = \frac{P_{\text{mouth}}}{P_{\text{throat}}} = \frac{Z_{0,\text{mouth}}}{a_{11}Z_{0,\text{mouth}} + a_{22}}$$

[0097] 即,当喇叭载荷由口部处的特性阻抗 $Z_{0,\text{mouth}}$ 终止时的量及 $\{a_{11}, a_{22}, Z_{0,\text{mouth}}\} \in \mathbb{R}$ 和 $\{a_{12}, a_{21}\} \in \mathbb{I}$ ,即分别属于实数和虚数,这导致

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{Z_{\text{throat}}/Z_{\text{throat},0} - 1}{Z_{\text{throat}}/Z_{\text{throat},0}^* + 1} \cdot \frac{H_{\text{horn},0}^*}{H_{\text{horn},0}} \\
 [0098] \quad &= \frac{Z_{\text{throat}} - Z_{\text{throat},0}}{Z_{\text{throat}} + Z_{\text{throat},0}^*} \cdot \frac{Z_{\text{throat},0}^*}{Z_{\text{throat},0}} \cdot \frac{H_{\text{horn},0}^*}{H_{\text{horn},0}}
 \end{aligned}$$

[0099] 如果这些阻抗进一步受隐失模式影响,在此表示为该阻抗基于一系列隐失模式惯量  $j\omega L_{\text{em}}$

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{Z_{\text{throat}} - Z_{\text{throat},0}^*}{Z_{\text{throat}} + Z_{\text{throat},0}^*} \cdot \frac{Z_{\text{throat},0}^* - j\omega L}{Z_{\text{throat},0} + j\omega L} \cdot \frac{H_{\text{horn},0}^*}{H_{\text{horn},0}} \\
 [0100] \quad &= \frac{Z_{\text{throat}}/Z_{\text{throat},0} - 1}{Z_{\text{throat}}/Z_{\text{throat},0}^* + 1} \cdot \frac{Z_{\text{throat},0}}{Z_{\text{throat},0}^*} \cdot \frac{Z_{\text{throat},0}^* - j\omega L}{Z_{\text{throat},0} + j\omega L} \cdot \frac{H_{\text{horn},0}^*}{H_{\text{horn},0}}
 \end{aligned}$$

[0101] 因而,如果受隐失模式影响的入射喉阻抗已知,喇叭载荷的影响可被补偿,仅在反射率相位中导致小的时延,因为任意的复数  $z$  除以其复共轭  $z^*$  简单地导致

$$[0102] \quad \left| \frac{z}{z^*} \right| = 1 \text{ and } \angle \frac{z}{z^*} = 2\angle z$$

[0103] 当然,该入射喉阻抗对于测量的阻抗未知,下面将描述估计该量的过程。

[0104] 因而,在开发本方法过程中,发明人已认识到,使用任意的耳用探针插入在均匀波导中估计的特性阻抗  $\hat{Z}_0$  表示直到某一截断频率  $\omega_t$  入射测量阻抗的累积平均实部

$$[0105] \quad \hat{Z}_0(\omega_t) = \langle \text{Re}\{Z_{\text{meas},0}\} \rangle, \text{ for } 0 \leq \omega \leq \omega_t \quad (7)$$

[0106] 即,如果均匀波导由其特性阻抗终止,耳用探针应已测得前述阻抗。作为例子,图5示出了任意倾斜耳用探针插入的模拟入射阻抗  $Z_{\text{throat},0}$  的实部及随多个不同截断频率  $\omega_t$  估计的特性阻抗  $\hat{Z}_0(\omega_t)$ 。在此可以看到,当  $l_{\text{horn}}/\lambda \ll 1$  时,  $\hat{Z}_0(\omega_t)$  可被表示为多项式

$$[0107] \quad \hat{Z}_0(\omega_t) = \hat{Z}_0''\omega_t^2 + \hat{Z}_{0,\text{mouth}} \quad (8)$$

[0108] 其中,  $\hat{Z}_{0,\text{mouth}}$  表示均匀波导入口处的特性阻抗的估计量。

[0109] 由于随多个不同截断频率估计的特性阻抗  $\hat{Z}_0(\omega_t)$  表示入射测量阻抗的累积平均  $Z_{\text{meas},0}$ , 拟合的二阶多项式可用于估计  $Z_{\text{meas},0}$  的实部

$$[0110] \quad \text{Re}\{\hat{Z}_{\text{meas},0}\} = \frac{d}{d\omega} [(\hat{Z}_0(\omega) - \hat{Z}_{0,\text{mouth}})\omega] + \hat{Z}_{0,\text{mouth}} \quad (8)$$

[0111] 在二阶多项式的特定情形下,这导致

$$[0112] \quad \text{Re}\{\hat{Z}_{\text{meas},0}\} = 3\hat{Z}_0''\omega^2 + \hat{Z}_{0,\text{mouth}} \quad (9)$$

[0113] 类似方法可用于估计入射测量阻抗  $Z_{\text{meas},0}$  的虚部。与估计的特性阻抗  $\hat{Z}_0$  对于倾斜探针插入随截断频率  $\omega_t$  变化同样的方式,估计的隐失模式惯量也是如此,其将因果关系恢

复为反射率和阻抗,可按入射测量阻抗估计误差进行表示

$$[0114] \quad \hat{L}(\omega_t) = \langle \text{Im}\{\epsilon_{Z_{\text{meas},0}}\} / \omega \rangle, \text{ for } 0 \leq \omega \leq \omega_t \quad (10)$$

[0115] 这样,  $\lim_{\omega_t \rightarrow 0} \hat{L}(\omega_t) = L_0$  表示当  $l_{\text{horn}}/\lambda \ll 1$  时源自倾斜探针插入和隐失模式的组合惯量。图6示出了任意模拟的倾斜耳用探针插入的入射阻抗的频率归一化的虚部  $Z_{\text{throat},0}$  及随多个不同截断频率  $\omega_t$  估计的隐失模式惯量  $\hat{L}(\omega_t)$ 。与估计的特性阻抗  $\hat{Z}_0(\omega_t)$  类似,可以看到,  $\hat{L}(\omega_t)$  可通过下面的多项式逼近

$$[0116] \quad \hat{L}(\omega_t) = \hat{L}'\omega_t + \hat{L}_0 \quad (11)$$

[0117] 其中,  $\hat{L}_0$  现在表示在  $l_{\text{horn}}/\lambda \ll 1$  时组合源自倾斜探针插入和隐失模式的惯量的估计量。入射测量阻抗的虚部现在可被估计为

$$[0118] \quad \text{Im}\{\hat{Z}_{\text{meas},0}\} = \omega \hat{L}_0 \quad (12)$$

[0119] 因而,发明人已认识到,通过使用在多个频率范围估计的多个特性阻抗及隐失模式惯量,可能检测倾斜探针插入,其中,在实施例中,多个频率范围从一组截断频率  $\omega_t$  确定。

[0120] 因而,在方法步骤中,上面描述的假设和考虑用于针对多个截断频率计算一组离散的、估计的特性阻抗,如针对耳用探针倾斜插入到堵塞耳模拟器内的图7及针对耳用探针垂直插入到堵塞耳模拟器内的图8中的圆点所示。如图7和8中所示,在此同样可清楚地看到,倾斜插入的耳用探针在估计的特性阻抗中引入误差。

[0121] 在另一步骤中,针对每一频率范围估计的特性阻抗的性态用于表征耳用探针插入倾斜度。因而,本发明方法利用在测得的探针响应的多个频率范围内得到的多个估计的特性阻抗评估耳用探针是否以倾斜方式插入因而可确定随后的反射率度量或其它诊断度量有多准确。更具体地,求取针对多个频率范围的特性阻抗中的每一个直到截断频率。更具体地,这通过使一多项式拟合所述一组离散的、估计的特性阻抗实现,如针对倾斜探针插入的图7及针对垂直探针插入的图8中所示。

[0122] 图9和10示出了与如上所述类似的方法,然而,聚焦于估计恢复因果关系的惯量在多个不同截断频率的离散值。因而,图9示出了垂直插入的耳用探针的惯量的估计的离散值,及图10示出了倾斜插入的耳用探针的惯量的估计的离散值。与特性阻抗的性态类似,惯量展现了在耳用探针被倾斜插入时惯量随截断频率变化。这与结合图5和6所述的假设一致。

