



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101375328 B

(45) 授权公告日 2014. 07. 02

(21) 申请号 200780003558. 3

(22) 申请日 2007. 01. 17

(30) 优先权数据

0601536. 6 2006. 01. 26 GB

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2008. 07. 25

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/GB2007/000120 2007. 01. 17

(87) PCT国际申请的公布数据

W02007/085796 EN 2007. 08. 02

(73) 专利权人 沃福森微电子股份有限公司

地址 英国爱丁堡

(72) 发明人 A·西贝鲍尔德

(74) 专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限

公司 11285

代理人 杨勇 郑建晖

(51) Int. Cl.

G10K 11/178(2006. 01)

(56) 对比文件

US 4833719 , 1989. 05. 23,

JP 平 3-53698 A, 1991. 03. 07,

DE 3133107 A1, 1983. 03. 10,

US 2005/0249355 A1, 2005. 11. 10,

DE 2925134 , 1981. 01. 08,

CN 1624762 A, 2005. 06. 08,

审查员 刘子菡

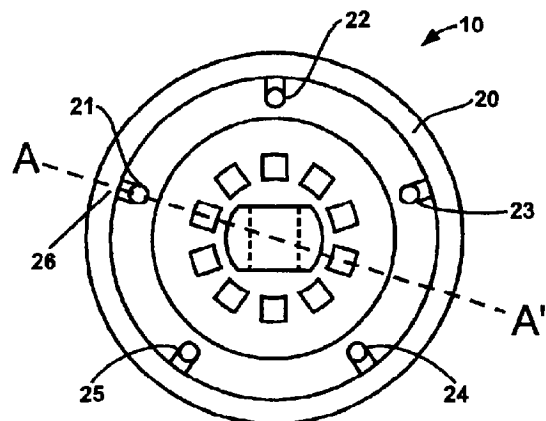
权利要求书2页 说明书13页 附图15页

(54) 发明名称

环境噪声降低装置

(57) 摘要

一种前馈环境噪声降低装置 (10), 包括: 一腔室, 一用于将声能导入到听者的耳朵内的扬声器装置。多个能够将检测到的环境噪声转换成电信号应用于扬声器以产生一个与环境噪声相反的声学信号的麦克风装置 (21-15) 被放置在腔室外部, 并被放置成用于检测通往听者耳朵路径中的环境噪声。重要的是, 进行上述布置, 使所述声学信号通过所述扬声器装置在与所述环境噪声到达所述入口位置大致一致的时间内产生。



1. 一种环境噪声降低装置,包括一个腔室;一个扬声器装置,该扬声器装置支撑放置在所述腔室内,用于当该扬声器装置靠近耳朵的耳道的入口处放置时将声音能量导入到听者的耳中;多个麦克风装置,该多个麦克风装置以分布式阵列的方式位于所述腔室外部,位于所述扬声器装置周围,并被放置用于检测靠近所述入口位置的环境噪声以及用于将检测到的环境噪声转换为电信号;以及前馈电路装置,其用于将一个电信号应用于所述扬声器,以产生一个与所述环境噪声相反的声学信号;进行上述布置,使所述声学信号通过所述扬声器装置在与所述环境噪声到达所述入口位置大致一致的时间内产生。

2. 根据权利要求1所述的装置,该装置被配置为使得所述声学信号与所述环境噪声在所述入口处的时间一致性达到  $40\mu\text{s}$  或者更少。

3. 根据权利要求2所述的装置,该装置被配置为使得所述声学信号与所述环境噪声在所述入口处的时间一致性达到  $25\mu\text{s}$  或者更少。

4. 根据前述任一权利要求所述的装置,所述多个麦克风装置被构造成一个阵列,该阵列与耳垫周边邻近,该耳垫形成所述环境噪声降低装置的所述腔室的至少一部分。

5. 根据权利要求4所述的装置,其中所述扬声器装置放置在腔室内,使得从该扬声器装置到每个麦克风装置之间有一个已知的径向距离。

6. 根据权利要求4所述的装置,其中所述麦克风装置阵列沿着所述耳垫的外围延伸。

7. 根据权利要求6所述的装置,其中所述麦克风装置沿着所述外围大致等角度地分布。

8. 根据权利要求1到3之一所述的装置,其中所述麦克风装置阵列围绕移动电话听筒的扬声器开口布置,并距该开口沿径向间隔放置。

9. 根据权利要求1到3之一所述的装置,其中所述环境噪声从麦克风装置到扬声器附近所沿的路径,为产生降噪声学信号提供了充足的时间,使得达到所要求的时间一致性。

10. 根据权利要求1到3之一所述的装置,其中考虑所述扬声器的性能特性,选择该麦克风装置和该扬声器装置相对于进入的环境噪声的相对位置和摆放,从而确保所要求的时间一致性。

11. 根据权利要求1到3之一所述的装置,其中该麦克风装置被放置成整体上基本一致地响应从一基本角度范围入射到耳机上的环境声音。

12. 根据权利要求1所述的装置,其中所述多个麦克风装置包括至少三个麦克风装置,所述三个麦克风装置沿着一条共同的基本呈圆环状的轨迹等角度地间隔放置。

13. 根据权利要求12所述的装置,被构造成将所述麦克风装置互相连接和/或将它们的输出传送到一个共同的位置用于处理的轨迹电学部件的元件,沿着所述轨迹分布。

14. 根据权利要求13所述的装置,其中至少一些电学部件被配置成一块印刷电路板。

15. 根据权利要求13或者14所述的装置,其中所述处理包括一个或者多个合并、相位反转以及幅度调整。

16. 根据权利要求1到3之一所述的装置,其中每个所述麦克风装置都通过各自的开口和管道暴露在环境噪声中。

17. 根据权利要求16所述的装置,还包括与所述开口和管道相关的一个或者多个针对所述的一个或者多个具体环境噪声特性被调谐的声学元件,以便于针对一个或者多个具体的被选环境噪声特性而提供增强的降噪性能。

18. 根据权利要求 17 所述的装置,其中所述声学元件包括或者由一个或者多个赫尔姆霍茨谐振器以及四分之一谐波管道组成。

19. 根据权利要求 1 到 3 之一所述的装置,其中所述扬声器装置的声学入射轴与听者耳道的纵轴基本成一条直线。

20. 根据权利要求 1 到 3 之一所述的装置,其中每个所述麦克风装置包括一个永久磁化电介质麦克风。

21. 根据权利要求 20 所述的装置,其中每个所述永久磁化电介质麦克风运行在饱和区。

22. 根据权利要求 1 到 3 之一所述的装置,其中所述麦克风装置并联连接。

## 环境噪声降低装置

[0001] 本发明涉及用于降低或者消除耳机使用者接收到的环境噪声的装置。本申请中术语“耳机”是指一种包含了被置于听者耳朵外的扬声器的装置；该耳机例如作为“插塞式耳机 (pad-on-ear)”或者“外挂式耳机 (shell-on-ear)”外壳的一部分或者一个集成产品的一部分，该集成产品如手持贴近耳朵的移动电话。

[0002] 耳机的扬声器可以被耦接到语音源或者其他有待从环境噪声中区分出来的声源上，或者扬声器只被提供用于降低环境噪声，但是本发明对于那些用于个人音乐播放器和便携式电话等移动电子设备的耳机具有特殊的应用。

[0003] 目前，一些耳机通过短导线和连接件直接与声源有线连接，还有一些通过无线链接方式，如“蓝牙”形式，与本地声音生成装置如个人音乐播放器或者便携式电话等连接。本发明既可以应用于有线连接方式又可以用于无线连接方式。

[0004] 现有的用于耳机的环境噪声消除系统基于两个完全不同机理的其中之一，即“反馈”方法和“前馈”方法。

[0005] 反馈方法基于在形成于耳朵和耳机外壳内部之间的腔室内使用直接放置在耳机扬声器前的微型麦克风。麦克风生成的信号通过一个负反馈回路（一个反向放大器）反馈到扬声器，由此形成一个简单的伺服系统，在该系统内，扬声器会在麦克风处持续产生一个零声压级的信号。虽然该原理比较简单，但其实施存在实际的问题，它们将操作的频率上限限制到约 1kHz 或者更低。另外，必须提供有效的被动式声衰减用于阻止该 1kHz 范围以上的环境噪声进入系统，这可通过提供一个被设计来阻隔这些频率的、密闭的头戴护耳封装结构来实现。目前对于反馈系统性能改进的技术方案可参见美国专利 US2005/0249355A1。

[0006] 更进一步，如果音乐或者语音需要反馈进入用户的耳机，那么必须提供一种装置防止这些想要的信号被反馈系统消除掉，这个过程会将不期望的光谱谷和光谱峰引入到耳机的声学特性中。另外，这种类型的反馈系统要求操作腔室基本上与周围环境分离，虽然“插塞式耳机”反馈设备大约二十年前已经提出，但是目前这种类型的耳机仍不能商业化。反馈系统在打开时或运行环境发生变化时容易进入“啸鸣”振动。

[0007] 因此，本发明的装置独特地采用前馈原理，其中图 1 中以基本的形式显示了该装置。

[0008] 在前馈操作中，为了检测环境噪声信号，麦克风 A 放置在耳机壳 B 的外部。麦克风 A 检测的信号在 C 处进行转化并添加到作用于扬声器 D 的驱动信号内，从而产生“消除信号”。目的在于在耳机壳 B 和听者外耳 E 之间腔室内部的耳机扬声器出口附近，在消除信号和进入的环境声学噪声信号之间产生破坏性波消除作用。为实现这一目的，消除信号必须具有一个量值与进入的噪声信号量值基本相同的消除信号，而且两者极性必须相反（即反向的，或者与噪声信号的相位反转 180 度）

[0009] 为了给听者的外耳 E 提供舒适的佩戴，和 / 或有助于降低到达听者耳朵的环境噪声，耳机壳 B 通常带有一个泡沫衬垫 F，或者类似的设备。

[0010] 前馈环境噪声消除方法在原理上易于实施。一个用于普通耳机的基本工作系统可以在非常低的成本下组装而成，其中使用简单的永久磁化电介质麦克风膜盒 (capsule) 和

