



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111800694 A

(43)申请公布日 2020.10.20

(21)申请号 202010614861.4

(22)申请日 2020.06.30

(71)申请人 深圳市豪恩声学股份有限公司
地址 518000 广东省深圳市坪山区规划四路6号

(72)发明人 刘涛 朱彪 王丽

(74)专利代理机构 深圳中一联合知识产权代理有限公司 44414
代理人 何丹灵

(51) Int. Cl.
H04R 1/10(2006.01)
H04R 29/00(2006.01)
G10K 11/175(2006.01)

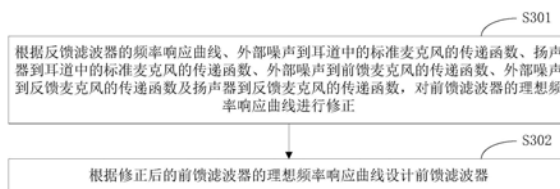
权利要求书3页 说明书11页 附图7页

(54)发明名称

一种主动降噪耳机的滤波器设计方法、装置及测试设备

(57)摘要

本申请适用于降噪耳机技术领域,提供一种主动降噪耳机的滤波器设计方法、装置及测试设备。本申请通过预先设计反馈滤波器,再根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,分析打开反馈滤波器进行降噪时对前馈滤波器的理想频率响应曲线的影响,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,从而可以根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计混合降噪效果符合预期的前馈滤波器。



1. 一种主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,包括:

根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正;

根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

2. 如权利要求1所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,所述根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,包括:

分别根据若干不同的反馈滤波器的频率响应曲线以及外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得与若干不同的反馈滤波器的频率响应曲线对应的若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

所述根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器,包括:

根据平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

3. 如权利要求1所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,所述根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,包括:

分别根据若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数以及反馈滤波器的频率响应曲线和外部噪声到前馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得与若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数对应的若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

所述根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器,包括:

根据平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

4. 如权利要求3所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,所述分别根据若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的

传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数以及反馈滤波器的频率响应曲线和外部噪声到前馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得与若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数对应的若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线之前,包括:

调节反馈麦克风的设置位置和反馈麦克风的声孔方向,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数;

或者,调节耳塞的出声嘴形状,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数;

或者,调节前声腔的泄露孔的设置位置、大小、形状或覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数。

5.如权利要求2至4任一项所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,所述从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线,包括:

从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择在预设频段内的幅度变化量大于第一幅度阈值且小于第二幅度阈值、相位变化量大于第一相位阈值且小于第二相位阈值的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

或者,从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择在预设频段内的每个预设倍频程理想幅频特性曲线的斜率的绝对值小于幅度变化率阈值、理想相频特性曲线的斜率的绝对值小于相位变化率阈值的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

其中,所述修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线包括修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线和理想相频特性曲线。

6.如权利要求1至4任一项所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,所述修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线的表达式为:

$$Hf_target_new = (Tae/Tde - Hb * Nb * Tab) / (Taf * (1 - Hb * Nb * Tdb));$$

$$Nb = 1 / (1 + Tdb * Hb);$$

其中, Hf_target_new 表示修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线, Hb 表示反馈滤波器的频率响应曲线, Tae 表示外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数, Tde 表示扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数, Taf 表示外部噪声到前馈麦克风的传递函数, Tab 表示外部噪声到反馈麦克风的传递函数, Tdb 表示扬声器到反馈麦克风的传递函数, Nb 表示通过反馈滤波器进行单独降噪时反馈麦克风处的降噪率。

7.如权利要求1至4任一项所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,还包括:

根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反

馈麦克风的传递函数、扬声器到反馈麦克风的传递函数及前馈滤波器的实际频率响应曲线,获得修正后的混合降噪效果曲线。

8. 如权利要求7所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法,其特征在于,所述修正后的混合降噪效果曲线的表达式为:

$$\text{ANC_hybrid}=1-(\text{eb}*\text{Hb}+\text{Taf}*\text{Hf})*\text{Tde}/\text{Tae};$$

$$\text{eb}=(\text{Tab}-\text{Tdb}*\text{Hf}*\text{Taf})*\text{Nb};$$

其中,ANC_hybrid表示修正后的混合降噪效果曲线,Hb表示反馈滤波器的频率响应曲线,Hf表示前馈滤波器的实际频率响应曲线,Tae表示外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数,Tde表示扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数,Taf表示外部噪声到前馈麦克风的传递函数,Tab表示外部噪声到反馈麦克风的传递函数,Tdb表示扬声器到反馈麦克风的传递函数,Nb表示通过反馈滤波器进行单独降噪时反馈麦克风处的降噪率,eb表示通过反馈滤波器和前馈滤波器进行混合降噪时反馈麦克风处的噪声。

9. 一种主动降噪耳机的滤波器设计装置,其特征在于,包括:

修正模块,用于根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正;

设计模块,用于根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

10. 一种测试设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,其特征在于,所述处理器执行所述计算机程序时实现如权利要求1至8任一项所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法的步骤。

一种主动降噪耳机的滤波器设计方法、装置及测试设备

技术领域

[0001] 本申请属于降噪耳机(Noise-Cancellation Headphone)技术领域,尤其涉及一种主动降噪耳机的滤波器设计方法、装置及测试设备。

背景技术

[0002] 降噪耳机是指能够降低外部环境中的噪声的耳机。降噪耳机包括主动降噪耳机和被动降噪耳机两种。主动降噪是通过扬声器产生与外部环境中的噪声幅度相同且相位反向的声波,来抵消外部环境中的噪声,降低对中低频段的噪声有明显的效果。被动降噪是通过耳套、耳塞等隔音部件来阻挡外部环境中的噪声,一般只对1kHz以上的高频噪声起作用。

[0003] 目前,为了实现良好的降噪效果,主动降噪耳机通常会同时使用前馈滤波器和反馈滤波器来实现混合降噪(hybrid noise eliminating)。然而,在设计前馈滤波器和反馈滤波器的过程中,会出现混合降噪的效果不是前馈滤波器的降噪效果和反馈滤波器的降噪效果的线性叠加、在某些频段的降噪效果与预期差异较大的问题。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本申请实施例提供了一种主动降噪耳机的滤波器设计方法、装置及测试设备,以解决现有技术中在设计前馈滤波器和反馈滤波器的过程中,会出现混合降噪的效果不是前馈滤波器的降噪效果和反馈滤波器的降噪效果的线性叠加、在某些频段的降噪效果与预期差异较大的问题。

[0005] 本申请实施例的第一方面提供了一种主动降噪耳机的滤波器设计方法,包括:

[0006] 根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正;

[0007] 根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

[0008] 本申请实施例的第二方面提供了一种主动降噪耳机的滤波器设计装置,包括:

[0009] 修正模块,用于根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正;