[0123] 在实施例中,如图4B中的反射率变化可用于量化探针插入的倾斜度。实际上,基于估计的特性阻抗或惯量计算的任何变量将一定程度上反映这些变量随截断频率的变化因而反映耳用探针插入的倾斜。

[0124] 更具体地,所提及的截断频率从使所述阻抗或反射率度量的Hermitian对称频谱具有可微性的点确定。即,在有限长度的波导如耳道中,特性阻抗的估计很大程度上取决于通过截断频谱而对合成的时域传递函数重新采样,使得在每一截断频率  $\omega_t$  恢复可微性。这是在计算Hilbert变换时复制Hermitian对称频谱时的频率。这意味着仅存在有限数量(N)

的截断频率

$$[0125] \quad N \approx \left\lfloor \frac{4l\omega_m}{2\pi c} \right\rfloor \quad (13)$$

[0126] 其中 $l$ 为声负载的总长度， $\omega_m$ 为最大测量频率，及 $c$ 为声速。因而，该方法应用上面定义的一组给定截断频率以针对通过截断频率给出的多个频率范围中的每一频率范围估计多个特性阻抗。

[0127] 当已按如上所述估计特性阻抗及惯量时，两个获得的多项式可组合以描述耳用探针位置处入射测量阻抗

$$[0128] \quad \hat{Z}_{\text{meas},0} = 3\hat{Z}_0''\omega^2 + \hat{Z}_{0,\text{mouth}} + j\omega\hat{L}_0 \quad (14)$$

[0129] 为总结在此描述的方法，参考图11和12，其示出了在此描述的方法步骤的流程图。

[0130] 开始参考图11，检测耳用探针倾斜插入的方法可总结如下。

[0131] 在第一步骤201，耳用探针响应的度量被输入到信号处理器，如诊断工具的信号处理器。

[0132] 其次，在步骤202，信号处理器从测得的耳用探针响应针对多个频率范围估计一组特性阻抗的离散值，如结合分别针对倾斜插入的耳用探针及垂直插入的耳用探针的图7和8所述。

[0133] 在第三步骤203，一多项式拟合估计的特性阻抗的该组离散值。

[0134] 在第四步骤204，信号处理器可将拟合的多项式输出到诊断工具的显示器209，用于用户人工评估该多项式的性态，或者作为备选，在第四步骤204，通过例如求取拟合的多项式的斜率自动评估所述性态并应用下述判据：如果多项式具有实质上变化的性态（“是”通路205），探针被认为是倾斜插入（206）到耳道内。相反，如果斜率未递增（“否”通路207），探针被认为是垂直插入（208）到耳道内。

[0135] 现在参考图12，描述了本发明方法的另外的步骤。即，当已检测耳用探针插入的倾斜时，优选地，代替人工重新定位探针，信号处理器可自动补偿这样的倾斜。即，在实施例中，可选择补偿模式301。在该模式下，在另一步骤302中，估计的特性阻抗的所述一组离散值输入到信号处理器。

[0136] 在另一第三步骤303中，如上所述，一多项式与估计的特性阻抗的该组离散值拟合/相对应，在另一第四步骤304中，拟合的多项式近似于波导中入射阻抗的累积平均以估计入射测量阻抗。

[0137] 为得到想象中的贡献，如先前所述，另一第五步骤305包括输入测得的耳用探针响应的惯量的一组估计的离散值。在随后的第六步骤306中，一多项式与惯量的估计的离散值的一组离散值拟合。

[0138] 在最后的处理步骤307、308中，通过逼近在此描述的拟合的多项式估计的实部和虚部被组合以描述入射测量阻抗的估计量。其后，在步骤308，输出估计的入射阻抗以用在例如反射率度量中。

[0139] 因而，不受倾斜探针插入影响的反射率度量现在可通过下式计算

$$[0140] \quad R = \frac{Z_{\text{meas}} - \hat{Z}_{\text{meas},0}}{Z_{\text{meas}} + \hat{Z}_{\text{meas},0}^*} \quad (15)$$

[0141] 其中星号上标指复共轭。也可利用备选形式,如

$$[0142] \quad R = \frac{Z_{\text{meas}}/\hat{Z}_{\text{meas},0} - 1}{Z_{\text{meas}}/\hat{Z}_{\text{meas},0}^* + 1}$$

[0143] 主要差别为因不能通过表示倾斜耳用探针插入的喇叭载荷完美补偿纯延迟引起的反射率相位小差异。

[0144] 当已执行在此描述的及结合图11和12总结的步骤时,输出是已补偿的反射率度量,如图13中的点线所示。在图13中,倾斜耳用探针插入的已补偿的反射率度量(点线)的量值连同垂直插入的耳用探针的反射率度量的量值一起绘制。如图中所示,经补偿的反射率度量准确地跟随垂直插入的反射率度量。因而,本发明方法确实能够补偿倾斜耳用探针插入。

[0145] 图14还示出了,尽管在喇叭载荷中未考虑随频率而变的时延,垂直和倾斜探针插入的合成反射率群时延

$$[0146] \quad \tau_g = -\frac{d\angle R}{d\omega}$$

[0147] 非常相似并相较于图4A和4B的情形戏剧性地改善。

[0148] 在本发明的一方面,公开了配置成执行在此描述的方法步骤的诊断工具。该诊断工具在图15中示意性示出,并在所示设置中包括具有探针尖10的耳用探针1、101,探针尖10配置成在测试情形插入到波导2内和/或在听力测试情形插入到耳道102中,如结合图1A、1B、2A和2B所述。耳用探针1、101还包括配置成将刺激发射到耳道内的接收器18及配置成将从耳道发射的耳用探针响应测量为对刺激信号的响应的传声器14。诊断工具3还包括信号发生器34,配置成产生通过接收器18发射的刺激。因而,从信号发生器产生的刺激经传输线37传到接收器18,如图15中所示。为处理来自传声器14的测得的耳用探针响应,诊断工具配备成具有信号处理器35,其配置成经传输线36从传声器14接收测得的耳用探针响应。当输入到信号处理器35内时,测得的耳用探针响应在信号处理器35中按照在此描述的方法步骤进行处理。因而,诊断工具在信号处理器35中配置成检测倾斜耳用探针插入并在诊断听力情形补偿这样的倾斜探针插入。

[0149] 如图15中进一步所示,诊断工具配置成使得信号处理器35在接收到测得的耳用探针响应基础上配置成计算耳用探针插入倾斜度,其通过估计所估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化并经诊断工具3的显示器38向用户显示这样的变化实现。因而,如图15中所示,存在诊断工具3的显示器38与信号处理器35之间的通信40。

[0150] 在另一实施例中,诊断工具3配置成具有控制设置,其使用户能控制测得的耳用探针响应的信号处理或采取行动。因而,诊断工具可被设定为一个或多个模式,其中至少第一模式包括在显示器38中显示探针插入倾斜度。探针插入倾斜度如图16中所示进行显示,其中可以看到,倾斜被怎样示为估计的特性阻抗跨多个频率范围的变化,及其中二阶多项式已与估计的特性阻抗拟合。如先前描述的,倾斜插入的耳用探针通过针对多个频率范围估计的特性阻抗的性态特别表征,如图16中所示。因而,通过基于信号处理器35进行的计算图示这样的曲线,听觉病矫治专家或其它听觉护理专家可容易地评估耳用探针测量结果是否准确及是否能用于例如听力诊断的进一步评估。应当理解,图示探针插入倾斜度的其它适

当方式落入本发明的范围。即,探针插入倾斜度也可被示为反射率度量的曲线、已被超出的简单阈值或其它适当的手段。

[0151] 此外,诊断工具3可被设定为补偿模式,在此基础上,诊断工具执行根据先前描述的补偿方法的步骤。当被设定为补偿模式时,补偿方法步骤通过信号处理器35处理,在处理基础上,其将已补偿的反射率度量输出到诊断工具的显示器。