一对运算放大器,以用于在其模拟信号与耳机声音驱动信号混合之前放大和转换该模拟信号。为了调整消除信号的量值,使该量值与环境噪声信号的量值相同,可通过电位计之类的增益可调设备来实现。一些噪声消除措施可通过这一方法实现,但是效果还远远不够完美。虽然,前馈原理形成了那些现已从商业上可获取的大量耳机的基础。但是,即使消除信号被优化地调整和平衡,相当多的残留噪声信号仍然存在,所以通常可以看到,大多数从商业上可获取的系统只宣称设备仅能够运行于低于 1kHz 频率下,从而只能提供与反馈方法相比稍宽一些的带宽范围。需要谨记:声谱延伸到 3.4kHz,任何相关的噪声消除系统要求一个充分超过目前可用系统能力的带宽范围,例如,为了显著改进通过无线电通信连接的对话的清晰度。

[0011] 本发明旨在提供一种能够实现显著降低最高达至少 3kHz 的环境噪声的装置。

[0012] 根据本发明,提供一种环境噪声降低装置,该环境噪声降低装置包括一个腔室;一个扬声器装置,该扬声器装置支撑放置在所述腔室内,用于当该扬声器装置靠近耳朵的耳道的入口处放置时将声音能量导入到听者的耳中;多个麦克风装置,该多个麦克风装置以分布式阵列的方式位于所述腔室外部,位于所述扬声器装置周围,并被放置用于检测靠近所述入口位置的环境噪声以及用于将检测到的环境噪声转换为电信号;以及前馈电路装置,其用于将一个电信号应用于所述扬声器,以产生一个与所述环境噪声相反的声学信号;进行上述布置,使所述声学信号通过所述扬声器装置在与所述环境噪声到达所述入口位置大致一致的时间内产生。

[0013] 在这种方法下,有利地利用了麦克风装置处检测到的环境噪声与该环境噪声到达听者耳道入口处的时间差来产生一个降噪或者噪声消除信号,上述信号在时间上与环境噪声自身到达入口点处的时间是基本上一致的。

[0014] 在某些优选实施方案中,一个麦克风装置阵列沿一个耳垫的外圆周环绕排列,所述耳垫形成所述环境噪声降低装置的腔室的一部分;扬声器装置放置在该腔室内,使得从该扬声器装置到每个麦克风装置之间有一个已知的径向距离。在其他的优选实施方案中,麦克风装置阵列可以围绕移动电话听筒的扬声器开口布置,并距该开口沿径向间隔放置。如此后要详细描述,在上述任一情形下,环境噪声从麦克风装置到扬声器附近所沿的径向路径,为产生降噪声学信号提供了充足的时间,使得达到所要求的时间一致性。

[0015] 在一些特别优选的实施方案中,考虑扬声器装置的性能特性,选择该麦克风装置和扬声器装置相对于进入的环境噪声的相对位置和摆放方式,从而保证所要求的时间一致性。

[0016] 尤其优选的是,将麦克风装置放置成整体上基本一致地响应从一基本角度范围入射的环境声音。

[0017] 在一些优选的实施方案中,提供至少三个,更优选的是至少五个麦克风装置来检测进入的环境噪声。另外,在提供了这样数量的麦克风装置时,优选的是这些麦克风装置沿着共同的轨迹基本上等角度地间隔放置。

[0018] 该路径可以方便地承载一些电学部件的元件,这些元件被构造成将麦克风装置互相连接和/或将它们的输出传送到一个共同的位置用于处理。

[0019] 电学部件可以以印刷电路的方式提供,并且所述处理可以包括合并、相位反转以及幅度调整。

[0020] 任何一个麦克风装置或者所有麦克风装置可以通过一个开口和管道的方式暴露在环境噪声下,这些开口和管道还可以包括一个或者多个针对所述的一个或者多个具体环境噪声特性被调谐的声学元件,以便于针对一个或者多个具体的被选环境噪声特性而提供增强的降噪性能。

[0021] 上述声学元件可以包括或者由赫尔姆霍茨谐振器和/或四分之一谐波管道组成。

[0022] 在所有的实施方案中,优选的是,扬声器装置的声学入射轴与听者耳道的纵轴基本成一条直线。

[0023] 为了能够更清楚的理解本发明,并使本发明更易于实现,现仅仅通过举例的方式,参考附图描述本发明的以下实施方案,其中:

[0024] 图 1 已被引用,并以基本的形式示出了前馈降噪装置的元件;

[0025] 图 2 示意性地示出了如图 1 所示的现有技术前馈系统和与之相关的声学路径指示;

[0026] 图 3 示出了图 2 所示的由于声学路径长度的差别导致的定时变化 (timing variation) 指示曲线;

[0027] 图 4 示出了根据本发明一个实施方案的降噪装置;

[0028] 图 5 示出了图 4 所示的本发明实施方案的工作声学路径说明;

[0029] 图 6 示意性的说明围绕耳机装置的声学泄漏路径;

[0030] 图 7 示出了图 5 所示的由于声学路径长度的差别导致的定时差异指示曲线;

[0031] 图 8 示出了商业上可获取的降噪耳机装置的性能曲线图;

[0032] 图 9 是与图 8 曲线的比较曲线,示出了图 4 所示发明的实施方案性能指示曲线;

[0033] 图 10 示出了永久磁化电介质耳机的等效电路图以及其工作特性曲线图;

[0034] 图 11 示出了一个集成永久磁化电介质耳机阵列及缓冲放大器的电路图;

[0035] 图 12 示出了根据本发明一个实施方案的装置的耳机;

[0036] 图 13 示出了根据本发明一个实例的装置,被构造成与无线耳机配合使用;

[0037] 图 14 示出了根据本发明一个实例的装置,被构造成与便携式电话配合使用;

[0038] 图 15 为三维空间图,示出了降噪效果对幅度和相位的变化的灵敏度;

[0039] 图 16 示出了在不同的延时错误下可获取的最大降噪曲线。

[0040] 描述本发明详细实施方案之前,以总体性描述的方式,引证附图 2,图 2 示出了与使用图 1 所述的传统前馈装置相关的严重问题。在合适的情况下,图 2 与图 1 中相对应的部件使用相同的参考字母。

[0041] 附图 2a 示出了一个简单的前馈环境噪声消除系统,该系统的麦克风 A 安装在耳机壳 B 的中部,如通过佩戴耳机的听者的耳道的横截面的简单平面示意图所示的,前端方向 ( $0^\circ$  方位角) 位于图的顶部。

[0042] 当声波 SF 从前端方向入射时,因为声学路径的长度是不同的,如图所示,波前到达听者耳膜 G 的时间比到达麦克风 A 的时间稍晚。当声波传播了长度为 X 的路径到达麦克风和耳机下部与耳道 H 纵轴相交的位于耳道的入口处的点 P 后,该波必须横穿一附加的距离 Y,以到达耳膜 G。路径长度 Y 近似等于听管 H 的长度 (通常为 22mm) 加上外耳 J 的深度 (通常为 17mm),加上耳朵上部小的气体缝隙大约 5mm,总长为 44mm,相应的传输时间为  $128 \mu s$ 。

[0043] 然而,如果入射的方向来自横向(即,90°方位角),如图 2b 所示,波前 SL 会首先到达麦克风 A,但是现在,到达前述入口位置 P 从而到达耳膜 G 处的附加路径距离要比以前大很多。这时,当声波传播了距离为 X 到达麦克风自身以及与耳机壳 B 边沿对齐的平行位置后,该波 SL 必须在到达耳膜 G 之前横穿附加距离 Z 以及 Y。

[0044] 因此,根据声源相对于听者的方向,波前 SF 和 SL 到达麦克风 A 和点 P(进而到达耳膜 G)的相对到达时间存在巨大的差别,这些到达时间上的差别是由两条路径间的距离差 Z 引起的。

[0045] 这些到达时间的变化可以使用“仿真耳”系统来测量,该系统复制了人头部和耳朵的声学特性,在声学结构中加入适当的耳道模拟器或者等效装置,目的是保证正确地测量到达耳膜位置的传播延时。例如,美国专利 US6,643,375 公开了一种由本发明的发明者开发的可能的测量系统。测量通过如下步骤进行:将参考扬声器安装到距离“仿真头”大约 1 米的位置处,所述仿真头佩戴耳机和麦克风系统,并且参考扬声器与耳朵在同一水平面内,处于一选定的方位角处,然后驱动一个快速瞬态波,如以 8Hz 的频率重复的 1ms 矩形脉冲进入扬声器。这使得能够通过同步同时地记录来自(a)“仿真头”的耳道内的麦克风的信号和(b)安装在耳机壳外部的麦克风的信号来准确确定波前的到达。

[0046] 图 3 以两个波形对的形式,示出了一对典型的得自一个安装在 50mm 直径的耳机模块上的、中心布置的环境噪声麦克风的测量结果,该耳机模块安装在“仿真头和仿真耳系统(带有管)”上,该每一个波形对被从示波器同步并同时地记录。每一个波形对在 MC 处示出了来自位于耳道位置处的仿真头麦克风的信号;以及在 ME 处示出了来自外部环境噪声记录麦克风的信号。附图 3 示出了当声源处于前端方向(0°方位角,如图 2a 的 SF)时,声波前到达外部麦克风比到达耳膜的时间早 161  $\mu$ s。然而,当声源处于 90°方位角时(如图 2b 中的 SL),该时间差要大得多,即 300  $\mu$ s,而在中间方向上,到达时间的差别就处于上述两个极值之间,因而变动大约为 140  $\mu$ s。

[0047] 由于根据声源方向的不同,到达时间的差距变化非常大,因此很难发现如何利用这种装置来获取任何类型的时间校正。即使该系统可以被制造成用于一个特定方向,那么对于其他所有方向它都将是无效的。

[0048] 实施如附图 1 所示类型的简单前馈装置会由于典型的扬声器有限的响应时间特性而带来一些附加的问题,本发明的发明者发现,扬声器有限的响应时间特性与所涉及的关键的定时因素是非常相关的。这一问题将会在后面进行更加详细的叙述。

[0049] 现在开始说明本发明的具体实施方案,现在将要描述的根据本发明某些实施方案的装置,利用了一个分布式麦克风阵列,这些麦克风阵列形成于耳机的壳、保护性外套或者衬垫的周围,并结合前馈系统用于耳机相关的环境噪声的消除。

[0050] 这种装置通过适当地解决前面提到的两个与传统前馈系统相关的关键问题,而能够提高到达耳膜处的环境噪声信号和噪声消除信号之间的时间一致性,两个关键问题是:(a)由于声源方向的变化带来的环境噪声到耳膜的路径长度的显著变化;以及(b)与电声换能器相关的时间滞后。因此,本发明提供了基于前馈原理的装置,它可以运行在比目前可能的运行频率更高的频率下,并且本质上还是全方向的。