[0010] 设计模块,用于根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

[0011] 本申请实施例的第三方面提供了一种测试设备,包括存储器、处理器以及存储在所述存储器中并可在所述处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现如本申请实施例的第一方面所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法的步骤。

[0012] 本申请实施例的第四方面提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现如本申请实施例的第一方面所述的主动降噪耳机的滤波器设计方法的步骤。

[0013] 本申请实施例通过根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器,可以先单独设计反馈滤波器,然后根据反馈滤波器的频率响应曲线及与耳机相关的噪声传递函数,分析打开反馈滤波器进行降噪时对前馈滤波器的理想频率响应曲线的影响,获得修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线,从而可以根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计使得混合降噪效果符合预期的前馈滤波器。

[0014] 可以理解的是,上述第二方面至第四方面的有益效果可以参见上述第一方面中的相关描述,在此不再赘述。

附图说明

[0015] 为了更清楚地说明本申请实施例中的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0016] 图1是本申请实施例提供的主动降噪耳机的结构示意图;

[0017] 图2是本申请实施例提供的耳机测试系统的结构示意图;

[0018] 图3是本申请实施例提供的主动降噪耳机的滤波器设计方法的第一种流程示意图;

[0019] 图4是本申请实施例提供的主动降噪耳机的滤波器设计方法的第二种流程示意图;

[0020] 图5是本申请实施例提供的前馈滤波器的理想幅频特性曲线和修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线的示意图;

[0021] 图6是本申请实施例提供的前馈滤波器的理想相频特性曲线和修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线的示意图;

[0022] 图7是本申请实施例提供的主动降噪耳机的滤波器设计方法的第三种流程示意图;

[0023] 图8是本申请实施例提供的主动降噪耳机的滤波器设计方法的第四种流程示意图;

[0024] 图9是本申请实施例提供的前馈滤波器的降噪效果和反馈滤波器的降噪效果的线性叠加曲线以及修正后的混合降噪效果曲线的示意图;

[0025] 图10是本申请实施例提供的调节覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线和修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线的示意图;

[0026] 图11是本申请实施例提供的调节覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料后的前馈滤波器的理想相频特性曲线和修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线的示意图;

[0027] 图12是本申请实施例提供的滤波器设计装置的结构示意图;

[0028] 图13是本申请实施例提供的测试设备的结构示意图。

具体实施方式

[0029] 以下描述中,为了说明而不是为了限定,提出了诸如特定系统结构、技术之类的具体细节,以便透彻理解本申请实施例。然而,本领域的技术人员应当清楚,在没有这些具体细节的其它实施例中也可以实现本申请。在其它情况中,省略对众所周知的系统、装置、电路以及方法的详细说明,以免不必要的细节妨碍本申请的描述。

[0030] 应当理解,当在本申请说明书和所附权利要求书中使用时,术语“包括”指示所描述特征、整体、步骤、操作、元素和/或组件的存在,但并不排除一个或多个其它特征、整体、步骤、操作、元素、组件和/或其集合的存在或添加。

[0031] 另外,在本申请说明书和所附权利要求书的描述中,术语“第一”、“第二”、“第三”等仅用于区分描述,而不能理解为指示或暗示相对重要性。

[0032] 在本申请说明书中描述的参考“一个实施例”或“一些实施例”等意味着在本申请的一个或多个实施例中包括结合该实施例描述的特定特征、结构或特点。由此,在本说明书中的不同之处出现的语句“在一个实施例中”、“在一些实施例中”、“在其他一些实施例中”、“在另外一些实施例中”等不是必然都参考相同的实施例,而是意味着“一个或多个但不是所有的实施例”,除非是以其他方式另外特别强调。术语“包括”、“包含”、“具有”及它们的变形都意味着“包括但不限于”,除非是以其他方式另外特别强调。

[0033] 本申请实施例一种主动降噪耳机的滤波器设计方法,用于设计使得主动降噪耳机的混合降噪效果符合预期的反馈滤波器和前馈滤波器。滤波器设计方法可以应用于对主动降噪耳机中各部件的性能参数进行设计和计算的测试设备,可以由测试设备的处理器在运行计算机程序时执行。测试设备可以是平板电脑、笔记本电脑、桌上型计算机、个人计算机(personal computer,PC)等具有数据处理和计算功能的计算设备,本申请实施例对测试设备的具体类型不作任何限制。

[0034] 在应用中,主动降噪耳机一般包括前馈麦克风、前馈滤波器、一或两个扬声器、反馈麦克风和反馈滤波器等部件。当主动降噪耳机为蓝牙耳机时,其还可以包括可充电电池和无线通信模块;当主动降噪耳机为有线耳机时,其还可以包括耳机导线和耳机接口,本申请实施例对主动降噪耳机的具体类型不作任何限制。

[0035] 如图1所示,示例性的示出了一种主动降噪耳机的结构示意图;其中,主动降噪耳机10包括前馈麦克风1、前馈滤波器2、扬声器3、反馈麦克风4及反馈滤波器5,前馈麦克风1、前馈滤波器2、扬声器3、反馈麦克风4及反馈滤波器5之间的实线箭头表示模拟或数字信号的传输方向,外部噪声6与前馈麦克风1、反馈麦克风4及标准麦克风7之间的虚线箭头表示噪声的传输方向,扬声器3与反馈麦克风4和标准麦克风7之间的虚线箭头表示声音信号的传输方向。

[0036] 在应用中,在对主动降噪耳机的滤波器进行设计的过程中,需要使用耳机测试系统对主动降噪耳机的性能进行测试。耳机测试系统一般包括用于音箱、仿真人头(仿真人头包括一或两个仿真耳)、音频分析仪及测试设备等。音箱用于发出噪声,以模拟外部环境中的噪声。主动降噪耳机的耳塞插入仿真耳的耳道,以模拟主动降噪耳机的耳机插入人耳的耳道的场景。音频分析仪用于分别对音箱输出的噪声以及主动降噪耳机和仿真耳输出的声音信号进行分析,以获得噪声和声音信号的频率、幅度、相位、信噪比等参数。测试设备用于对这些参数进行分析和计算,获得外部噪声(即音箱输出的噪声)到耳道中的标准麦克风的

传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数、扬声器到反馈麦克风的传递函数等与耳机相关的噪声传递函数,以实现滤波器设计方法。

[0037] 在应用中,耳道可以是仿真耳的耳道,也可以是人耳的耳道。可以将仿真耳替换为人耳,以获得人耳佩戴主动降噪耳机时,外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数、扬声器到反馈麦克风的传递函数等与耳机相关的噪声传递函数。通过将仿真耳替换为人耳,可以实现与人耳匹配的个性化的主动降噪耳机的设计,可以满足用户的个性化定制需求。