[0152] 因而,如图16中所示,诊断工具配置成连同一组控制行动41(例如包括“重新进行测量”、“重新定位探针”和/或“执行补偿”)一起显示(38)耳用探针的倾斜度42的度量。基于控制行动41,听觉病矫治专家可被引导就倾斜度的评估采取行动,及使控制装置39起作用以执行在此描述的补偿方法或者(作为备选)在已重新定位耳用探针之后通过启动信号发生器及信号处理器而重新进行测量。

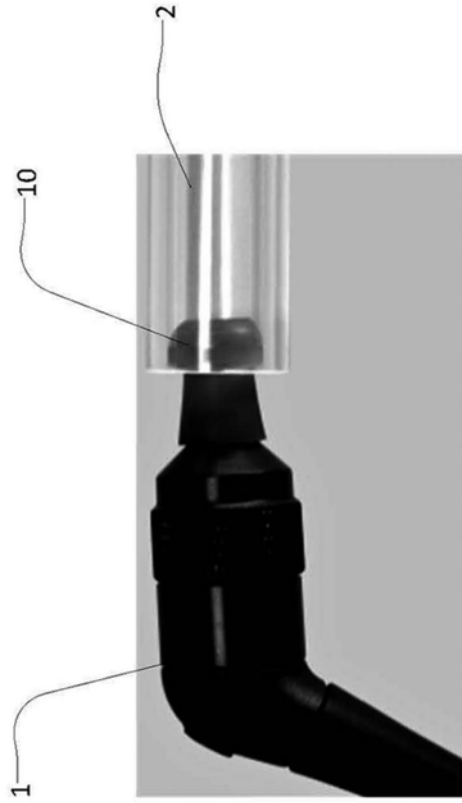


图1A

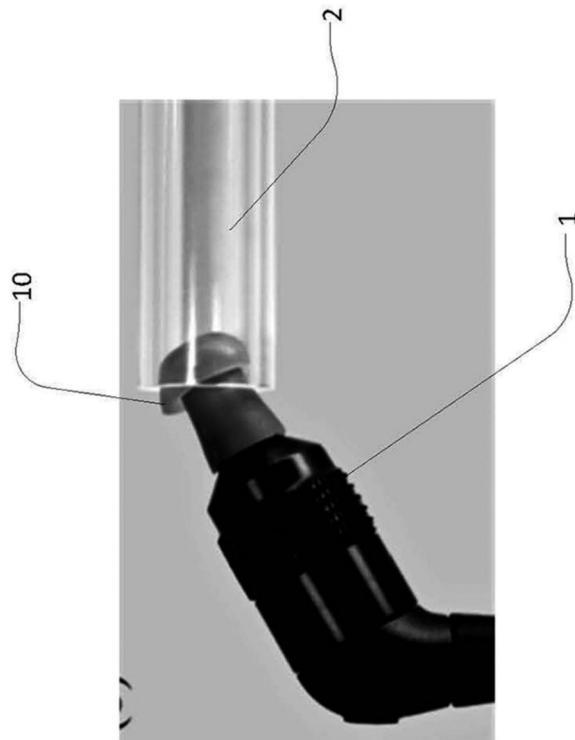


图1B