[0051] 第一步,利用若干个麦克风探测环境噪声,布置这些麦克风的位置,以减少对于波前方向,声学路径长度的变化。实际上,即使仅使用两个麦克风就可以提供对现有技术中所

用的单个麦克风配置的改进,但是优选地使用三个或者更多个麦克风。在紧接下来的对本发明优选实施方案的描述中,使用了均匀分布的五个麦克风的阵列,这些麦克风沿着耳机边沿间隔  $72^\circ$  放置。

[0052] 附图 4 示出了本发明一个基本实施方案的三幅简图。附图 4a 绘出了耳机 10 位于外耳时,面向该耳机所观察到的平面图,其中示出了穿过五个麦克风位置中的一个的径向切面轴线 A-A',附图 4b 为穿过轴线 A-A' 观察到的剖面前视图。本发明的该实施方案显示为包括五个微型永久磁化电介质麦克风 21、22、23、24 和 25 的分布式阵列,这些麦克风安装在围绕和靠近耳机膜盒 10 的边沿 20 的室内。麦克风的具体安装布置如图 4c 所示。每个麦克风,如 21,都被安装成使入口端口 26 通过短管道 27 暴露于环境空气,该管道通常和麦克风的宽度相同,高度为 0.5mm,长度为几个 mm。以上尺寸并不是严格的,管道的形状如平面图 4a 所示。每个麦克风的后部也通过一条泄漏路径(图中没有示出)暴露在环境中,以便平衡加在麦克风膜片上的内压。优选的为,每个麦克风,如 21,刚性地安装在一块普通的印刷电路板(PCB) 28 上,以便简化电引出线连接,并且并行布置麦克风也是有利的,以便简化相关的电子线路,后面将对此详述。尽可能地使各麦克风之间在声学上与扬声器彼此隔离。优选的是,麦克风的入口端口围绕耳机边沿布置,尽管在需要的时候,它们也可以布置在最外表面。

[0053] 耳机膜盒 10 包括一个作为各种部件的框架的外套 11,在该外套内安装有直径通常为 34mm 的高声顺的微型扬声器 12,该微型扬声器的膜片通过一个位于最低边缘的保护格 13 暴露在外,保护格 13 上附有一个泡沫垫 14,以便保证听者外耳配戴的舒适性。可选择的,为了在更高频率下( $> 4\text{kHz}$ )获得更好的声学隔离效果,可使用传统的填充了泡沫的由革包裹的环形的环替代泡沫垫。为了提供高声顺负载,扬声器具有后腔 15,通常容积为几个 ml,并且优选为使用声学泡沫来衰减信号,从而使得扬声器 12 的基波谐振减到最小。同样优选的,后容积通过一个或多个开口,如 16,通往环境中,从而最大化后负载声顺。优选方案为出口距 离麦克风的入口端口,如 26,的距离为 10mm 或以上。

[0054] 对于“插塞式耳机”,耳机单元对声音不可透射,所以每一个耳机组件如同一个与听者的耳廓相邻或者接触的声音反射器。通常,利用一层厚度在 3mm 与 6mm 之间的薄泡沫橡胶垫 14 来覆盖耳机表面,以便为听者提供舒适的表面,以及提供外耳和环境之间的一些声音密封性的小的界限。后者达到了三个目的:(a) 增加了耳机的低频响应;(b) 限制从耳机到环境的向外声音发射;(c) 减少环境噪声从周围进入,虽然对于低频段(即低于约 4kHz)的信号,有效性较差。

[0055] 根据本发明的实施方案,重要特征如下。由于耳机 10 充当反射器,在到达耳道轴线入口处之前,从外界环境到耳膜的声音泄漏路径被迫横穿耳机组件直径的一半。相应的,将麦克风 21 到 25 放置到耳机外沿 20 上或者其附近,可以采集到环境噪声信号并在该环境噪声信号到达耳膜之前将其驱入电声换能器 12 中,从而补偿电声换能器 12 的固有响应时间。另外,这也同样适用于从所有方向抵达的波前。

[0056] 例如,如同参考附图 4 而描述的装置,图 5 示出了(依照附图 2 的形式)方位角为  $0^\circ$  情况下(附图 5a)从前端噪声源 NF 到耳膜的声音路径图,以及方位角为  $90^\circ$  情况下(附图 5b)从侧面噪声源 NL 到耳膜的声音路径图。声学路径经过简化并被分成三个概念部分 X'、Y' 和 Z' 来说明该特征。



[0057] 在这一阶段,为了描述的最初的清晰性,仅考虑通过若干麦克风之一(21)传播的信号路径,以便说明和近似量化所涉及的时间延迟。

[0058] 参见附图 8a,前端的源的波前 NF 沿路径 X' 首先到达耳机的外沿 20,在此处,该波前被麦克风 21 探测到。然后为了该波前到达耳膜 G,波前 NF 必须沿耳机径向传播(即路径 Z'),并继而沿着外耳 J 的深度和听者耳道 H 的长度(在此处合成路径 Y')传播。但是消除信号则避开了路径 Z'。因此,假设在前馈电子电路中没有延时,噪声消除信号可以在环境噪声信号到达耳道中轴线的入口位置 P 处(即路径 Y' 和 Z' 的交汇处)之前被送到耳机的扬声器内。通过将径向路径长度 Z' 上的传播时间与耳机扬声器的响应时间匹配,能够获得基本准确的时间一致性。方便的是,这在实践中可以利用可行的耳机直径来实现。例如,一个 60mm 直径的耳机具有 30mm 的径向路径,对应的传播时间为  $87 \mu s$ ,这与很多小型耳机扬声器的固有响应时间完全匹配。

[0059] 现在参见附图 5b,可以看到对于来自  $90^\circ$  方位角处的横向源的噪声波前 NL,也有类似的过程。耳机 10 的存在阻止波 NL 直接传播到耳朵,因而声音被迫绕行该结构,沿着类似附图 5a 所示的从前端出发的波前 NF 的路径传播。当波到达耳机的边沿 20 后,波前 NL 被一个或多个麦克风,如 21,探测到,然后为了到达耳膜 G,该波前 NL 必须沿着耳机径向(路径 Z')传播,并继而沿着外耳的深度和听者耳道的长度(路径 Y')传播。这样,如前所述,在噪声信号到达位于耳道中轴线上入口点 P 处之前,可以由来自边沿麦克风的噪声消除信号驱动扬声器。

[0060] 在前面的描述中,为了简化那个阶段的描述,以及近似地量化所涉及的时间延迟,仅考虑了单个麦克风(21)的作用。然而,将可以理解的是,该过程会稍微复杂些。发明者已经注意到,当波前到达以及之后在耳机单元内传播时,如附图 6 所示,一个连续的衍射过程发生在耳机边沿下,以及随后发生在外耳和耳机之间的腔体内的声学泄露,直到波前完全穿过耳机组件。

[0061] 附图 6 描绘了对于前端源的波前 NF' 所发生的该过程,在该过程中,相互作用过程最长。附图 6a 示出了耳机套 11 的前引(前端)缘的波前 NF' 的到达,泄漏路径 L1 位于耳机下方。当波 NF' 穿过耳机到达中间位置(附图 6b 所示)时,入口泄漏路径通过耳机边沿 20 周围及以下的衍射而形成。当波前 NF' 完成其在耳机 10 内的传播并离开尾(向后的)缘时(附图 6c),波前沿耳机边缘 20 周围及背部以下发生衍射,并因此造成耳机 10 和外耳之间的声压。

[0062] 这一现象与方向有关。如果波前来自于前端噪声源,声能会在与波前传播穿过耳机壳所需的时间段相关的时间内被分配,比方说,一个直径 60mm 的耳机壳,大约花费  $175 \mu s$ 。然而,如果引入的波前沿着法线方向入射到耳机内(也就是说沿着  $90^\circ$  方位角),那么能量会立即到达,也不会随时间被如此分散。

[0063] 因此,从外界环境到耳膜的脉冲响应(以及相关的传递函数)根据声源方向的不同差别很大,如附图 3 已经示出了的。可以看出前端的脉冲响应比横向的脉冲响应具有(a)一个小很多的峰值幅度和(b)一个更长的持续时间。然而,根据本发明的装置自动地将这考虑在内了,因为它们有效地集合了围绕耳机边沿的声压级,并产生一个代表总的动态泄漏驱动 SPL 的信号作为时间的函数。

[0064] 图 7 以两个波形对的形式,示出了一对典型的得自 5-麦克风的分布式阵列的测量

结果,这 5- 麦克风分布式阵列被集成到 50mm 直径的耳机模块内,该模块安装在“仿真头和仿真耳系统(带有管)”上,该每一个波形对被从示波器同步并同时地记录。每一个波形对示出了来自位于耳道位置处的仿真头麦克风的信号 MC;以及来自 5- 麦克风分布式阵列的信号 MA。附图 7 示出了当声源处于前端方向( $0^{\circ}$  方位角)时,声波前到达外部麦克风比到达耳膜的时间早  $200\ \mu\text{s}$ 。然而,当声源处于  $90^{\circ}$  方位角时,该时间差仅仅稍微多了一点,即  $250\ \mu\text{s}$ 。在中间方向上,到达时间的差别就处于上述两个值之间,因而变动最大仅仅为  $50\ \mu\text{s}$ (与单个麦克风的  $140\ \mu\text{s}$  的变动形成对比)。 $\pm 25\ \mu\text{s}$  的差异提供了一个时间一致性程度,发明者已表明过,该一致性程度足以获取 2kHz 频率处的 -10dB 的消除。

[0065] 需要注意的是,环境泄漏到耳膜的脉冲响应(附图 3)以及环境到麦克风阵列的脉冲响应(附图 7)之间不能直接比较,因为前者包含耳机下部和耳道的声学路径的作用,而后者并没有这些作用。提供这些附图只是为了简单地说明两者之间在量值和持续时间上的变化的相似性,以及它们对方向依赖的相似性。

[0066] 从概念角度说,泄露到耳机/外耳腔的总环境噪声可视为大量基本的、径向泄漏路径的总和,这些泄漏路径在入口地点交汇,该入口地点包括一个位于穿过耳道纵轴的中心处的中心结点。因而,位于径向的基本泄漏路径的理论中心处的环境噪声信号,是在它们从耳机 10 的边沿 20 开始传播到位置 P 后的随时间变化的一些基本贡献的总和。