[0038] 如图2所示,示例性的示出了一种耳机测试系统的结构示意图;其中,耳机测试系统包括音箱20、仿真人头30、音频分析仪及测试设备(图中未示出),仿真人头30包括仿真耳31。

[0039] 如图3所示,本申请实施例提供的主动降噪耳机的滤波器设计方法,包括:

[0040] 步骤S301、根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正。

[0041] 在应用中,反馈滤波器在执行步骤S301之前预先设计完成,反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数均为通过耳机测试系统预先测量得到的已知参数。由于同时打开反馈滤波器和前馈滤波器时,反馈滤波器会对前馈滤波器的理想频率响应曲线产生一定的影响,因此,在设计前馈滤波器时,需要将反馈滤波器对前馈滤波器的理想频率响应曲线产生的影响考虑在内,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正。

[0042] 在一个实施例中,所述修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线的表达式为:

[0043] $Hf_target_new = (Tae/Tde - Hb * Nb * Tab) / (Taf * (1 - Hb * Nb * Tdb))$;

[0044] $Nb = 1 / (1 + Tdb * Hb)$;

[0045] 其中, Hf_target_new 表示修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线, Hb 表示反馈滤波器的频率响应曲线, Tae 表示外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数, Tde 表示扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数, Taf 表示外部噪声到前馈麦克风的传递函数, Tab 表示外部噪声到反馈麦克风的传递函数, Tdb 表示扬声器到反馈麦克风的传递函数, Nb 表示通过反馈滤波器进行单独降噪时反馈麦克风处的降噪率。

[0046] 在应用中,修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线的表达式的推导过程如下:

[0047] 1) 设耳道中的标准麦克风处的总残余噪声为0,其表达式为:

[0048] $Tae - eb1 * Hb * Tde - Taf * Hf_target_new * Tde = 0$; (表达式一)

[0049] 2) 通过反馈滤波器和前馈滤波器进行混合降噪时反馈麦克风处的理想噪声的表达式为:

[0050] $eb1 = (Tab - Tdb * Hf_target_new * Taf) * Nb$; (表达式二)

[0051] 3) 将表达式二代入表达式一得到修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线的表

达式;

[0052] 其中,eb1表示通过反馈滤波器和前馈滤波器进行混合降噪时反馈麦克风处的理想噪声。

[0053] 步骤S302、根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

[0054] 在应用中,在获得修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线之后,即可根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线确定前馈滤波器的类型、阶数和具体滤波器系数。滤波器类型可以是有限脉冲响应(Finite Impulse Response,FIR)滤波器,也可以是无限冲击响应(Infinite Impulse Response,IIR)滤波器。通过通用的各类滤波器设计手段,取得在目标降噪频带与修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线最接近的滤波器系数。

[0055] 如图4所示,在一个实施例中,步骤S301包括:

[0056] 步骤S401、分别根据若干不同的反馈滤波器的频率响应曲线以及外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得与若干不同的反馈滤波器的频率响应曲线对应的若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

[0057] 步骤S402、从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

[0058] 步骤S302包括:

[0059] 步骤S403、根据平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

[0060] 在应用中,在预先设计反馈滤波器时,符合设计要求的反馈滤波器的数量可能不止一个。当存在两个及以上符合设计要求的反馈滤波器时,可以分别根据每个反馈滤波器的频率响应曲线以及已知参数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得与每个反馈滤波器对应的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线。然后从中选择一个平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线,作为最终确定的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线。

[0061] 在应用中,频率响应曲线通常包括幅频特性曲线和相频特性曲线,对应的,修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线包括修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线和理想相频特性曲线。

[0062] 在一个实施例中,平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线包括:

[0063] 在预设频段内的幅度变化量大于第一幅度阈值且小于第二幅度阈值的修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线;以及

[0064] 在预设频段内的相位变化量大于第一相位阈值且小于第二相位阈值的修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线。

[0065] 在另一个实施例中,平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线包括:

[0066] 在预设频段内的每个预设倍频程的斜率的绝对值小于幅度变化率阈值的修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线;以及

[0067] 在预设频段内的每个预设倍频程的斜率的绝对值小于相位变化率阈值的修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线。

[0068] 在应用中,预设频段、第一幅度阈值、第二幅度阈值、第一相位阈值、第二相位阈值、预设倍频程、幅度变化率阈值以及相位变化率阈值的体数值都可以预先根据实际需要进行设置。例如,预设频段可以设置为100Hz(赫兹)~300Hz,预设倍频程可以设置为1/3倍频程,幅度变化率阈值可以设置为4dB per 1/3octave(即4分贝每1/3倍频程),相位变化率阈值可以设置为15° per 1/3octave(即15度每1/3倍频程)。

[0069] 在一个实施例中,所述第一幅度阈值为在预设频段内的平均幅度值与下限幅度阈值之差,所述第二幅度阈值为预设频段内的平均幅度值与上限幅度阈值之和;

[0070] 所述第一相位阈值为在预设频段内的平均相位值与下限相位阈值之差,所述第二相位阈值为预设频段内的平均相位值与上限相位阈值之和。

[0071] 在应用中,对于每条修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线,第一幅度阈值等于该条曲线中预设频段内的平均幅度值与预先设置的下限幅度阈值之差,第二幅度阈值等于该条曲线中预设频段内的平均幅度值与预先设置的上限幅度阈值之和。同理,对于每条修正后的前馈滤波器的理想相位特性曲线,第一相位阈值等于该条曲线中预设频段内的平均相位值与预先设置的下限相位阈值之差,第二相位阈值等于该条曲线中预设频段内的平均相位值与预先设置的上限相位阈值之和。下限幅度阈值、上限幅度阈值、下限相位阈值和上限相位阈值都可以预先根据实际需要进行设置,例如,下限幅度阈值和上限幅度阈值都可以设置为8dB(分贝)、下限相位阈值和上限相位阈值都可以设置为30°(度)。

[0072] 如图5所示,示例性的示出了通过前馈滤波器进行单独降噪时前馈滤波器的理想幅频特性曲线(即修正前的前馈滤波器的理想幅频特性曲线)51和修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线52;其中,修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线52在80Hz左右幅度波动较大。

[0073] 如图6所示,示例性的示出了通过前馈滤波器进行单独降噪时前馈滤波器的理想相频特性曲线(即修正前的前馈滤波器的理想相频特性曲线)61和修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线62;其中,修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线62在100Hz左右相位波动较大。

[0074] 如图7所示,在一个实施例中,步骤S301包括:

[0075] 步骤S701、分别根据若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数以及反馈滤波器的频率响应曲线和外部噪声到前馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得与若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数对应的若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

[0076] 步骤S702、从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;

[0077] 步骤S302,包括:

[0078] 步骤S703、根据平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线

设计前馈滤波器。

[0079] 在应用中,在预先测量得到的已知参数之前,需要预先对主动降噪耳机的反馈麦克风的设置位置、反馈麦克风的声孔方向、耳塞的出声嘴形状、前声腔的泄露孔的设置位置、大小、形状以及覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料进行设计。这些硬件结构设计直接影响外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数的相对大小和相位关系。因此,可以通过改变主动降噪耳机的硬件结构设计,来改变这些已知参数。当存在两种及以上不同的硬件结构设计方案时,从而可以分别根据测量得到与每种硬件结构设计方案对应的一组外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数以及反馈滤波器的频率响应曲线和外部噪声到前馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,获得每组外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数对应的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线。然后从中选择一个平坦度符合预设要求的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线,作为最终确定的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线。

[0080] 在一个实施例中,步骤S701之前包括:

[0081] 调节反馈麦克风的设置位置和反馈麦克风的声孔方向,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数;

[0082] 或者,调节耳塞的出声嘴形状,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数;

[0083] 或者,调节前声腔的泄露孔的设置位置、大小、形状或覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数。

[0084] 在应用中,调节反馈麦克风的设置位置和反馈麦克风的声孔方向,或者,调节耳塞的出声嘴形状,或者,调节前声腔的泄露孔的设置位置、大小、形状或覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料,都会直接影响外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数的相对大小和相位关系,进而影响修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线的形状。

[0085] 在一个实施例中,步骤S402和步骤S702包括:

[0086] 从若干修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线中选择在预设频段内的幅度变化量的绝对值小于或等于幅度阈值且相位变化量的绝对值小于或等于相位阈值的修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线;其中,所述修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线包括修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线和理想相频特性曲线。

[0087] 在应用中,步骤S402和步骤S702所执行的操作相同,区别仅在于二者的执行时机

不同,步骤S402在步骤S401之后执行,步骤S702在步骤S701之后执行;同理,步骤S403和步骤S703所执行的操作相同,区别仅在于二者的执行时机不同,步骤S403在步骤S402之后执行,步骤S703在步骤S702之后执行。

[0088] 如图8所示,在一个实施例中,步骤S302之后,还包括:

[0089] 步骤S801、根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数、扬声器到反馈麦克风的传递函数及前馈滤波器的实际频率响应曲线,获得修正后的混合降噪效果曲线。

[0090] 在应用中,前馈滤波器的实际频率响应曲线是根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器之后,在同时通过反馈滤波器和前馈滤波器进行混合降噪时,根据耳机测试系统实际测量得到的前馈滤波器的频率响应绘制的频率响应曲线。修正后的混合降噪效果曲线是根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器之后,在同时通过反馈滤波器和前馈滤波器进行混合降噪时,根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数、扬声器到反馈麦克风的传递函数及前馈滤波器的实际频率响应曲线计算得到的用于反应反馈滤波器和前馈滤波器的混合降噪效果的曲线,即得到修正后的混合降噪效果曲线。修正后的混合降噪效果曲线可以包括幅频特性曲线和相频特性曲线。

[0091] 在一个实施例中,所述修正后的混合降噪效果曲线的表达式为:

[0092] $ANC_hybrid = 1 - (eb * H_b + T_{af} * H_f) * T_{de} / T_{ae};$

[0093] $eb = (T_{ab} - T_{db} * H_f * T_{af}) * N_b;$

[0094] 其中,ANC_hybrid表示修正后的混合降噪效果曲线,H_b表示反馈滤波器的频率响应曲线,H_f表示前馈滤波器的实际频率响应曲线,T_{ae}表示外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数,T_{de}表示扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数,T_{af}表示外部噪声到前馈麦克风的传递函数,T_{ab}表示外部噪声到反馈麦克风的传递函数,T_{db}表示扬声器到反馈麦克风的传递函数,N_b表示通过反馈滤波器进行单独降噪时反馈麦克风处的降噪率,eb表示通过反馈滤波器和前馈滤波器进行混合降噪时反馈麦克风处的噪声。

[0095] 在应用中,前馈滤波器的实际频率响应曲线可以包括前馈滤波器的实际幅频特性曲线和实际相频特性曲线。

[0096] 如图9所示,示例性的示出了前馈滤波器的降噪效果和反馈滤波器的降噪效果的线性叠加曲线91以及修正后的混合降噪效果曲线92。

[0097] 如图10所示,示例性的示出了调节覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线101和修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线102;其中,修正后的前馈滤波器的理想幅频特性曲线102幅度波动较小。

[0098] 如图11所示,示例性的示出了调节覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料后的前馈滤波器的理想相频特性曲线111和修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线112;其中,修正后的前馈滤波器的理想相频特性曲线112相位波动较小。

[0099] 本申请实施例通过根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到前馈麦克风的传

递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正,根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器,可以先单独设计反馈滤波器,然后根据反馈滤波器的频率响应曲线及与耳机相关的噪声传递函数,分析打开反馈滤波器进行降噪时对前馈滤波器的理想频率响应曲线的影响,获得修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线,从而可以根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计使得混合降噪效果符合预期的前馈滤波器。

[0100] 应理解,上述实施例中各步骤的序号的大小并不意味着执行顺序的先后,各过程的执行顺序应以其功能和内在逻辑确定,而不对本申请实施例的实施过程构成任何限定。

[0101] 本申请实施例还提供一种主动降噪耳机的滤波器设计装置,用于执行上述主动降噪耳机的滤波器设计方法实施例中的步骤。主动降噪耳机的滤波器设计装置可以是测试设备中的虚拟装置(virtual appliance),由测试设备的处理器运行,也可以是测试设备本身。

[0102] 如图12所示,本申请实施例提供的主动降噪耳机的滤波器设计装置12,包括:

[0103] 修正模块121,用于根据反馈滤波器的频率响应曲线、外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数及扬声器到反馈麦克风的传递函数,对前馈滤波器的理想频率响应曲线进行修正;

[0104] 设计模块122,用于根据修正后的前馈滤波器的理想频率响应曲线设计前馈滤波器。

[0105] 在一个实施例中,所述主动降噪耳机的滤波器设计装置还包括调节模块,用于:

[0106] 调节反馈麦克风的设置位置和反馈麦克风的声孔方向,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数;

[0107] 或者,调节耳塞的出声嘴形状,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数;

[0108] 或者,调节前声腔的泄露孔的设置位置、大小、形状或覆盖于前声腔的泄露孔的声阻材料,获得若干组不同的外部噪声到耳道中的标准麦克风的传递函数、扬声器到耳道中的标准麦克风的传递函数、外部噪声到反馈麦克风的传递函数和扬声器到反馈麦克风的传递函数。

[0109] 在应用中,调节模块具体用于在接收到用户通过测试设备所支持的任意人机交互方式输入的调节指令时,调节主动降噪耳机的各硬件结构的位置、大小、形状、材料等设计参数。