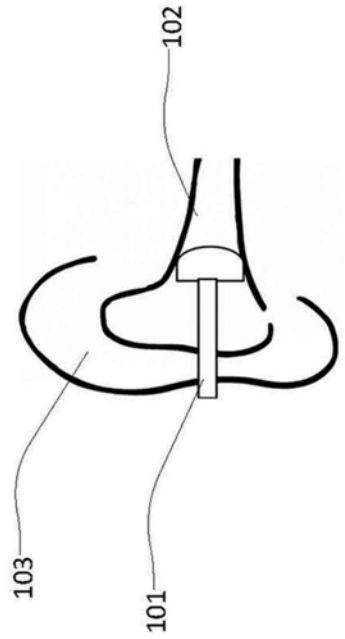


图2A

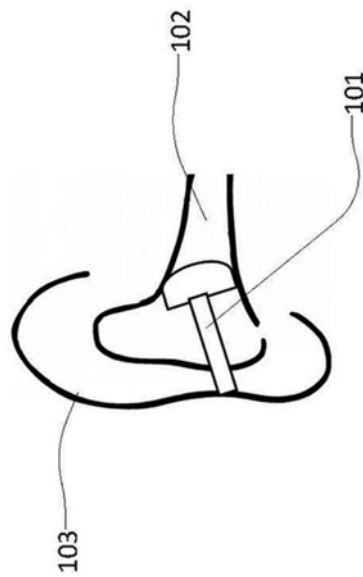


图2B

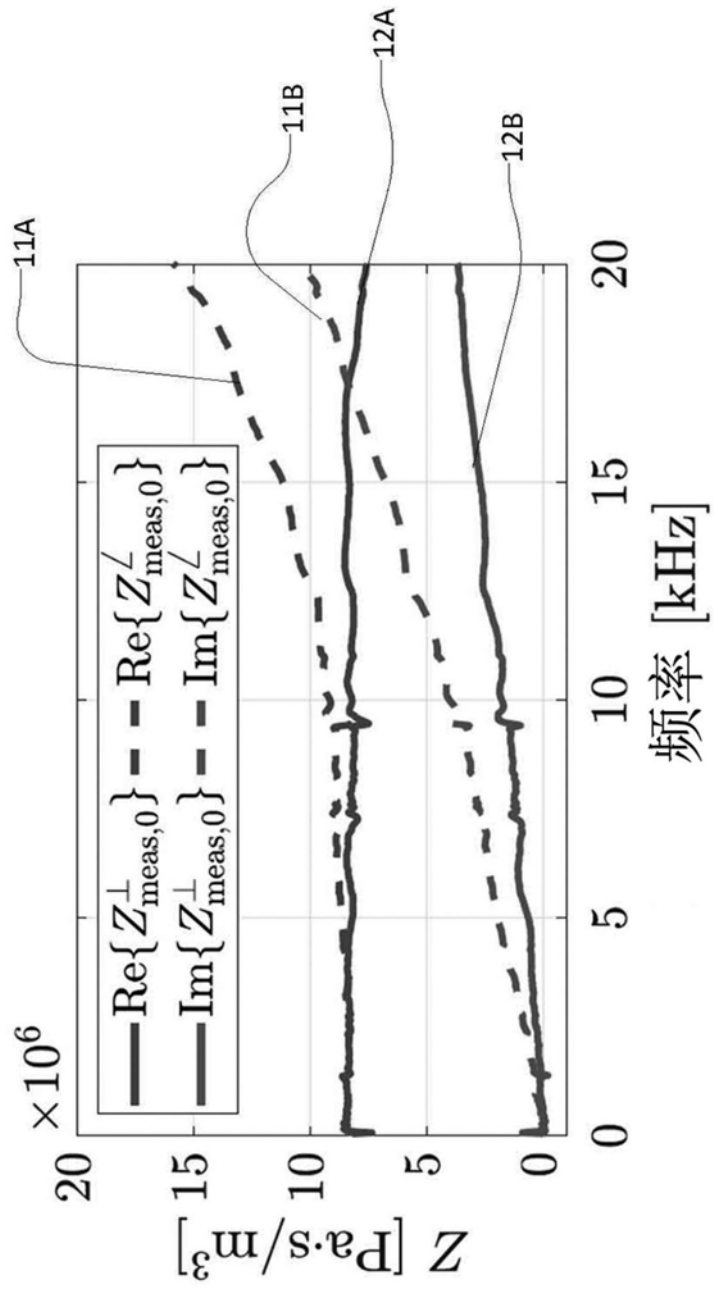


图3

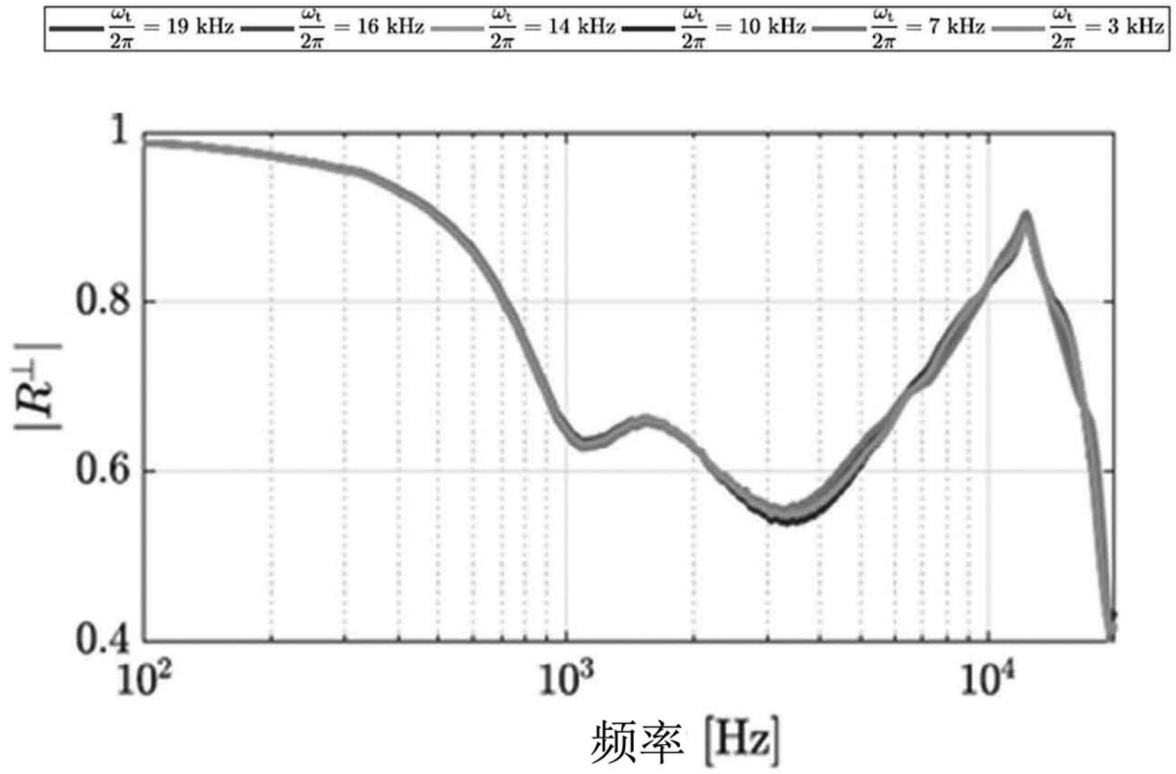


图4A

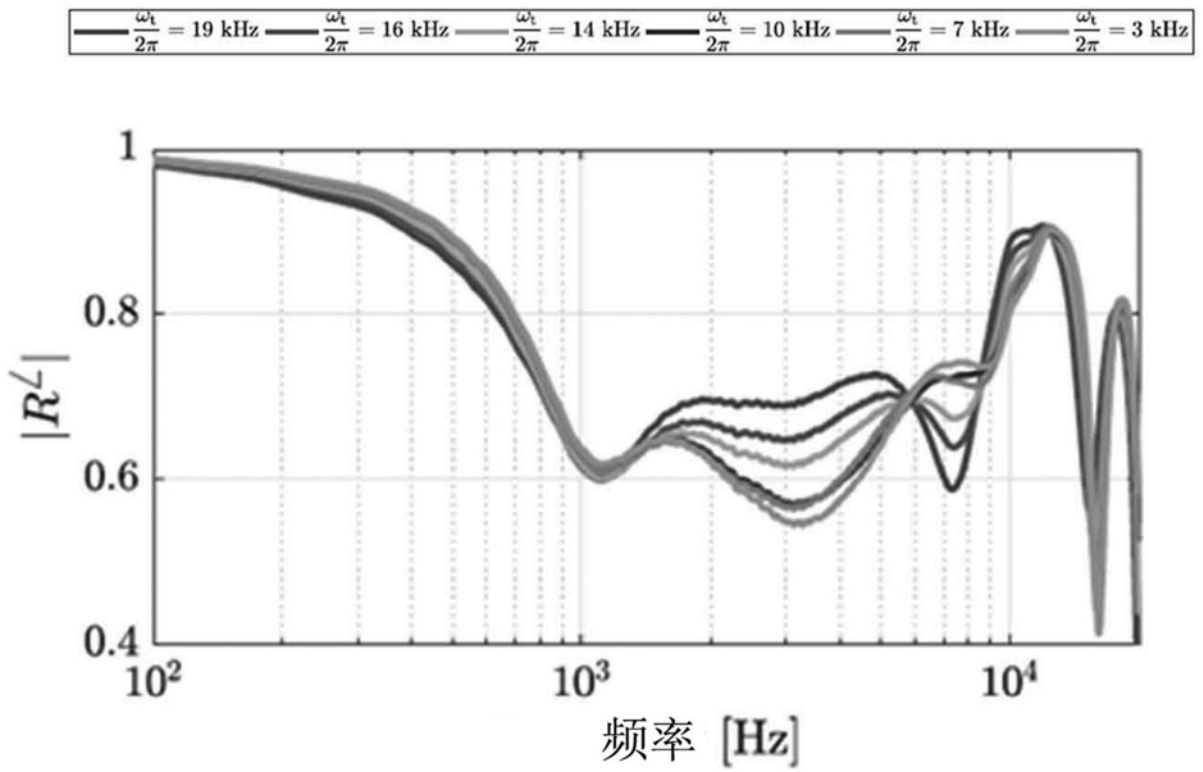


图4B

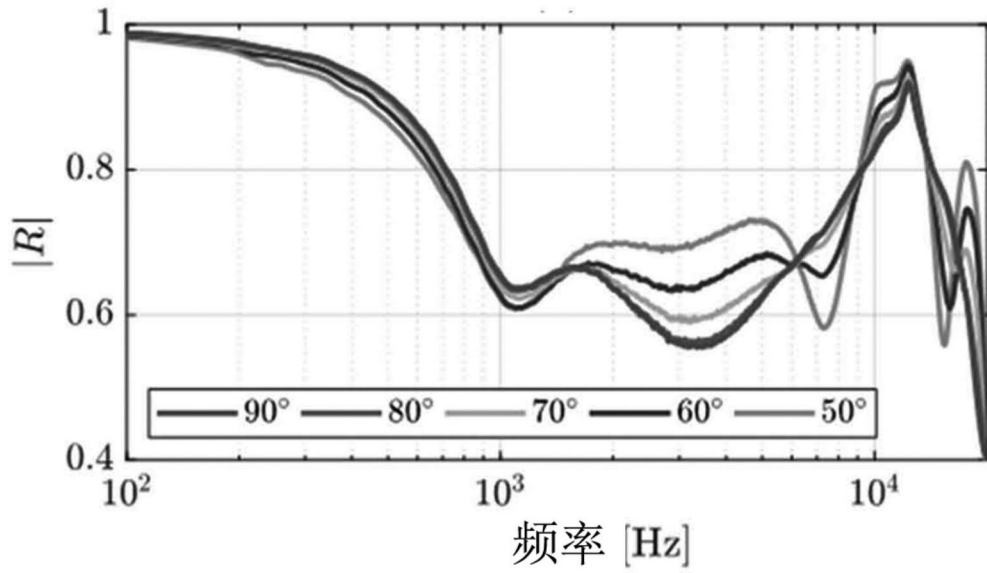


图4C