[0067] 如果基本泄漏路径具有类似的声学阻抗,那么径向传播延迟后,径向的基本泄漏路径的理论中心 P 处的环境噪声 SPL 代表基本泄露路径的、围绕耳机的边沿 20 的外点处的每个 SPL 的随时间变化的总和。这个理论中心的环境噪声 SPL 是驱动外耳和耳道的信号,同时根据本发明的设计原理,它是在所述驱动发生前由分布式环状麦克风阵列 21 到 25 所检测和记录的信号。

[0068] 本发明的效果可以通过将一个最好的商用的小耳罩开放式动圈噪声消除耳机的性能与图 4 所示的、根据本发明一个实施方案的 5- 麦克风分布式阵列的性能进行比较而得到最好的证实。选择来自大型生产商的商用耳机中被评估为功能最佳的四个不同的装置。为了说明效果,将 5- 麦克风的分布式阵列的信号用到一个简单的前馈噪声消除装置中,没有任何滤波器或者其他信号处理器(除了用于放大和反向的装置)。该测量在仿真头系统上进行,对该仿真头系统赋予带有耳道的仿真耳。耳机放置在仿真头上,噪声消除被关闭,仿真头的频率响应通过一个 1m 距离处并位于水平面  $45^{\circ}$  方位角处的扬声器测得,测量使用标准方法(MLS 序列以及正弦波扫频)。接下来,打开前馈噪声消除,重复测量过程。处理测量结果,将测量结果减去参考麦克风(B&K 4003)测量得到的一个在先参考测量值,从而消除扬声器的音染,附图 8 示出了对于商业上可获取的耳机的结果,图 9 示出了对于根据本发明一个实施方案的、包括了 5- 麦克风阵列的耳机的结果。

[0069] 附图 8 以三频率响应曲线的形式示出了从商业上可获取的小耳罩开放式动圈噪声消除耳机上测得的结果,该三频率响应曲线从仿真头中的耳道麦克风采集到。第一条曲线(A)表示没有放置耳机的情况下,耳道麦克风响应曲线,该曲线作为参考。第二条曲线(B)表示在放置了耳机,但噪声消除关闭的情况下,麦克风的响应曲线,第三条曲线(C)表示噪声消除装置打开的情况下的响应曲线。

[0070] 最大峰值在约 2.6kHz 的参考响应曲线(A)的形状是由外耳和耳道的谐振特性引起的。在放置了耳机的情况下(曲线 B),进入的大于 2kHz 的环境频率易于被泡沫垫被动

式地衰减掉,所述泡沫垫将耳机相对于外耳部分地封装起来,如图 1b 所示。然而,在 400Hz 到 1.5kHz 频率范围内,佩戴耳机实际上会增加耳膜处的环境噪声水平,1kHz 频率处增加了 6dB,因为目前每个耳机以及相应的外耳之间还是存在间隙的。曲线 C 示出了打开噪声消除电子电路的效果,可以看到响应在 300Hz 到上限 1.5kHz 的频率范围内有所减少,但是最多只减少了 6dB。在 1kHz 频率处仅仅减少了 3dB。

[0071] 附图 9 示出了对包括分布式的 5- 麦克风阵列的耳机的类似的直接相当的一组响应,出于方便将该耳机构造成插塞式耳机,而不是小耳罩开放式动圈布置,但是具有更大的从环境到耳朵的声学泄漏。在放置了耳机的情况下(曲线 B),4kHz 以上的响应由于被动式衰减而减少,峰值响应略微增加了约 3dB,如前所述,这也是由于谐振。然而,当打开噪声消除装置(曲线 C)时,在 300Hz 到 3.5kHz 范围内响应急剧减少,在 300Hz 到 1kHz 范围内减少了大约 10dB。在 1kHz 频率点减少了大约 12dB,频率上限现为 3.5kHz。如下表 1 总结了与高质量的商业上可获取的耳机相比,由分布式的 5- 麦克风阵列所提供的噪声消除上的改进:

[0072]

	400Hz 处噪声减少量	1kHz 处噪声减少量	最大噪声减少量	上限(分频频率)
商业上可获取的耳机类型“A”	-8dB	-3dB	-8dB	1.5kHz
环向的 5- 麦克风阵列	-10dB	-12dB	-15dB	3.5kHz

[0073] 在实践中,在根据本发明的装置中,在信号匹配(噪声消除信号和噪声信号之间)的精确性与鉴于成本及复杂性而被选取的麦克风的数量之间存在一个平衡。在所需的信号超前时间方面也必须寻求一个平衡,该信号超前时间是对麦克风本身的要求以及对耳机组件的物理直径的要求,因为是该分布式麦克风阵列的直径决定了这一超前时间。以下描述是在这些方面上对本发明实际实施的一种指导。

[0074] 为了获得正确的时间一致性,环境麦克风和耳道麦克风之间的到达时间的差异必须和系统电声换能器(即耳机扬声器)到耳道麦克风的响应时间相等(或者大致近似)。

[0075] 谨记各声学路径分享一个共同的、进入外耳并下至耳道而到达耳膜的路径单元(图 5 的 Y'),然后通过对分布式环向阵列选择适当的半径,作出第一近似:使与剩余的路径单元(图 5 的 Z')相关的时间延迟和换能器的响应时间相等。

[0076] 第一步是为耳机驱动模块测量所述的被选定的电声换能器的响应时间。如果换能器的响应时间,例如,为  $70 \mu s$ (一个一般值),那么这一时间对应于约 24mm 的声学路径长度,所以这就要求分布式麦克风阵列的声学中心应当是近似位于一个直径为 48mm 的圆圈的中心处或者在那附近。

[0077] 然而,声学路径并不是这样直的,也不简单,为了获得最好的精确度,最好能够测量到达时间的差别并且相应地调整半径。实践中,适合用于该目的的大多数换能器具有  $70 \mu s$  到  $100 \mu s$  之间的响应时间,因此直径在 40mm 到 60mm 范围的分布式麦克风阵列与上述数值很匹配。

[0078] 接下来,必须对阵列中所用的麦克风数量进行选择。当然,理想情况下,较大数量的麦克风比小量的麦克风要好,因为如果使用了很少量的麦克风,可能会有一些量子化效

应的危险。如果我们希望要求一个合理的标准,时间一致性优于  $40 \mu s$  是比较满意的(相应的传播距离大约为  $14mm$ ),那么探测到穿过半径为  $R$  的圆形麦克风阵列的波的几何形状是可能的,然后对传播在各麦克风之间的横波,根据各麦克风之间的角度间隔  $\theta$ ,推出如下简单的、近似的关于有效距离  $D$  的关系式:

[0079]  $D = R(1 - \cos \theta)$  从而

$$D = R(1 - \cos \theta) \quad \text{从而} \quad \theta = \cos^{-1}\left(1 - \frac{D}{R}\right) \quad (1)$$

[0080] 上式表明,对于麦克风到麦克风的时间间隔小于  $40 \mu s$  ( $D = 14mm$ ) 的情况,如果  $R = 30mm$ ,那么  $\theta = -60^\circ$ ,从而应当使用 6 个麦克风。然而,这仅仅是一个粗略的导引。

[0081] 所有这类系统不可避免的一个问题是:当耳机被施加到听者耳朵上,而耳机放置位置略有不同时,在声学泄漏特性上以及在各种声学路径长度上都会存在很大的差别。这些差别连同系统设计上所做的任何小的折衷所产生的效果,都会限制系统的性能,因而噪声抑制特性仍然以“有限的”抑制分频点为特性。然而,这往往在频率远远大于  $3kHz$  的情况下可以观察到,这与现有技术设备中测量的低于  $1kHz$  的分频频率形成对比。

[0082] 单个麦克风的正确定位非常重要但并不关键。为了更好地表征泄漏路径入口处的 SPL,麦克风入口(如 26)应当放在与听者头部邻近的外沿边缘 20 的附近。这样能够保证,例如,耳机尾缘处的背部衍射波能够被准确记录下来(附图 6)。如果麦克风入口端口,如 26,远离听者的头部放置,也就是说,这样传播的波前会在发生衍射并返回到耳机下部前被记录下来,并且比到达耳膜处的环境噪声包含更多更高频率处的能量,因为后者会发生背衍射。

[0083] 对于麦克风阵列的限定,如本领域技术人员将要知悉的,最合适的换能器是微型永久磁化电介质麦克风。发明者使用了多种来自不同生产商的次微型永久磁化电介质麦克风,尺寸范围从直径  $6mm \times$  长度  $5mm$  到直径  $3mm \times$  长度  $1.5mm$ 。麦克风应当具有相对平坦的频率响应曲线(在  $200Hz$  到  $10kHz$  之间为  $\pm 3dB$ ),各麦克风之间的灵敏度变化在  $1kHz$  处低于  $\pm 3dB$ (这些规格对于发明者所使用的直径  $3mm \times$  长度  $1.5mm$  的麦克风来说是典型的)。

[0084] 对于麦克风阵列的电学配置,每一个麦克风包含一个积分 FET 缓冲放大器,所以输出的阻抗仅仅为几  $k\Omega$ 。附图 10a 示出了一个典型麦克风膜盒的简单等效电路,该电路的永久磁化电介质薄膜由约  $100pF$  的小电容  $C1$ ,以及一个耦接在地和  $n$  沟道 JFET(结型场效应管  $J1$ ) 的栅极之间的、典型阻值为  $100M\Omega$  的高阻抗并联泄漏电阻  $R2$  来表示。使用时,该结型场效应管漏极通过一个负载电阻  $R1$  连接到低压源  $V1$ ,该低压源通常为  $+3V$ 。典型的结型场效应管麦克风膜盒的传递特性如附图 10b 所示,表示形式为  $I_D/V_{DS}$  特性。从图中可以看到一个饱和区,该饱和区内的漏极-源极电压大于大约  $+1V$ ,相关的饱和电流大约为  $250 \mu A$ 。在这个区域,结型场效应管的导电系数与  $V_{DS}$  无关,主要由栅极-源极压差控制,也就是说,受永久磁化电介质上依赖于音频的变化的电压的控制(出于简化,此处没有包括该永久磁化电介质)。附图 10a 示出了一个典型的阻值为  $6k\Omega$  的负载电阻  $R1$ ,该负载电阻  $R1$  与  $+3V$  的偏置电压共同作用产生一个  $250 \mu A$  的设备电流,一个  $1.5V$  的电压  $V_{DS}$  以及在输出节点上的  $+1.5V$  的直流输出电压。

[0085] 然而,麦克风信号相对较小(幅度大约几个  $mV$ ),所以仍然需要放大器。比较方便的是安装单个放大级,用于同时为所有的麦克风工作,而不是对每一个麦克风使用分立的