[0110] 在应用中,滤波器设计装置中的各模块可以为软件程序模块,也可以通过处理器中集成的不同逻辑电路实现,还可以通过多个分布式处理器实现。

[0111] 如图13所示,本申请实施例还提供一种测试设备13,包括:至少一个处理器131(图13中仅示出一个处理器)、存储器132以及存储在存储器132中并可在至少一个处理器131上运行的计算机程序133,处理器131执行计算机程序133时实现上述任意各个滤波器设计方法实施例中的步骤。

[0112] 在应用中,该测试设备可包括,但不仅限于,处理器、存储器。本领域技术人员可以理解,图13仅仅是测试设备的举例,并不构成对测试设备的限定,可以包括比图示更多或更少的部件,或者组合某些部件,或者不同的部件,例如还可以包括输入输出设备、网络接入设备等。

[0113] 在应用中,处理器可以是中央处理单元(Central Processing Unit,CPU),该处理器还可以是其他通用处理器、数字信号处理器(Digital Signal Processor,DSP)、专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit,ASIC)、现成可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array,FPGA)或者其他可编程逻辑器件、分立门或者晶体管逻辑器件、分立硬件组件等。通用处理器可以是微处理器或者该处理器也可以是任何常规的处理器等。

[0114] 在应用中,存储器在一些实施例中可以是测试设备的内部存储单元,例如测试设备的硬盘或内存。存储器在另一些实施例中也可以是测试设备的外部存储设备,例如测试设备上配备的插接式硬盘,智能存储卡(Smart Media Card,SMC),安全数字(Secure Digital,SD)卡,闪存卡(Flash Card)等。进一步地,存储器还可以既包括测试设备的内部存储单元也包括外部存储设备。存储器用于存储操作系统、应用程序、引导装载程序(BootLoader)、数据以及其他程序等,例如计算机程序的程序代码等。存储器还可以用于暂时地存储已经输出或者将要输出的数据。

[0115] 需要说明的是,上述装置/模块之间的信息交互、执行过程等内容,由于与本申请方法实施例基于同一构思,其具体功能及带来的技术效果,具体可参见方法实施例部分,此处不再赘述。

[0116] 所属领域的技术人员可以清楚地了解到,为了描述的方便和简洁,仅以上述各功能模块的划分进行举例说明,实际应用中,可以根据需要而将上述功能分配由不同的功能模块完成,即将装置的内部结构划分成不同的功能模块,以完成以上描述的全部或者部分功能。实施例中的各功能模块可以集成在一个处理模块中,也可以是各个模块单独物理存在,也可以两个或两个以上模块集成在一个模块中,上述集成的模块既可以采用硬件的形式实现,也可以采用软件功能模块的形式实现。另外,各功能模块的具体名称也只是为了便于相互区分,并不用于限制本申请的保护范围。上述系统中模块的具体工作过程,可以参考前述方法实施例中的对应过程,在此不再赘述。

[0117] 本申请实施例还提供了一种测试设备,该测试设备包括:至少一个处理器、存储器以及存储在所述存储器中并可在所述至少一个处理器上运行的计算机程序,所述处理器执行所述计算机程序时实现上述各个主动降噪耳机的滤波器设计方法实施例中的步骤。

[0118] 本申请实施例还提供了一种计算机可读存储介质,所述计算机可读存储介质存储有计算机程序,所述计算机程序被处理器执行时实现可实现上述各个主动降噪耳机的滤波器设计方法实施例中的步骤。

[0119] 本申请实施例提供了一种计算机程序产品,当计算机程序产品在测试设备上运行时,使得测试设备执行时实现可实现上述各个主动降噪耳机的滤波器设计方法实施例中的步骤。

[0120] 所述集成的模块如果以软件功能模块的形式实现并作为独立的产品销售或使用,可以存储在一个计算机可读存储介质中。基于这样的理解,本申请实现上述实施例方

法中的全部或部分流程,可以通过计算机程序来指令相关的硬件来完成,所述的计算机程序可存储于一计算机可读存储介质中,该计算机程序在被处理器执行时,可实现上述各个方法实施例的步骤。其中,所述计算机程序包括计算机程序代码,所述计算机程序代码可以为源代码形式、对象代码形式、可执行文件或某些中间形式等。所述计算机可读介质至少可以包括:能够将计算机程序代码携带到测试设备的任何实体或装置、记录介质、计算机存储器、只读存储器(ROM,Read-Only Memory)、随机存取存储器(RAM,Random Access Memory)、电载波信号、电信信号以及软件分发介质。例如U盘、移动硬盘、磁碟或者光盘等。

[0121] 在上述实施例中,对各个实施例的描述都各有侧重,某个实施例中沒有详述或记载的部分,可以参见其它实施例的相关描述。

[0122] 本领域普通技术人员可以意识到,结合本文中所公开的实施例描述的各示例的模块及算法步骤,能够以电子硬件、或者计算机软件和电子硬件的结合来实现。这些功能究竟以硬件还是软件方式来执行,取决于技术方案的特定应用和设计约束条件。专业技术人员可以对每个特定的应用来使用不同方法来实现所描述的功能,但是这种实现不应认为超出本申请的范围。

[0123] 在本申请所提供的实施例中,应该理解到,所揭露的测试设备和方法,可以通过其它的方式实现。例如,以上所描述的测试设备实施例仅仅是示意性的,例如,所述模块的划分,仅仅为一种逻辑功能划分,实际实现时可以有另外的划分方式,例如多个模块或组件可以结合或者可以集成到另一个系统,或一些特征可以忽略,或不执行。另一点,所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通讯连接可以是通过一些接口,装置或模块的间接耦合或通讯连接,可以是电性,机械或其它的形式。

[0124] 所述作为分离部件说明的模块可以是或者也可以不是物理上分开的,作为模块显示的部件可以是或者也可以不是物理模块,即可以位于一个地方,或者也可以分布到多个网络模块上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部模块来实现本实施例方案的目的。