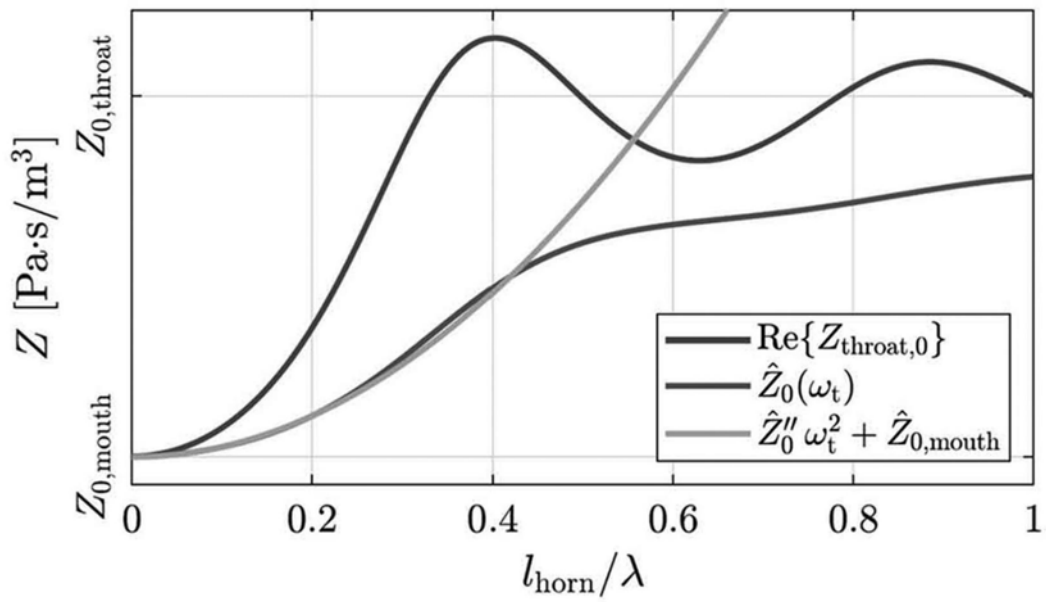


图5

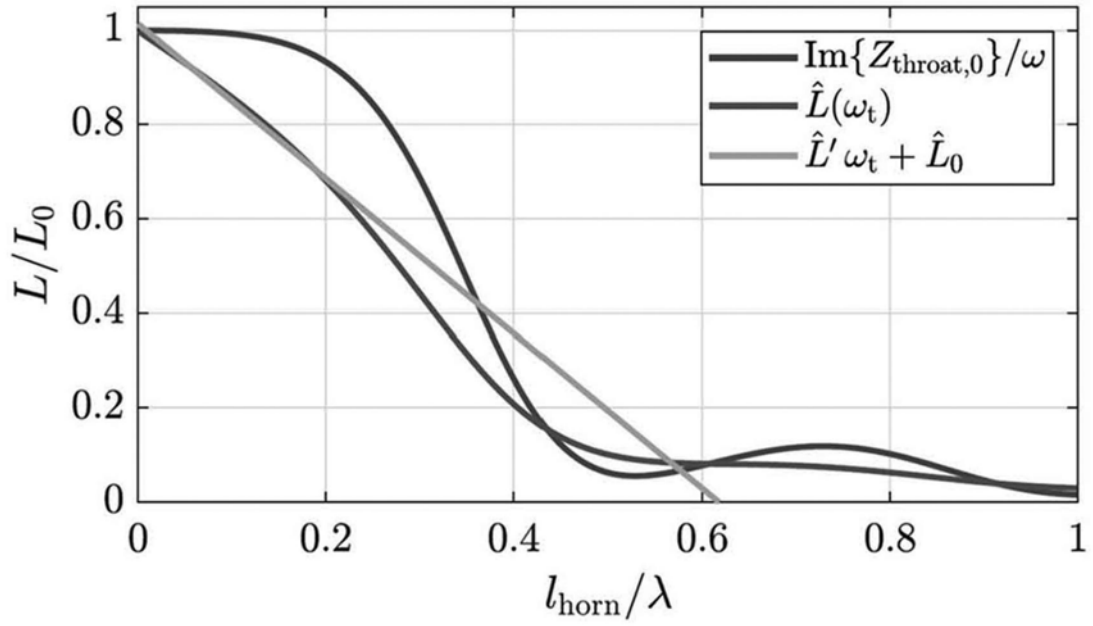


图6

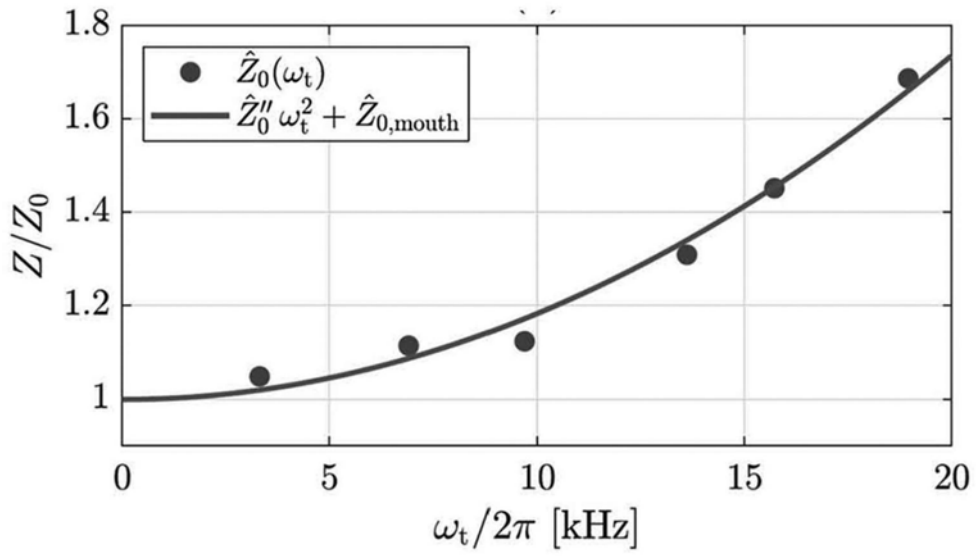


图7

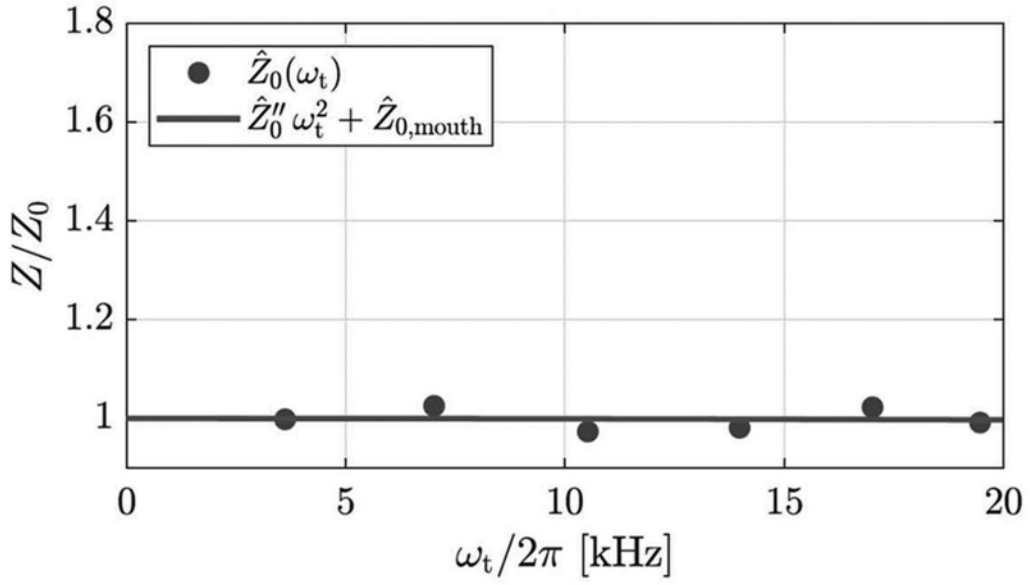


图8

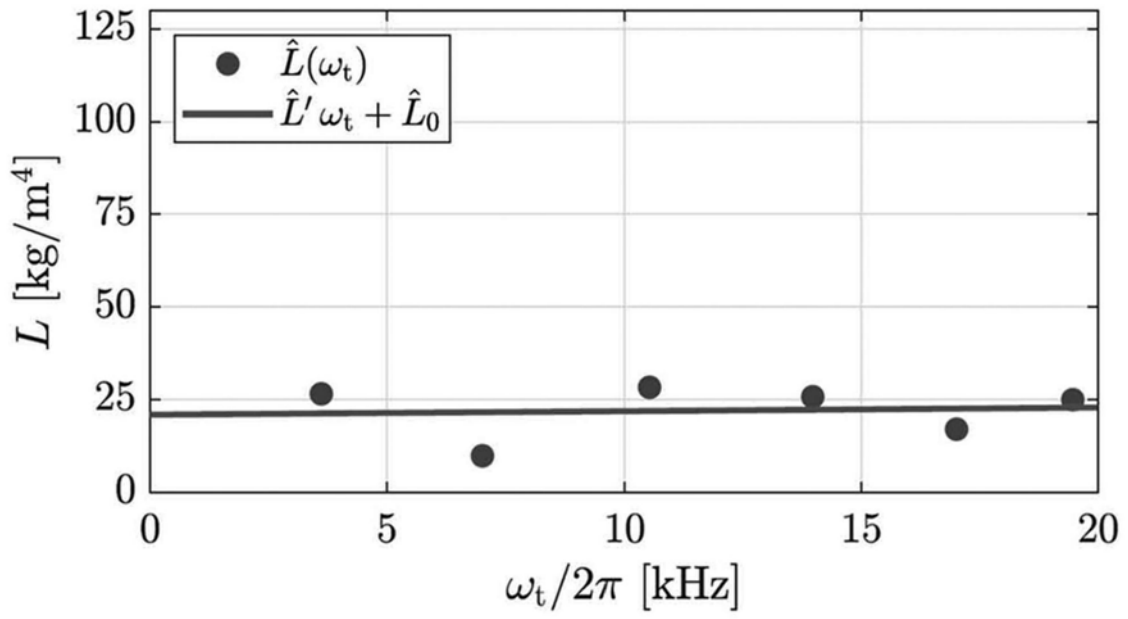


图9

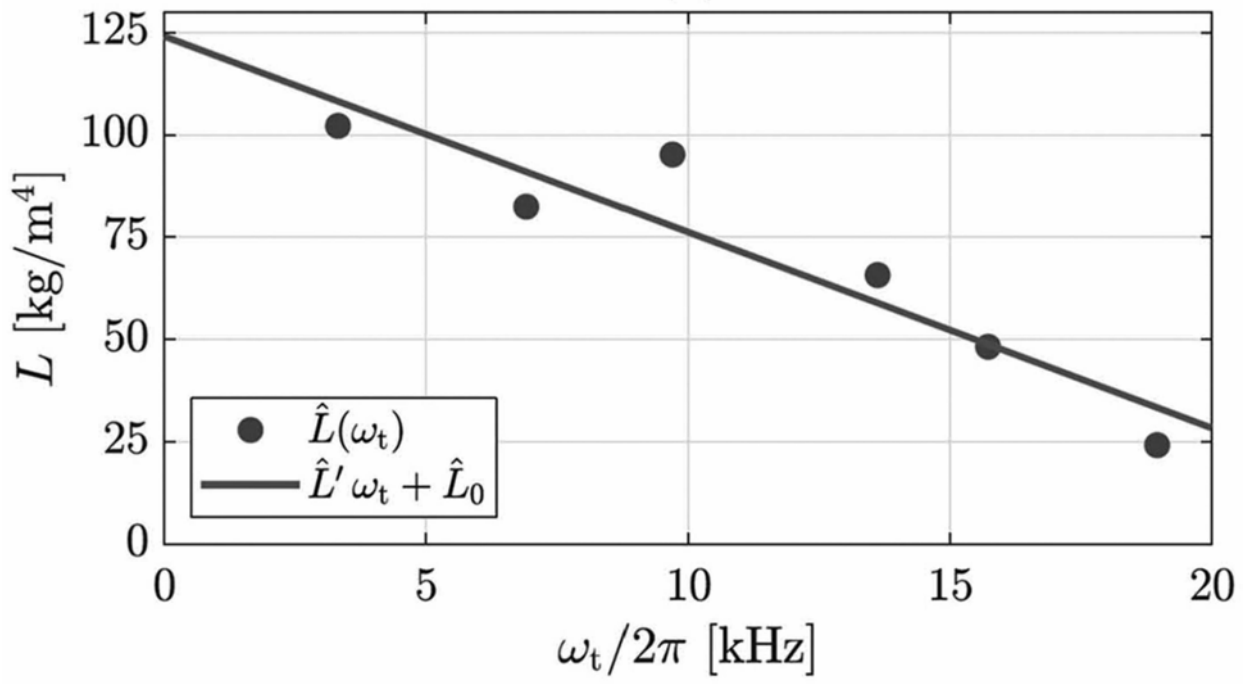


图10

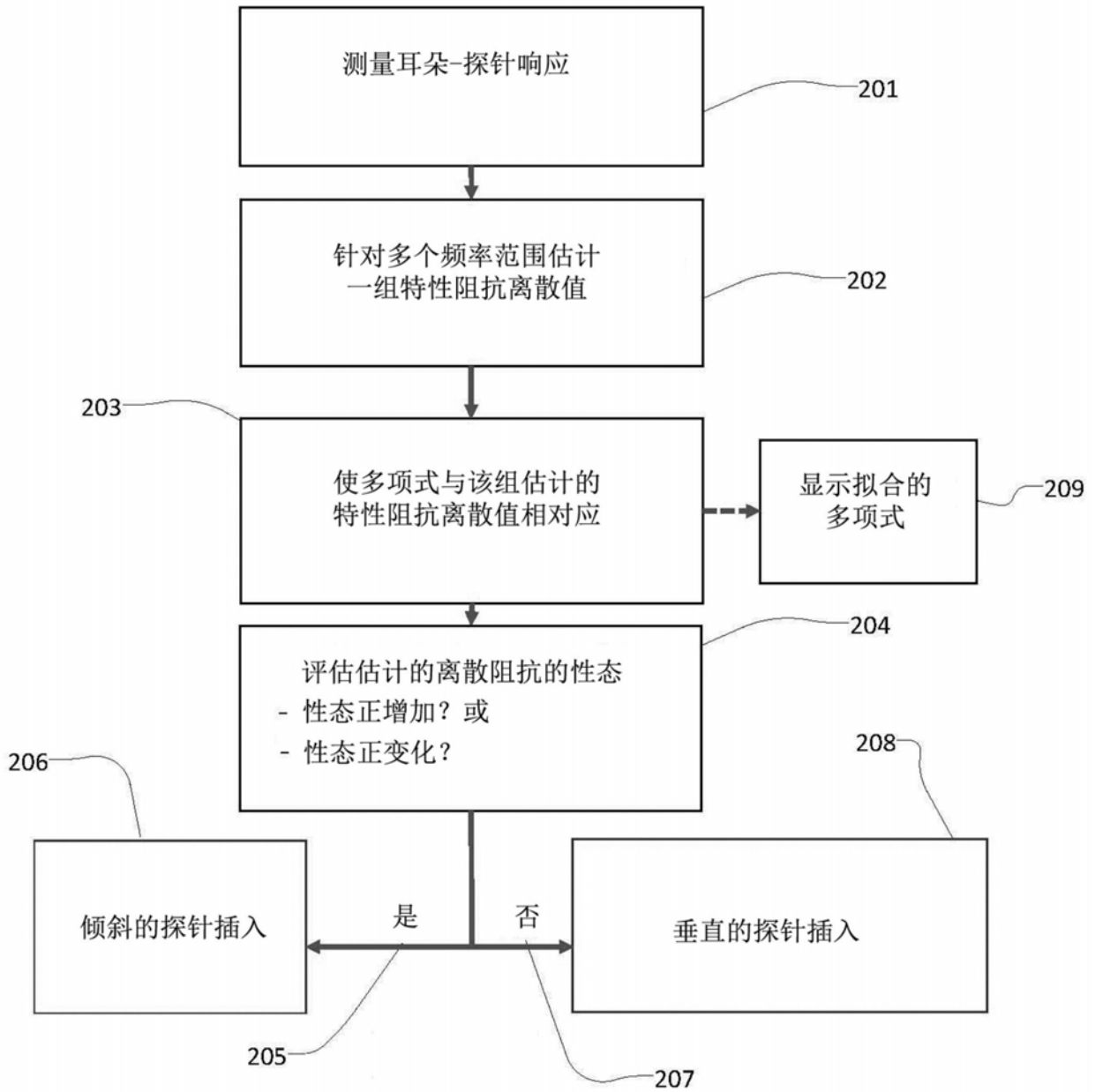