前置放大器以及在后面跟一个电压求和级。实现该目的的一种方法是将所有麦克风并联连接。然而,在这种特定类型的构造中,必要的是所有的麦克风都工作在各自的饱和区,否则会发生互调,其中一个麦克风电流的变化将会改变它们共同节点的电压,进而,共同节点的电压会改变其他麦克风的积分 FET 电流。例如,在附图 10a 中,如果另外四个麦克风膜盒与原始的麦克风简单的采用并联方式连接,使用原始的  $6\text{k}\Omega$  负载电阻 R1,那么输出电压  $V_{DS}$  会减少到仅  $200\text{mV}$ ,每个麦克风的结型场效应管内仅仅有  $90\mu\text{A}$  的电流。这远远低于饱和,  $V_{DS}$  任何变化都会导致设备电流的巨大变化,从而调制了声频讯号。

[0086] 为了防止互调现象的发生,应当测量选定类型麦克风的  $I_D/V_{DS}$  特性,如附图 10b 所示,然后就可以确定饱和区、麦克风的电流以及麦克风的积分 FET。这使得可以选用单个适当的偏置电阻用于整个麦克风阵列,在该偏置电阻下,该阵列就可以安全运行在无互调效应的情况下。例如,如果要求根据上述特性形成一个并列的 5- 麦克风的阵列,那么这种情况下负载电阻 R1 必须基本降低到大约  $1.2\text{k}\Omega$ 。这样能够获得一个满意的流动在五个设备中的每一个内的饱和电流  $250\mu\text{A}$  (电流总和为  $1.25\text{mA}$ ),并且  $V_{DS}$  的值为  $1.5\text{V}$ ,如前所述。

[0087] 附图 11 示出了一个用于将 5 个麦克风并联连接的,并且与一个自适应缓冲放大器 X1A 耦结的优选的电路布置,这种情况下,缓冲放大器的增益系数为 28。通过将这一级的输出馈入到扬声器驱动级,可以利用该输出来驱动附图 1 所示的这一一般类型的前馈系统,其中借助了增益可调的级,来修正幅度,取决于所相随的电路和扬声器连接件中的任何极性的改变,在需要的时候,可借助逆变器。

[0088] 本发明一个简单的基本实施方案已经参考附图 4 作了描述,附图 4 中的麦克风圆环形阵列沿着耳机的边沿布置。附图 12 示出了被安装在一个头带上的配置,相应的附图标记与附图 4 中的附图标记相应。该实施方案的变形为将相关的电子器件——电源、前置放大器、逆变器和声学驱动器——集成在一块内部印刷电路板上,该电路板集成在耳机套结构内部。这对于减少外部线缆是非常方便的,仅以增加了整个装置的一些体积和重量为代价。这对于生产同样非常方便,例如,使得麦克风直接沿着圆环形印刷电路板的边缘安装,扬声器在此可通过弹性触点直接电连接,从而实现弹性吸附 (snap-together) 结构。通过一个或多个沿着边沿安装的适当封闭气室式泡沫聚氨酯衬垫,麦克风与扬声器后面体积之间保持了一个声学信号上的隔离。

[0089] 图 13 示出了本发明另一实践的实施方案,用于无线耳机 (蓝牙) 的装置 30。本实施方案中,三个耳机具有各自独立的入口端口 31, 32 和 33,沿着位于中心的扬声器 (图中未示出,由于其被腔室的外表面 34 遮盖) 分布式排列。耳机 30 也同样以常规的形式构成,具有一个耳夹 35 和一个夹紧式传声器架 36。

[0090] 附图 14 示出了本发明的另一实践的实施方案,该实施方案中分布式麦克风阵列已经设计安装到一个便携式电话的电话听筒单元 40 内,仍然采用三麦克风阵列形式,阵列的三个麦克风各自的入口端口分别显示为 41, 42 和 43。一个常规的微型扬声器的出口端口显示为 44。

[0091] 通常参见本发明与常规的前馈概念的区别之处,如参考图 1 所描述的,可以看到,实施至今的前馈方法低效的原因还没有完全解释清楚,即使有许多方法试图对该前馈方法进行改进,要么通过使用相关的电子滤波,要么使用自适应滤波器“屏蔽”周期性噪声。

[0092] 之前的前馈装置的方案一直基于如下原理:进入的环境噪声信号和通过耳机扬声

器驱动的信号经历各种变换,如通过耳机壳腔内的声音共振。这些变换被看作可以修正信号的幅度响应,防止声音全消现象的发生。然而,都没有将类似的重要性归因于两个信号的相位,曾经提出,如果将这些传递函数通过数学方法合并,可以生成一个理想的电子滤波器,用以考虑以及预测所有这些效应。

[0093] 根据本发明,将可以理解的是,噪声消除信号的相对于环境噪声信号的相位与两个信号之间的相对幅度具有至少同等的重要性。

[0094] 尽管各种关于环境噪声消除的现有技术披露了使用电子滤波器来修正幅度响应,但对于定时或者相位、响应的处理没有详细的描述。例如,US6,069,959 描述了一种复杂的滤波装置,用于前馈噪声消除系统,并披露了许多附图,图中描述出幅度响应,但是没有考虑,也没有提及定时或者相位响应。

[0095] 在实施上述方法的时候,测量各种传递函数,并之后将它们合并形成所需的滤波器函数也存在一些实际的困难。

[0096] 本发明的发明者考虑到上述传递函数的方向性很重要,认为以前并未发现该因素。

[0097] 本发明的发明者还考虑到:将从单个角度测量所得的传递函数用于日常应用中起主导的扩散声场并不恰当。

[0098] 基于现有技术对环境噪声消除系统改进的尝试结果很差,许多人已经转向非常成熟的方法,如使用自适应滤波器。一篇文章总结了该技术的现状,该文章题为“Adaptive feedback active noise control headset: implementation, evaluation and its extensions”,作者是 W S Gan, S Mitra 和 S M Kuo,已经发表在 IEEE Transactions on Consumer Electronics, 51, (3), 2005 年 8 月。该方法试图分析和确定进入的噪声的各种成分,主要是针对重复噪声,使用数字信号处理器 (DSP),然后实时修正电子滤波器从而提供优化的消除信号。然而,尽管使用了大量的数学方法以及在工程上付出了努力,该方法只获取了有限的成功。例如,发表在 Applied Acoustics, 63, (2002), 第 1193-1213 页的 MPawelczyk 的文章“Analogue active noise control”,包括关于本领域的技术现状评论。从该文章的附图 15 可以看到现有技术的自适应系统噪声消除带宽限制在频率低于 500Hz 的范围。另外, Pawelczyk 指出该系统不能抑止脉冲的、非重复的噪声。

[0099] 因而可以清楚地看到,现有技术的公开内容要么忽略了,要么无视了消除信号相对于进入的环境噪声信号的相位响应的重要性。另外,两个信号之间不正确的幅度匹配所导致的效应还没有量化。

[0100] 为了同时找出噪声消除过程对于最优值之上和之下的幅度和相位的变动的敏感程度,发明者进行了分析,旨在针对以下方面确定噪声消除过程的有效性:噪声剩余量(没有消除的)——“驻留”信号——均以比例形式(百分比),以及在噪声压力级(SPL)方面的对数减少,以 dB 分贝为单位。

[0101] 有些令人惊奇的结果是发现了即使对于适量的噪声消除,也需要高紧密度容限。如果达到 65% (-9dB) 的噪声消除(驻留信号 = 35%),噪声消除信号的幅度与噪声信号的幅度必须匹配,容差在  $\pm 3\text{dB}$  之内,并且同时,信号的相位必须在  $\pm 20^\circ$  之内 (0.35 弧度)。

[0102] 附图 15 示出了一个三维表面,该三维表面示出了作为幅度和相位与完美匹配的偏差的函数的驻留噪声部分,从该图中,关系的关键特性比较清楚。大于 50% 的消除区域

(-6dB 或者更好) 由处于最底端非常狭窄的漏斗状的灰色区域表示, 该漏斗状从中心下降到图线的底部。任何与该理想区域的明显偏差都使该系统的有效性打折。

[0103] 本发明为耳机用户提供了改进的环境噪声消除装置, 对于高达 3kHz 及其之上的频率有效, 和目前可获取的商用产品的 1kHz 以下的频率限制 形成对比。本发明另外的优点在于它使用舒适, 而且噪声消除量可采用电子控制; 这两个特性对于移动电子产品的应用来说是非常理想的。

[0104] 和各种现有技术公开的前馈信号处理系统形成对比的是, 现有技术公开的前馈信号处理系统重点唯一放在作为频率的函数的信号的幅度响应, 而本发明认识到了信号的相对相位也是相当重要的。

[0105] 和各种现有技术方法形成对比的是, 现有技术包括了基于各种固定传递函数的信号处理, 每一个传递函数都在单一的选定空间方向下测得, 并且其中假定在扩散声场(全向)中使用该方法是恰当的, 而根据本发明的装置包括了传递函数随声源方向的变化, 所以可以提供全向的, 扩散声场的降噪或者噪声消除方法。

[0106] 本发明基于新的原理, 即噪声消除信号应当被布置成与进入的噪声信号在听者的耳膜处基本“时间一致”, 从而提供一种装置, 不仅可以确保听者耳膜处信号时间一致性的准确度, 同时也能够使两个信号的幅度匹配不依赖方向。

[0107] 沿着前面发明者所做的关于驻留信号对噪声信号和消除信号的幅度和相对相位的敏感性的分析, 可以得出的结论是, 通过电子滤波器或者自适应反馈或者自适应滤波装置不能获得或者调整得到正确的相位关系, 获得正确相位关系的唯一方法是提供“时间校正”系统。至此, 这意味着消除信号被巧妙的处理成使其与进入的环境噪声信号在时间上基本一致。

[0108] 然而, 这并不是直接实现的, 因为环境噪声信号自身是声学信号, 并不是一个电子信号, 所以使用信号处理装置进行修正不可行。

[0109] 附图 16 包括两幅图, 示出了驻留噪声信号水平, 以 dB 分贝为单位, 在环境噪声和消除信号量值相等但是时域错开, 分别只差  $80 \mu s$  和  $40 \mu s$  的情形下, 该驻留噪声信号水平是频率的函数。  $80 \mu s$  的时间段表示在标准室内条件下声波在空气中传播 27mm 所花的时间。可以看出在最低频率处, 高达 1kHz, 具有一个适度的消除量 (-6dB), 但是随着噪声频率的进一步增加, 噪声消除量减少直到到达“分频”点, 这里是 2kHz。这一分频频率代表时间错开相当于一个噪声信号周期的  $1/6$  ( $\pi/3$  弧度) 的点。在那些高于分频点的频率处, 时间错开使消除信号愈加同相, 而不是更加异相, 因此不会发生消极的波形消除, 相反会发生积极的波形干涉, 从而使得结果信号比原始的噪声信号更大。最大点发生在时间错开数值与半波周期相等的点, 此时驻留信号比原始噪声信号大 6dB。