[0125] 以上所述实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本申请的保护范围之内。

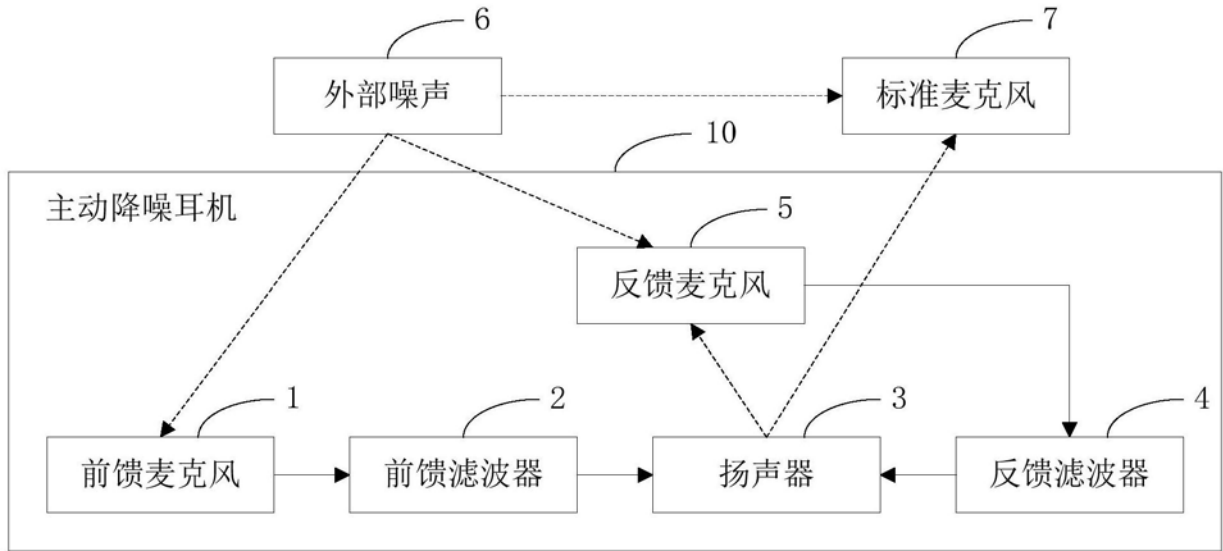


图1

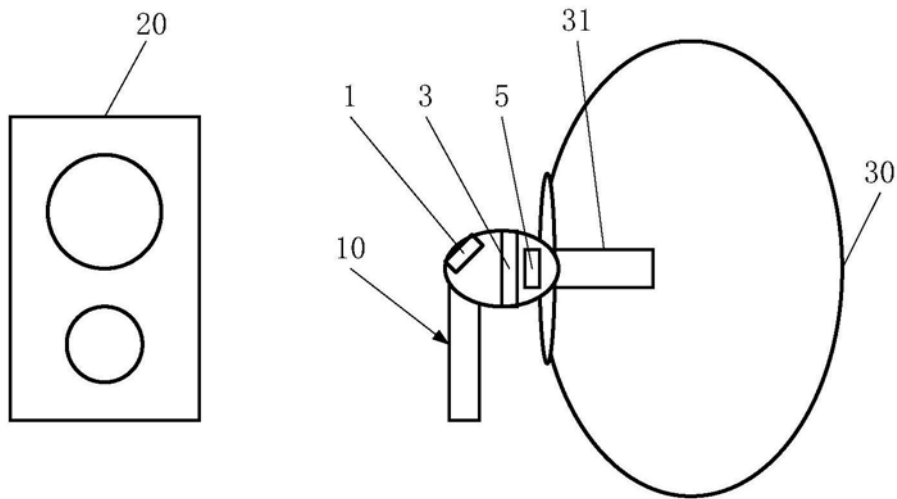


图2

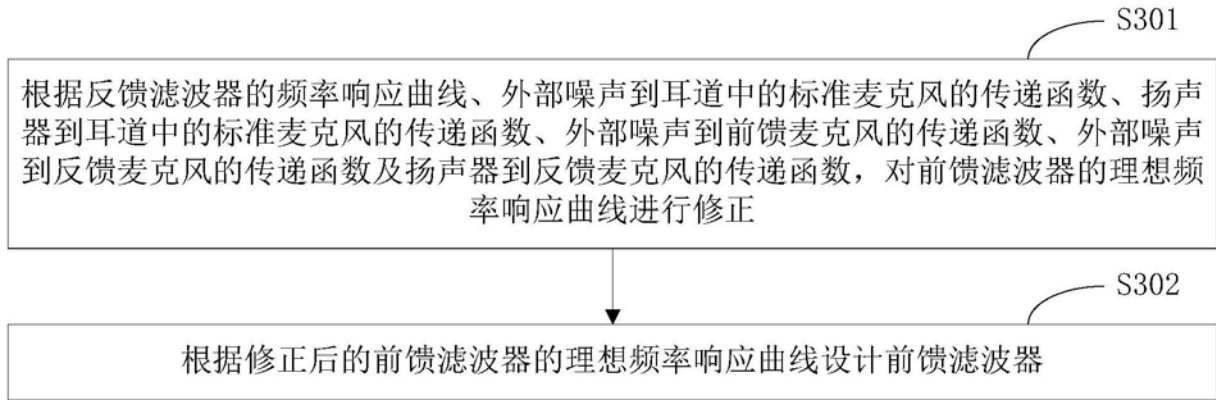


图3