图11

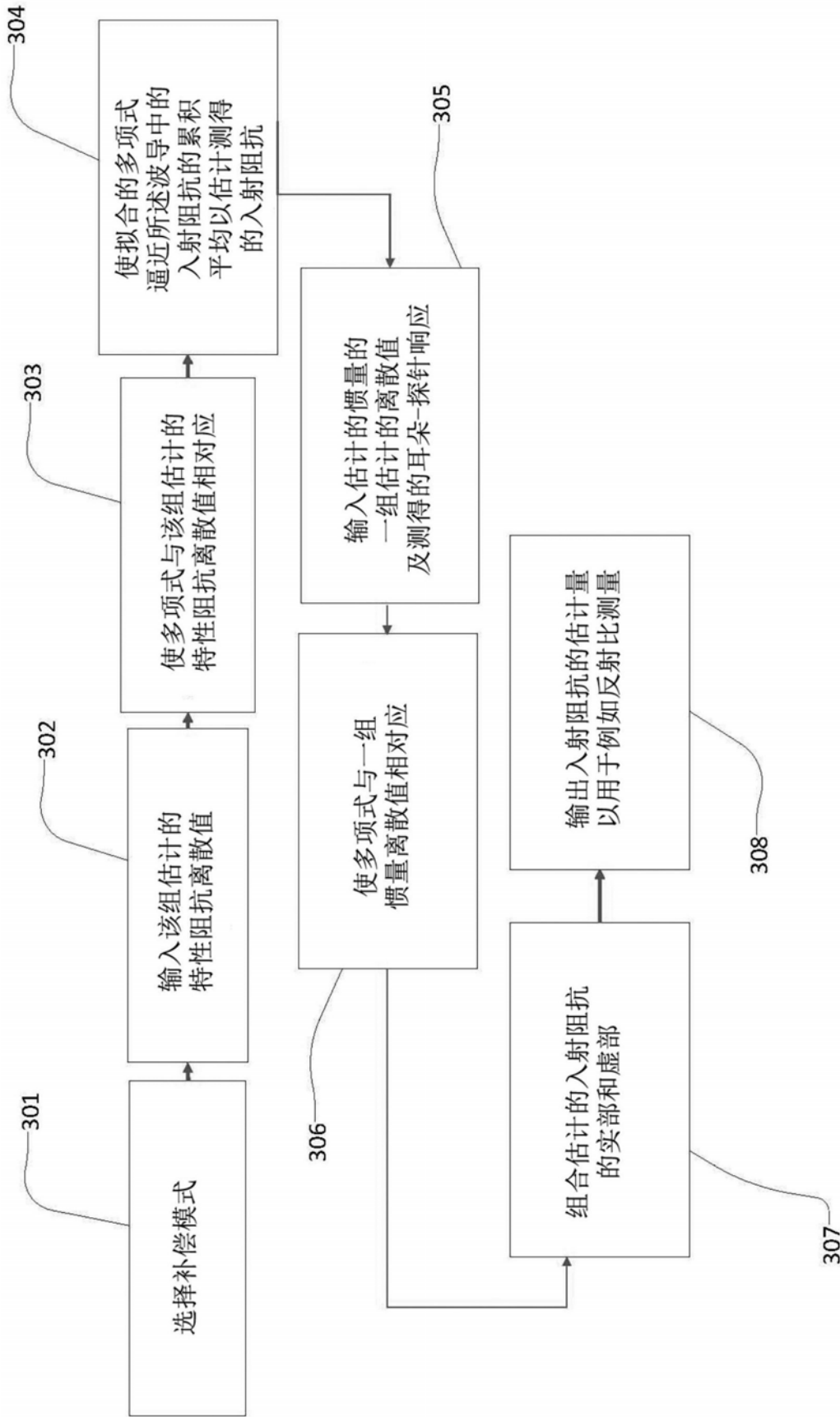


图12

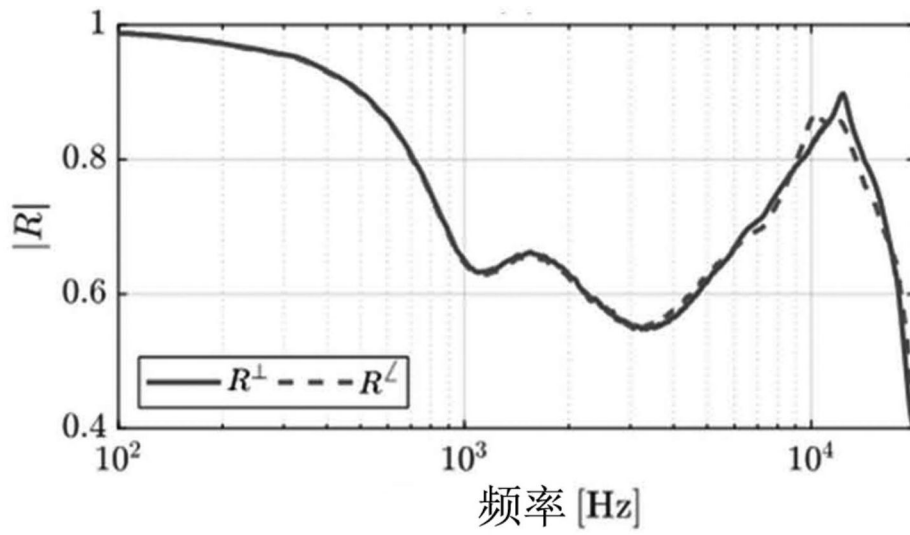


图13

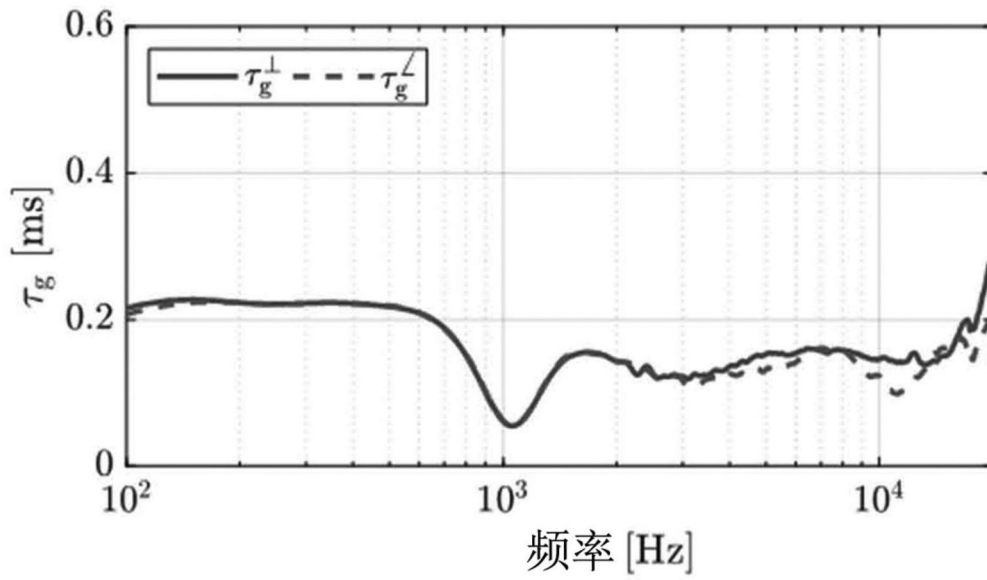


图14

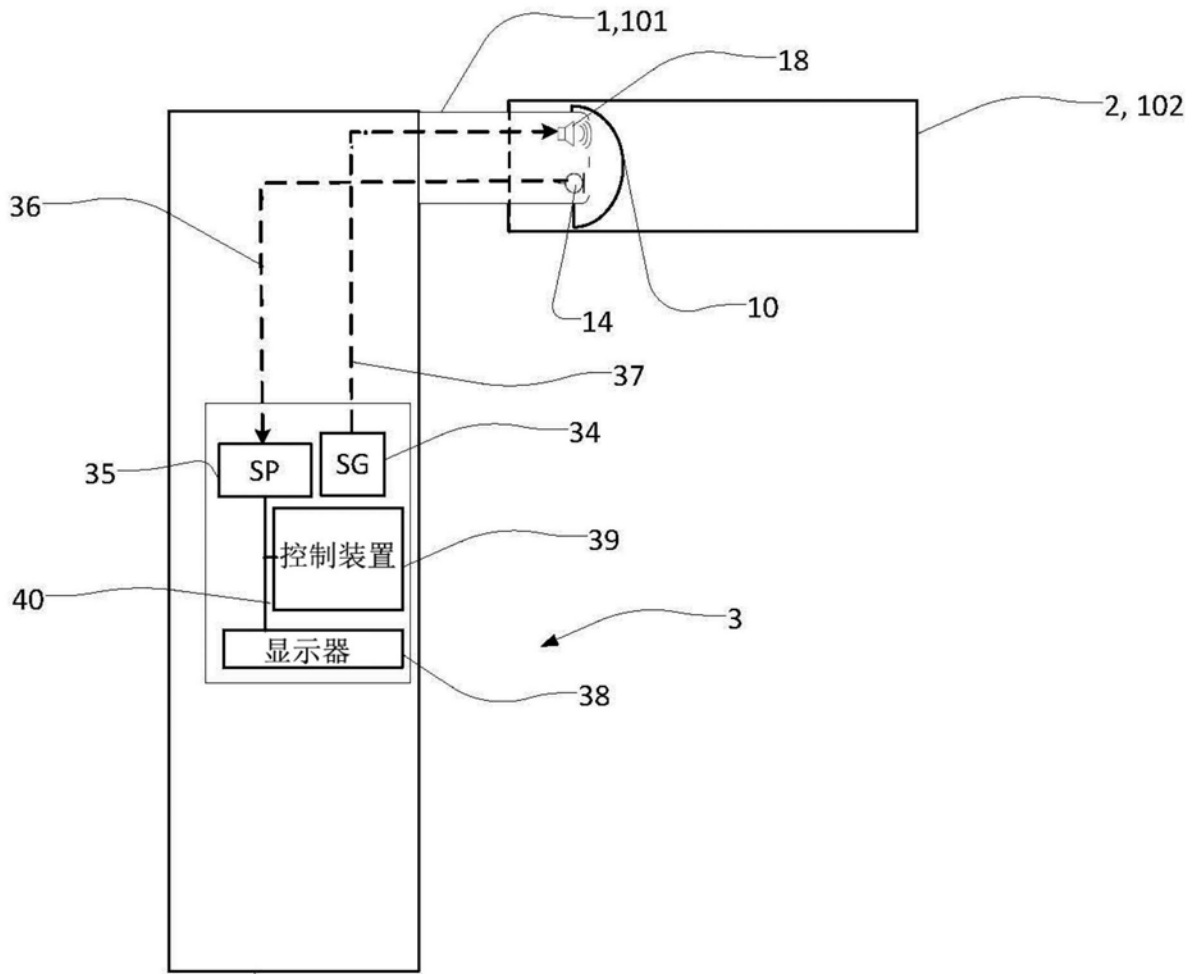


图15

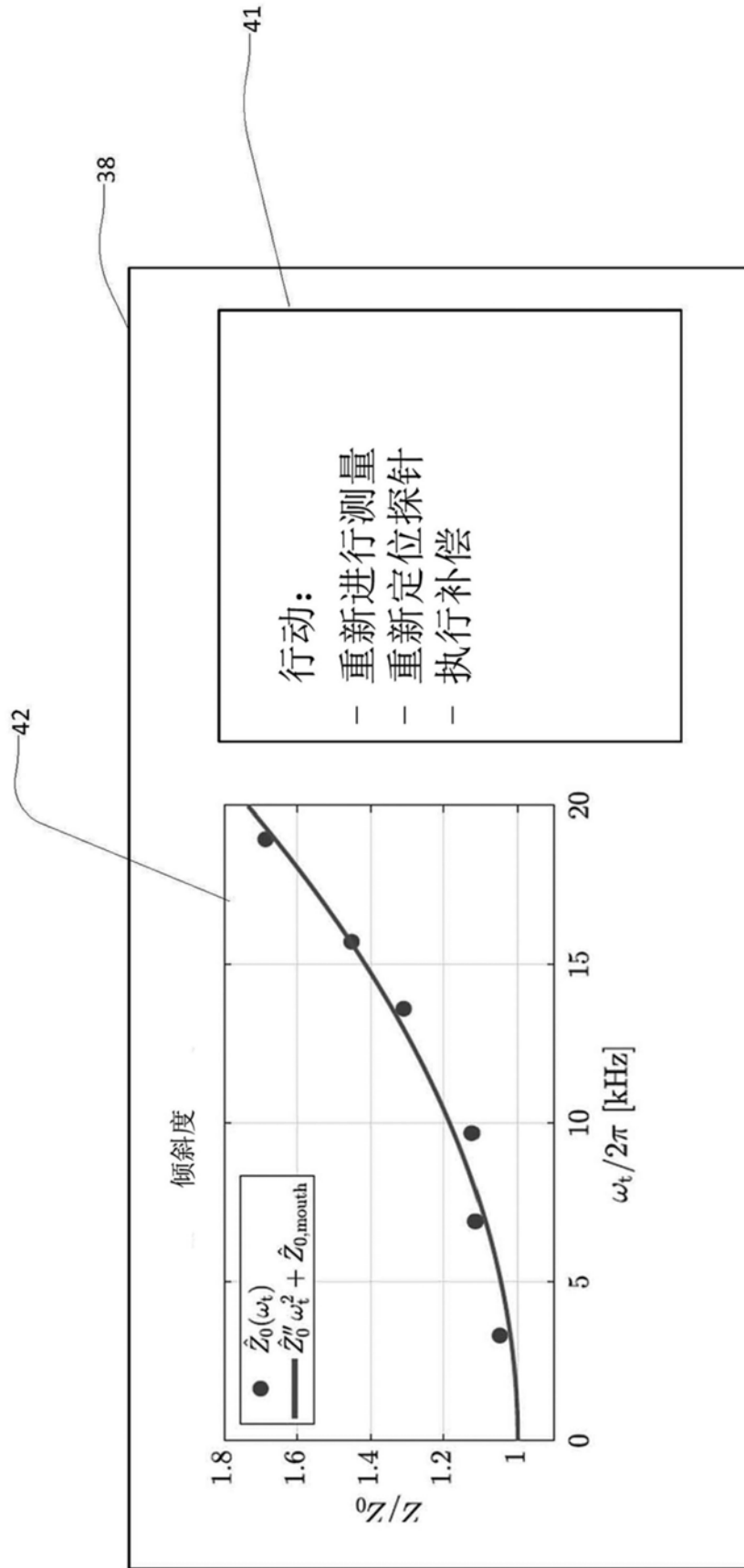


图16

专利名称(译)	用于检测和补偿耳用探针倾斜插入的装置及方法		
公开(公告)号	<a href="#">CN110772222A</a>	公开(公告)日	2020-02-11
申请号	CN201910683415.6	申请日	2019-07-26
[标]申请(专利权)人(译)	国际听力公司		
申请(专利权)人(译)	国际听力公司		
当前申请(专利权)人(译)	国际听力公司		
发明人	K·R·内尔高		
IPC分类号	A61B5/00 A61B5/12 A61B90/00		
CPC分类号	A61B5/125 A61B5/7221 A61B90/06 A61B2090/067 A61B5/12 A61B5/6817 A61B1/227 A61B5/126 A61B5/4041		
代理人(译)	陈建春		
优先权	2018185744 2018-07-26 EP		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>	<a href="#">SIPO</a>	

摘要(译)

本申请公开了用于检测和补偿耳用探针倾斜插入的装置及方法，其中所述方法包括步骤：将耳用探针插入到波导内；经所述耳用探针向所述波导内发射声刺激；测量耳用探针响应；在所述耳用探针响应的多个频率范围从测得的耳用探针响应估计所述波导的特性阻抗；利用针对所述多个频率范围中的每一频率范围估计的特性阻抗表征所述耳用探针的插入倾斜度。