[0110] 目前, 如前所述, 各种商业上可获取的有源噪声消除系统对 1kHz 以上的频率没有作用, 还需要通过它们的耳垫的被动式衰减来减少所进入的 1kHz 以上的噪声。附图 16 的第二幅图(实线)表示, 为了达到噪声消除标准, 在 2kHz 处为 -6dB, 环境噪声和消除信号的时间一致性必须达到  $40 \mu s$  或者更好的精度, 这对应于声波路径长度仅仅为空气中的 14mm。对于更严格的噪声消除标准, 在 2kHz 处为 -10dB, 时间一致性的准确性必须优于(小于)  $25 \mu s$ 。

[0111] 就正确的时间一致性会导致噪声信号的全部消除而言, 尽管前面的分析基于正弦

波,但是很清楚该系统也可以直接应用于随机的、非重复性波形。

[0112] 由于忽视电声换能器固有时间延迟,传统的前馈系统也存在问题。许多人假设用于耳机系统的电声换能器响应时间实际上是可以忽略的,因为音圈(以及膜片)的加速度和流过线圈的电流(依赖于施加的电压)是成比例的,因此声压级(每单位面积的压力)直接与此成比例关系。

[0113] 然而实际中,考虑到其声惯量、声质量以及声阻抗,耦合到膜片的空气给膜片带来了比较复杂的一个声学负载。这导致了依赖于很多因素的有限的响应时间。在发明者的实验中,即使对于直径非常小(16mm)的微型麦克风,该响应时间通常大于  $70\ \mu\text{s}$ ,对于一个直径为 38mm 的耳机型扬声器,该响应时间通常大约为  $100\ \mu\text{s}$ 。

[0114] 通过将一个话筒安装在缓冲板上,并将参考级麦克风(B&K 型 4003)与扬声器膜片同轴安装,并与扬声器膜片非常接近:大约 2mm 的位置处,可以测量小扬声器的响应时间。通过用矩形波形驱动话筒,如前所述,可以使用示波器同步同时观察麦克风信号以及驱动信号,并且测量话筒的上升时间和响应时间。穿过 2mm 间隔距离的传播延迟时间大约为  $6\ \mu\text{s}$ ,这一时间可以从测量值中减去,从而产生固有的扬声器响应时间。对于发明者使用的一个直径 34mm 扬声器,测量的响应时间大约为  $76\ \mu\text{s}$ ,所以固有的扬声器响应时间大约为  $70\ \mu\text{s}$ ,对应的声波路径长度为 24mm。

[0115] 对于附图 1 和 2 所示的前馈系统,这产生了另外一个主要的概念问题:如果能够获取正确的时间一致性,则仅仅是为了补偿换能器延迟,噪声消除信号被送到耳机扬声器的时间必须早于麦克风实际测量到信号的时间几十毫秒。

[0116] 总的来说,系统响应时间是如下的总和:(a) 扬声器固有的响应时间(如上所述)以及(b)从扬声器膜片到外耳外边缘,然后进入到外耳腔深处并最后沿着耳道向下传播到达耳膜位置处(如附图 2 所示的路径 Y)的传播时间。通常的系统响应时间为  $247\ \mu\text{s}$ 。

[0117] 关于消除信号与噪声信号的幅度匹配,在环境噪声信号到达耳膜之前,该噪声已经通过一个复杂的声学路径,该声学路径被表示为耳垫和外耳、外耳腔和耳道之间的各种泄漏路径,并终止于耳膜。所述的管道和腔室网络有效地形成了一个声学滤波器,该声学滤波器在噪声信号到达耳膜之前修正其光谱特性。频率响应和相位特性两者都被改变,如现有技术中所注意到的。然而,发明者已经发现,由于耳机/外耳声学结构对从环境噪声信号通道到耳膜,以及对从耳机扬声器到耳膜是共同的,那么对这两个信号进行的光谱特性修正也是惊人的相似。实际上,发明者已经发现,在麦克风表现出适当平坦的频率响应,而且耳机扬声器也具有相对平坦的频率响应的条件下,只需少许或不需幅度变形。