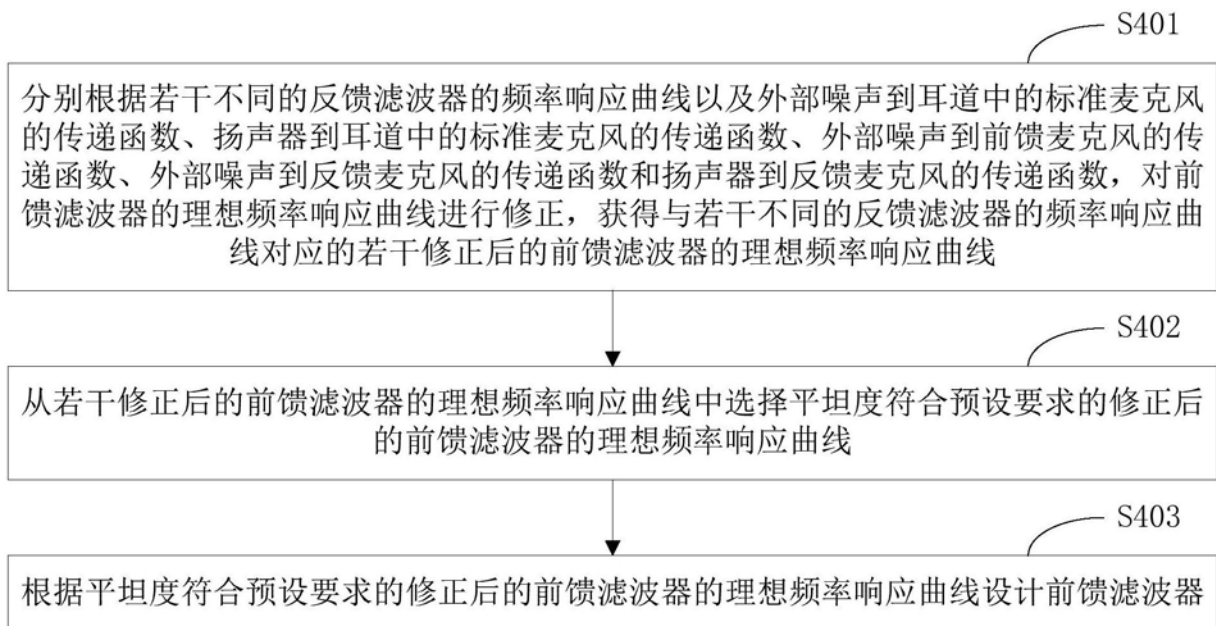


图4

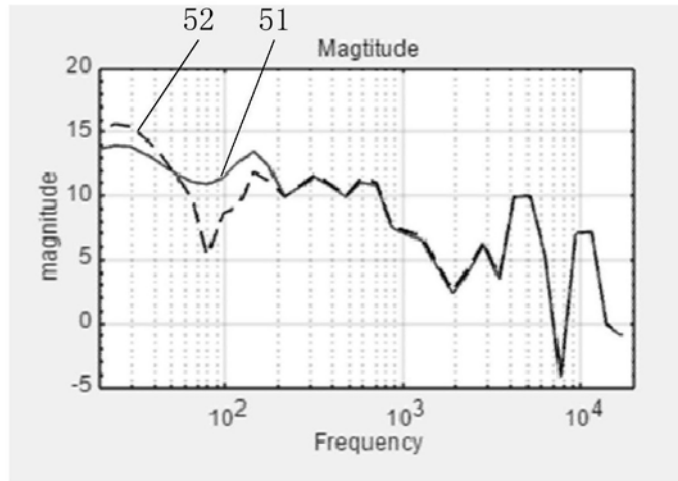


图5

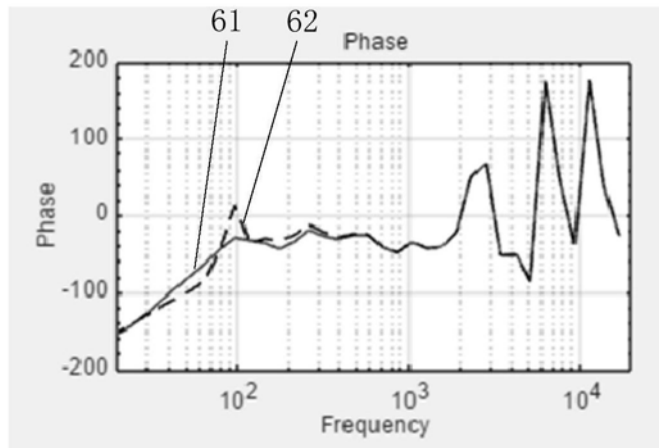


图6

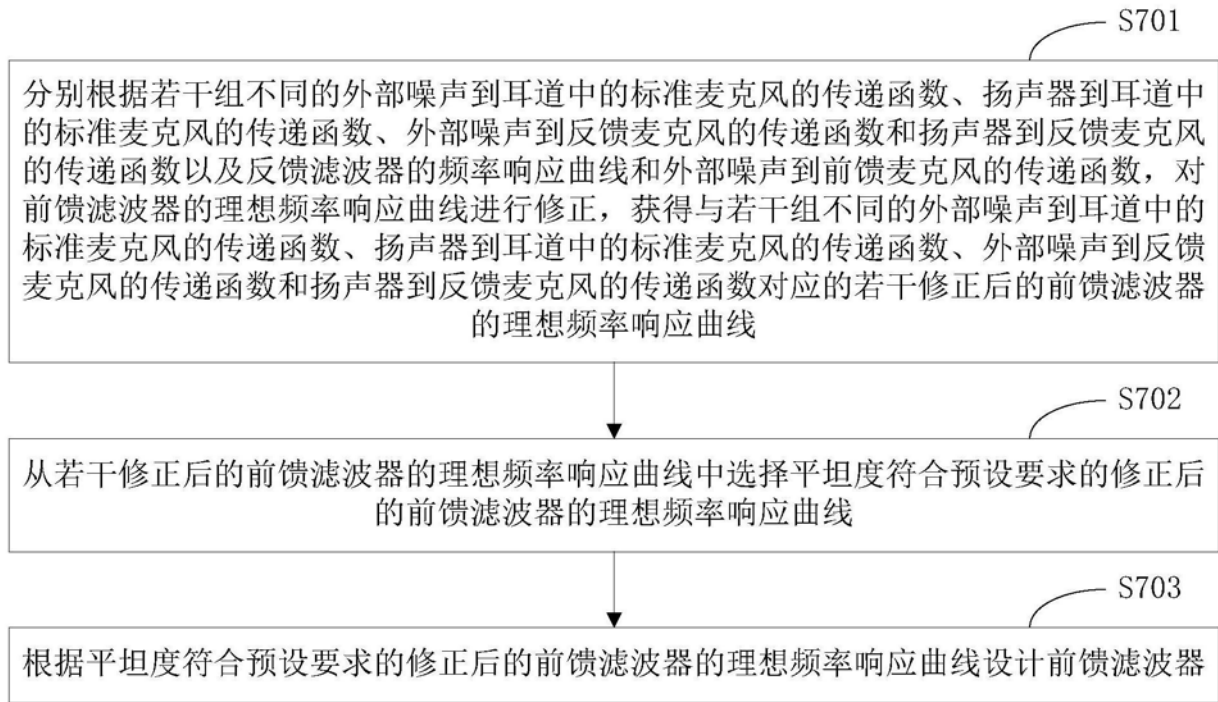


图7

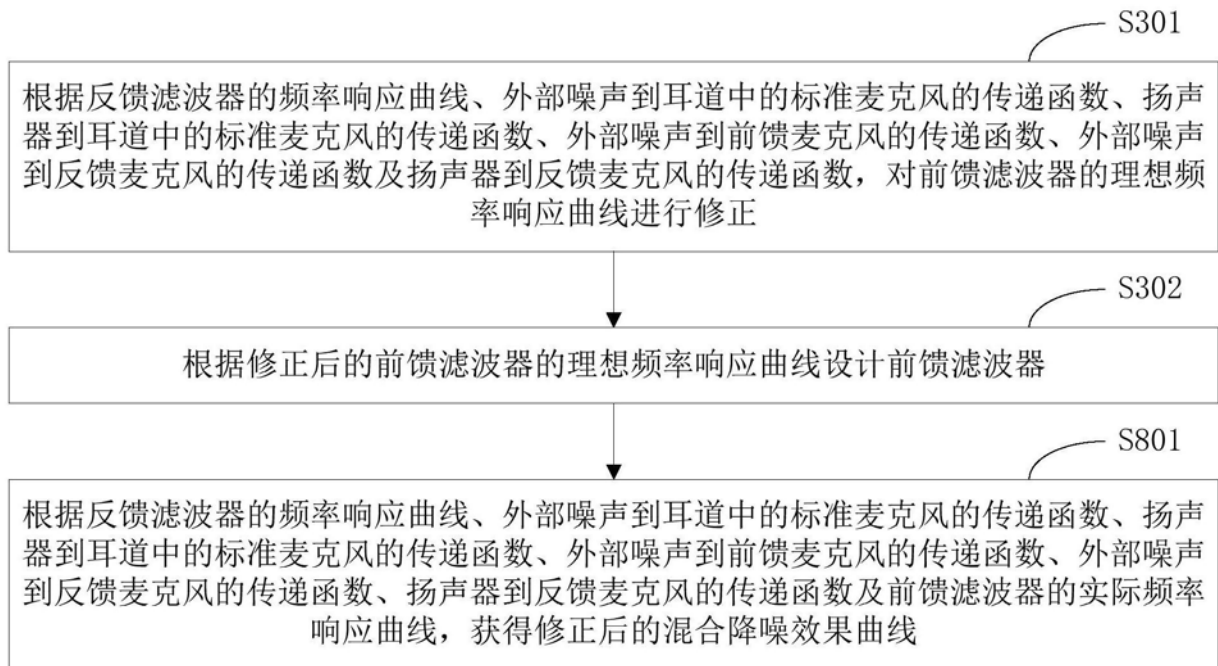


图8