[0118] 该观察结果和一些现有技术公开的技术方案形成对照,现有技术中基于各种不同的频域传递函数的信号处理技术被提出。然而本发明的发明者使用时域方法。



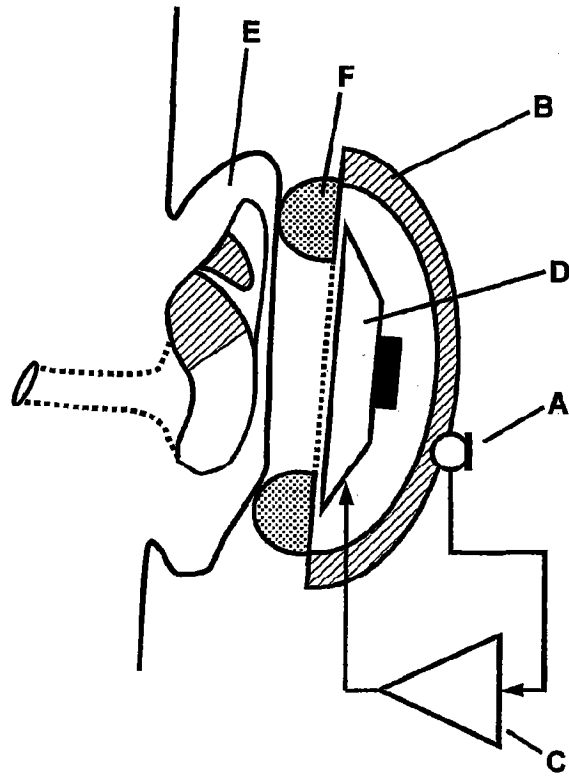


图 1  
现有技术

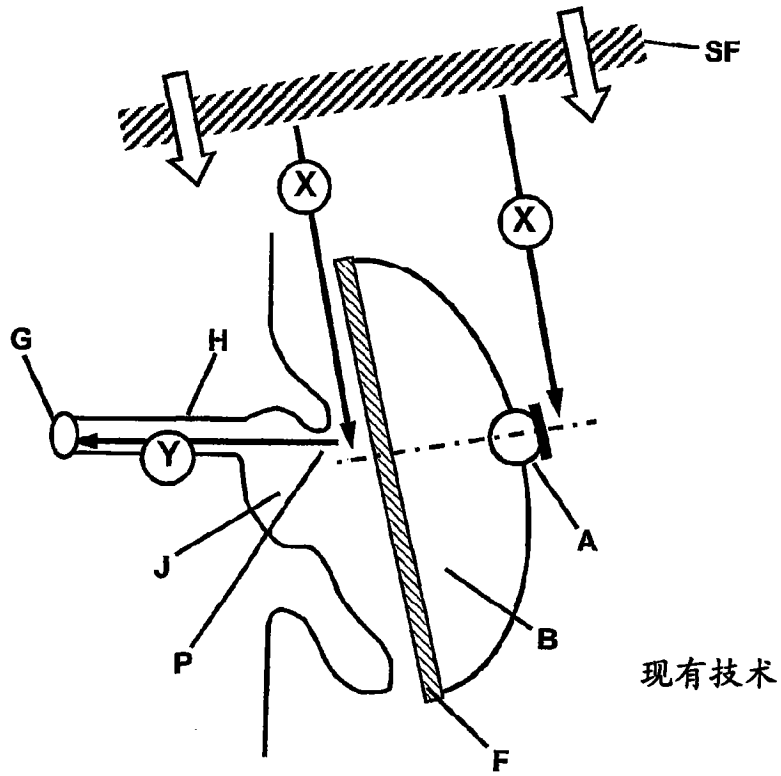


图 2a

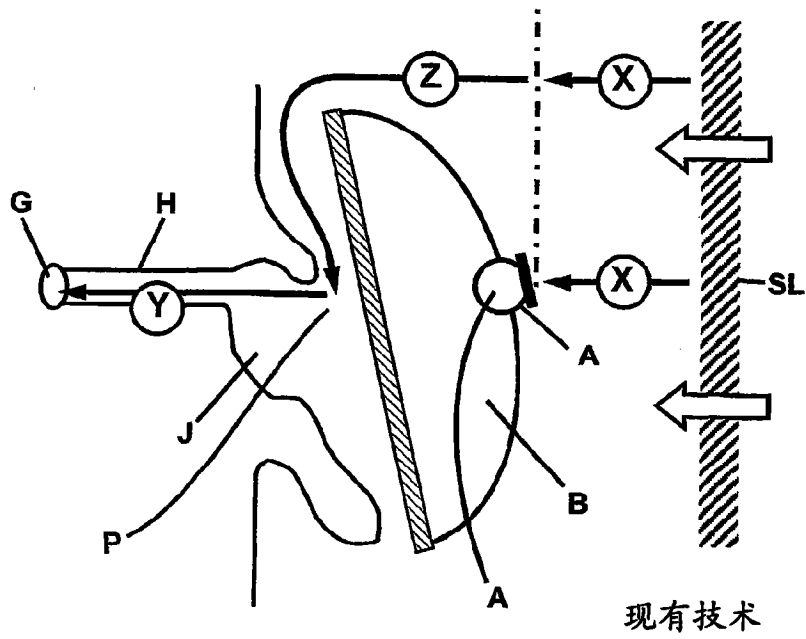
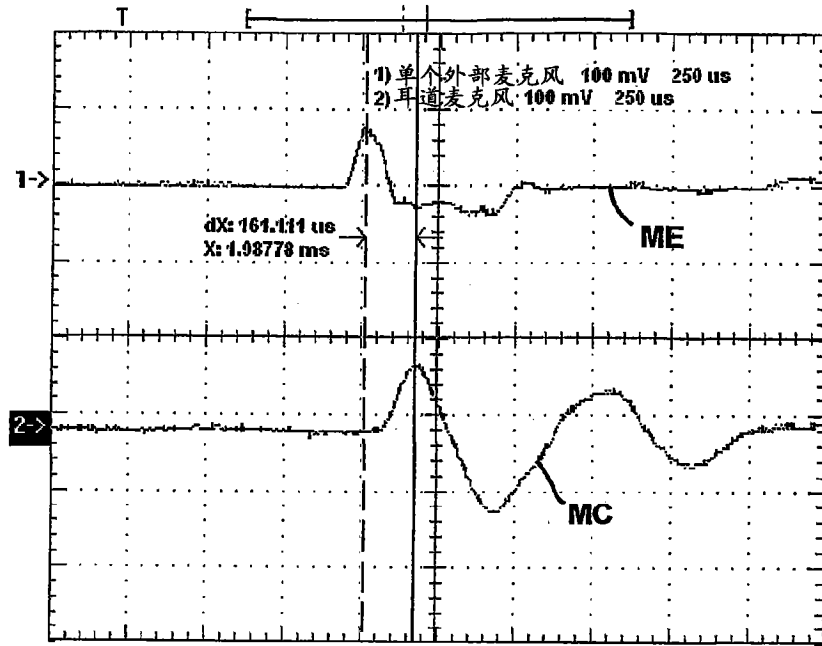
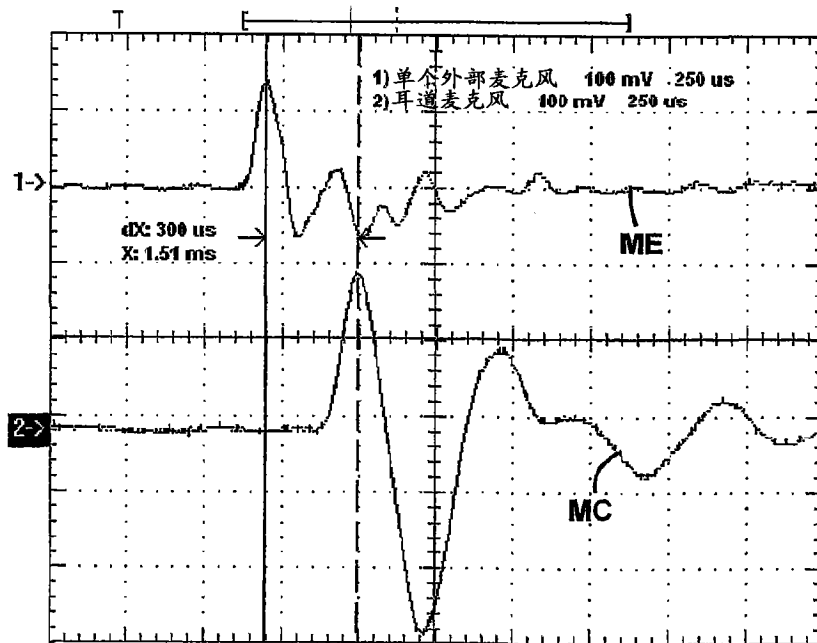