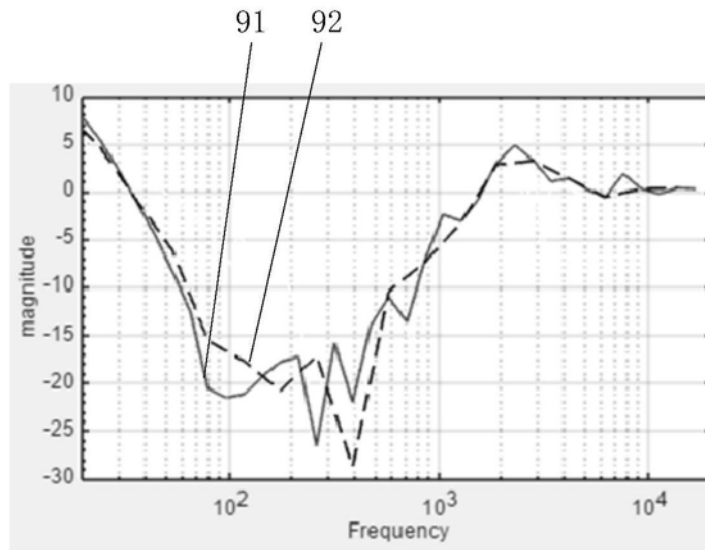


图9

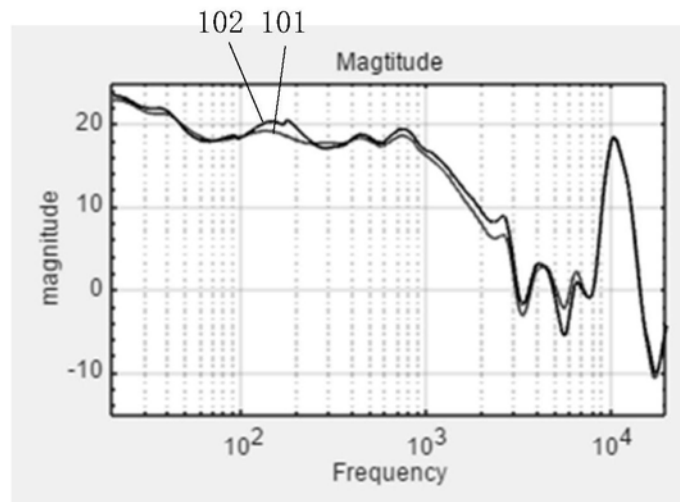


图10

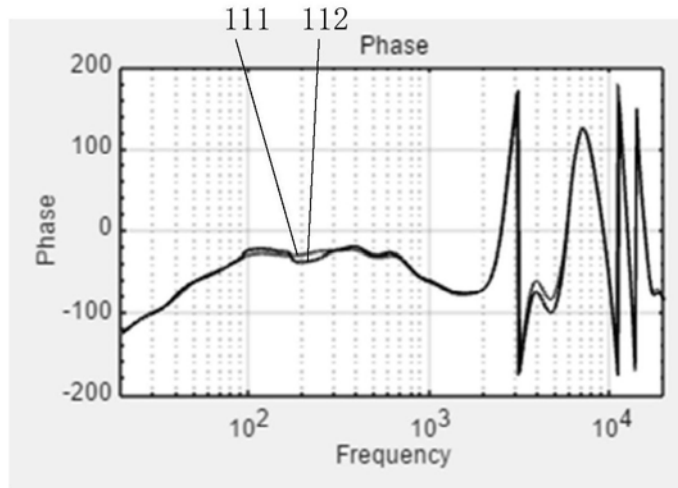


图11

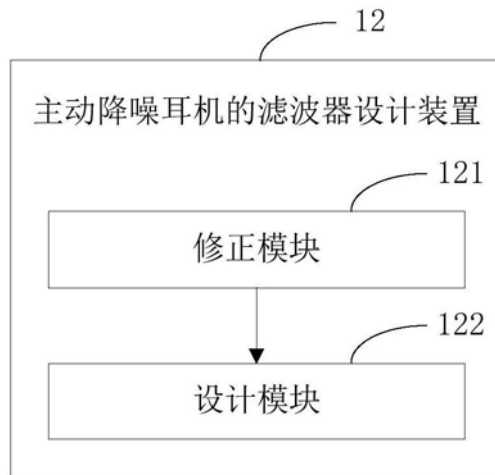


图12

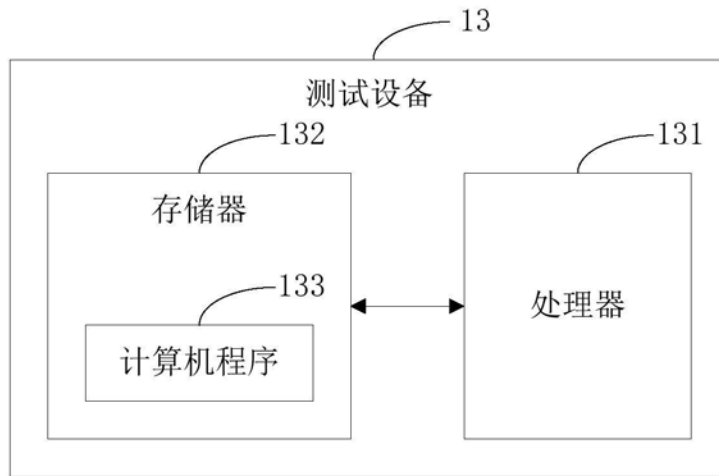


图13