图 2b



入射角度=0度  
到达时间差=161  $\mu$ s

图 3a



入射角度=90度  
到达时间差=300  $\mu$ s

图 3b

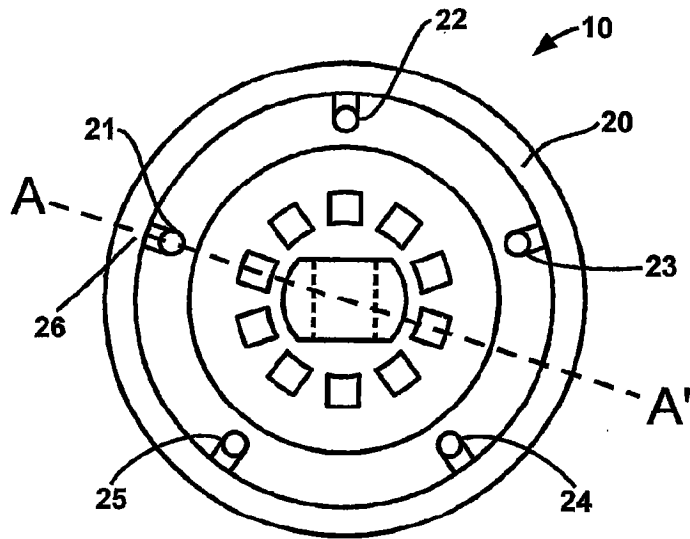


图 4a

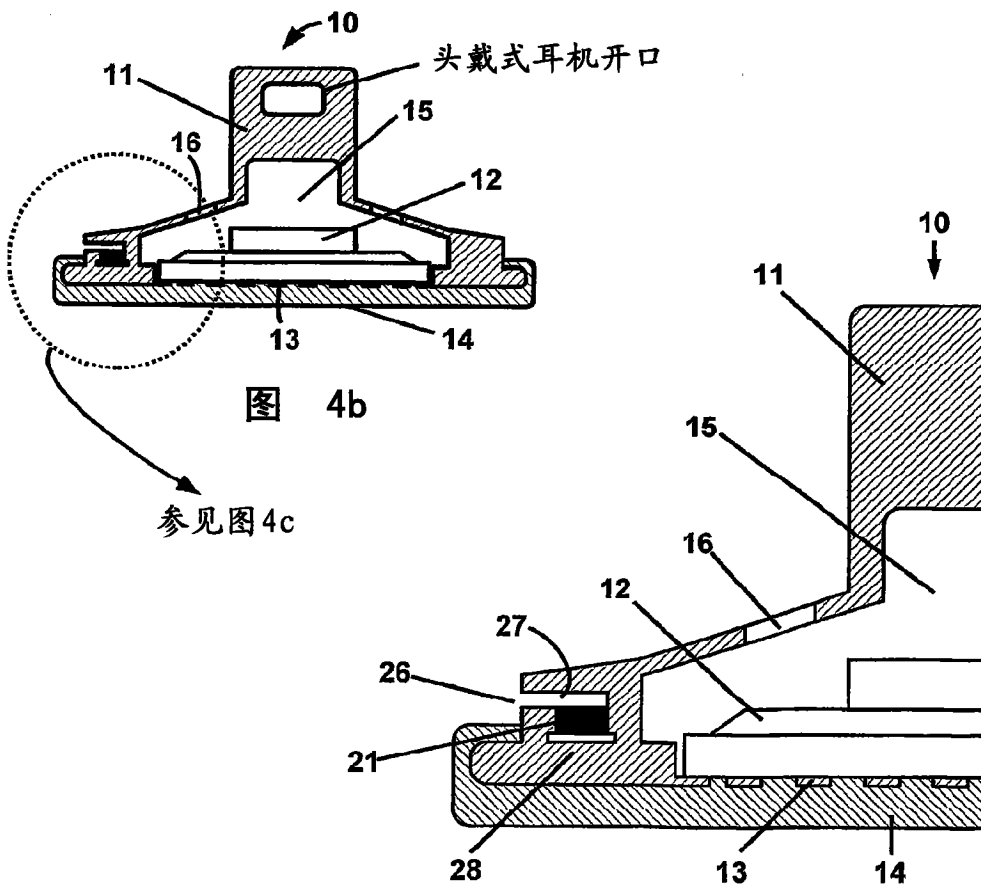


图 4b

图 4c

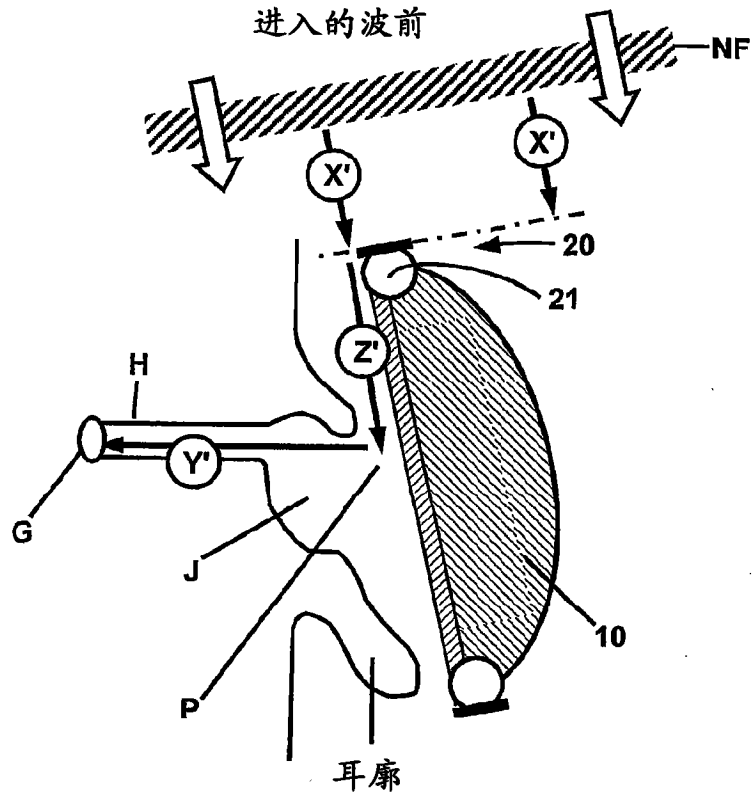


图 5a

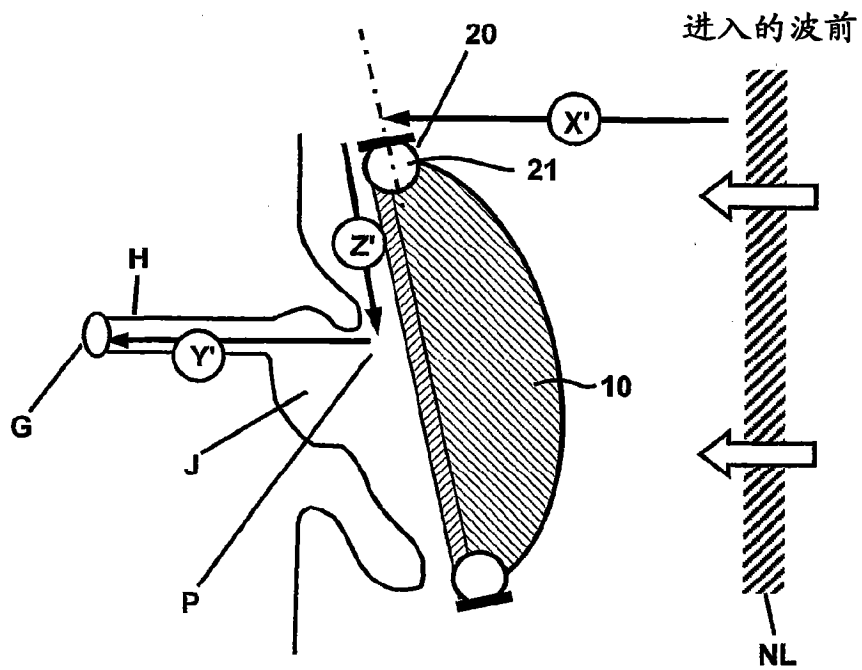


图 5b

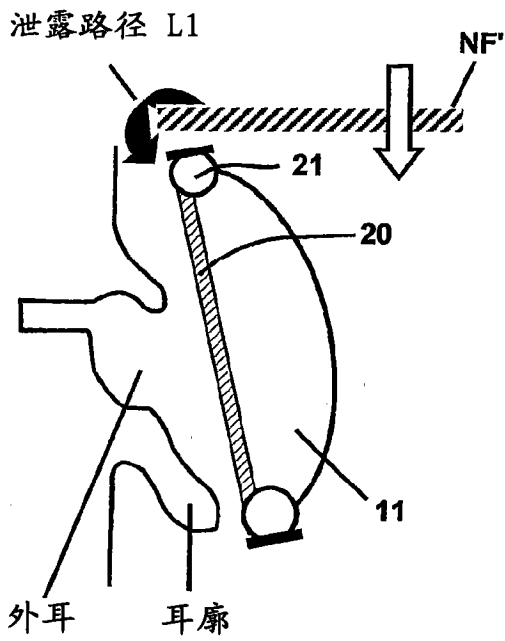


图 6a

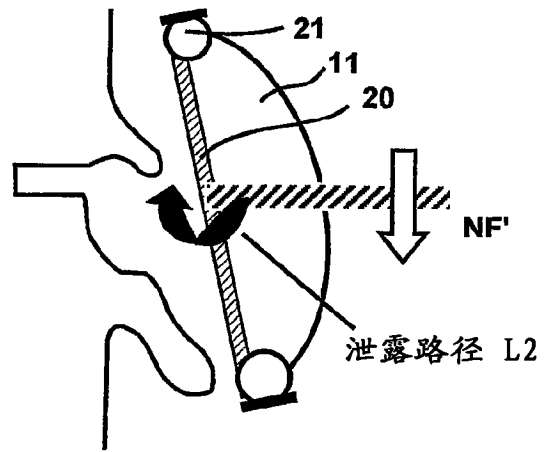


图 6b

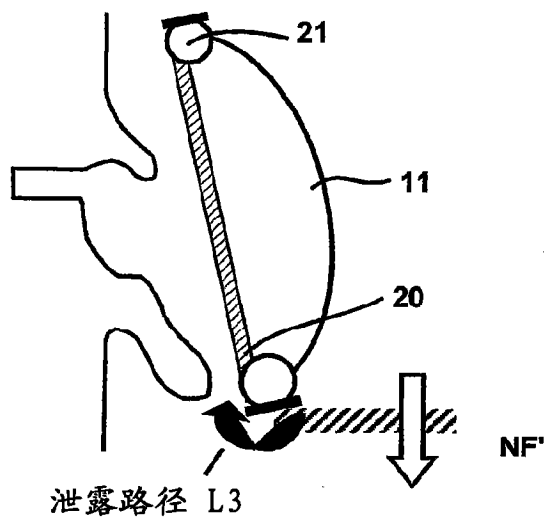
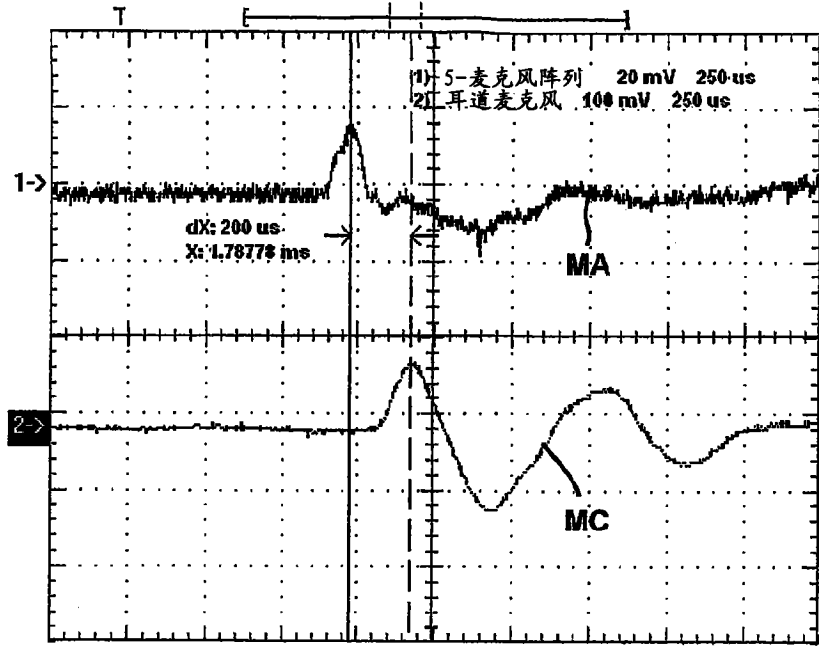
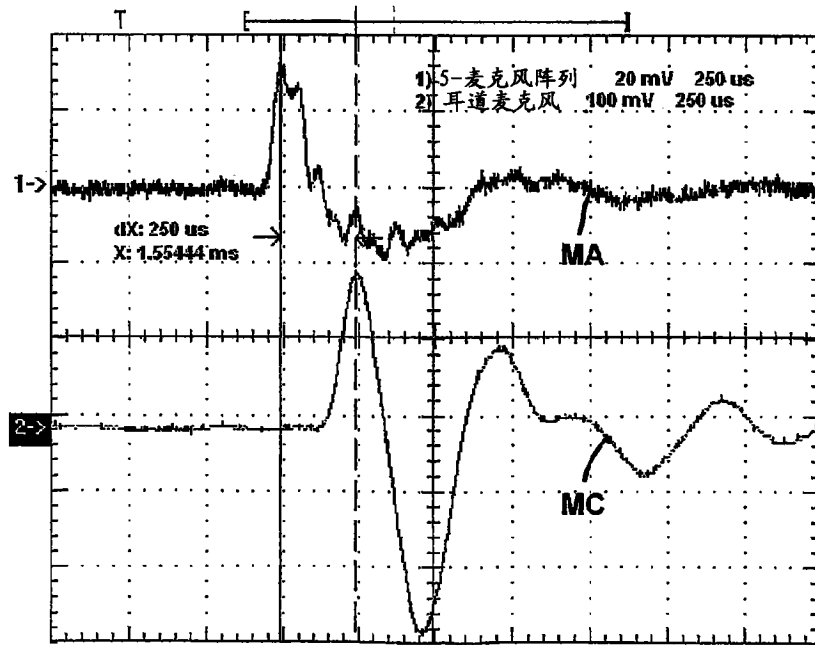


图 6c



入射角度=0度  
到达时间差=200  $\mu$ s

图 7a



入射角度=90度  
到达时间差=250  $\mu$ s

图 7b

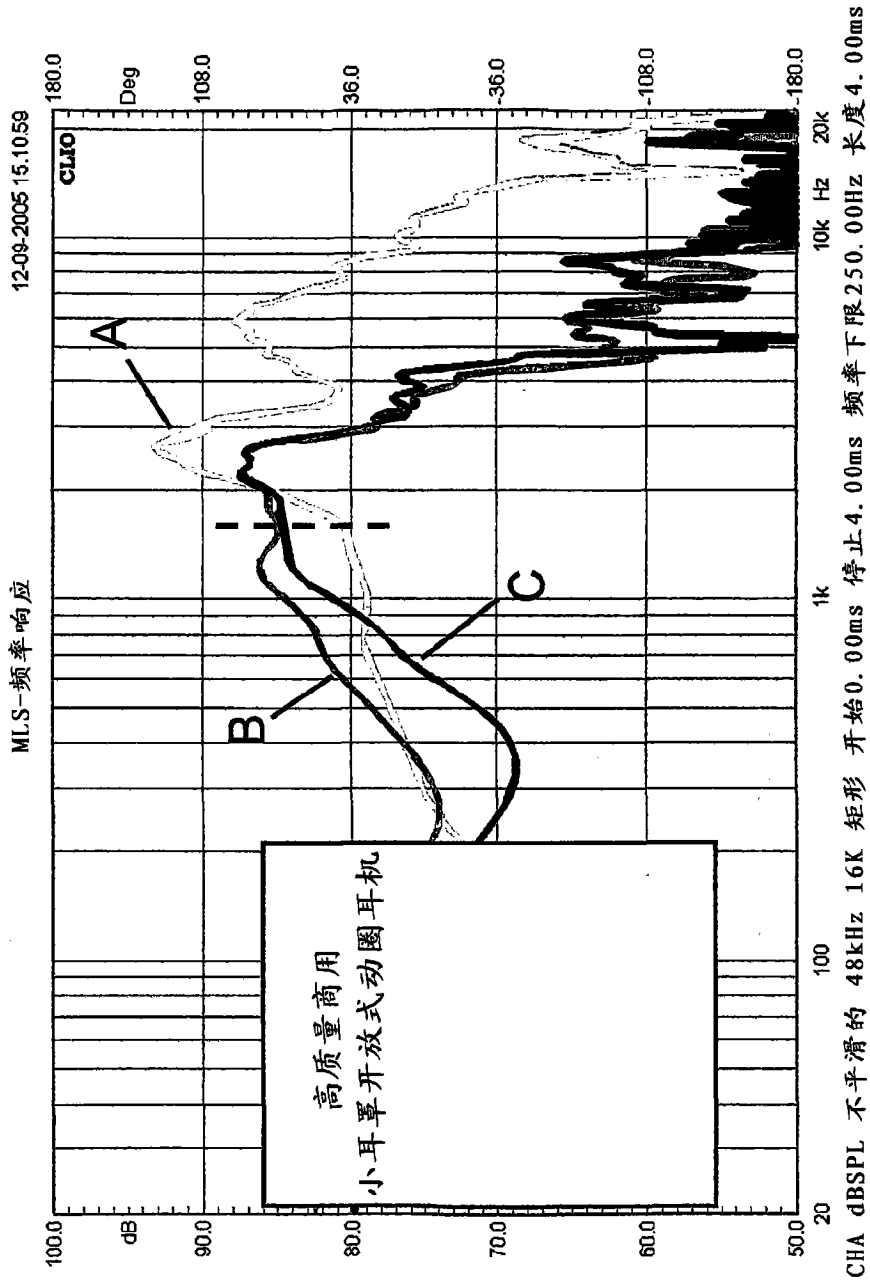


图 8



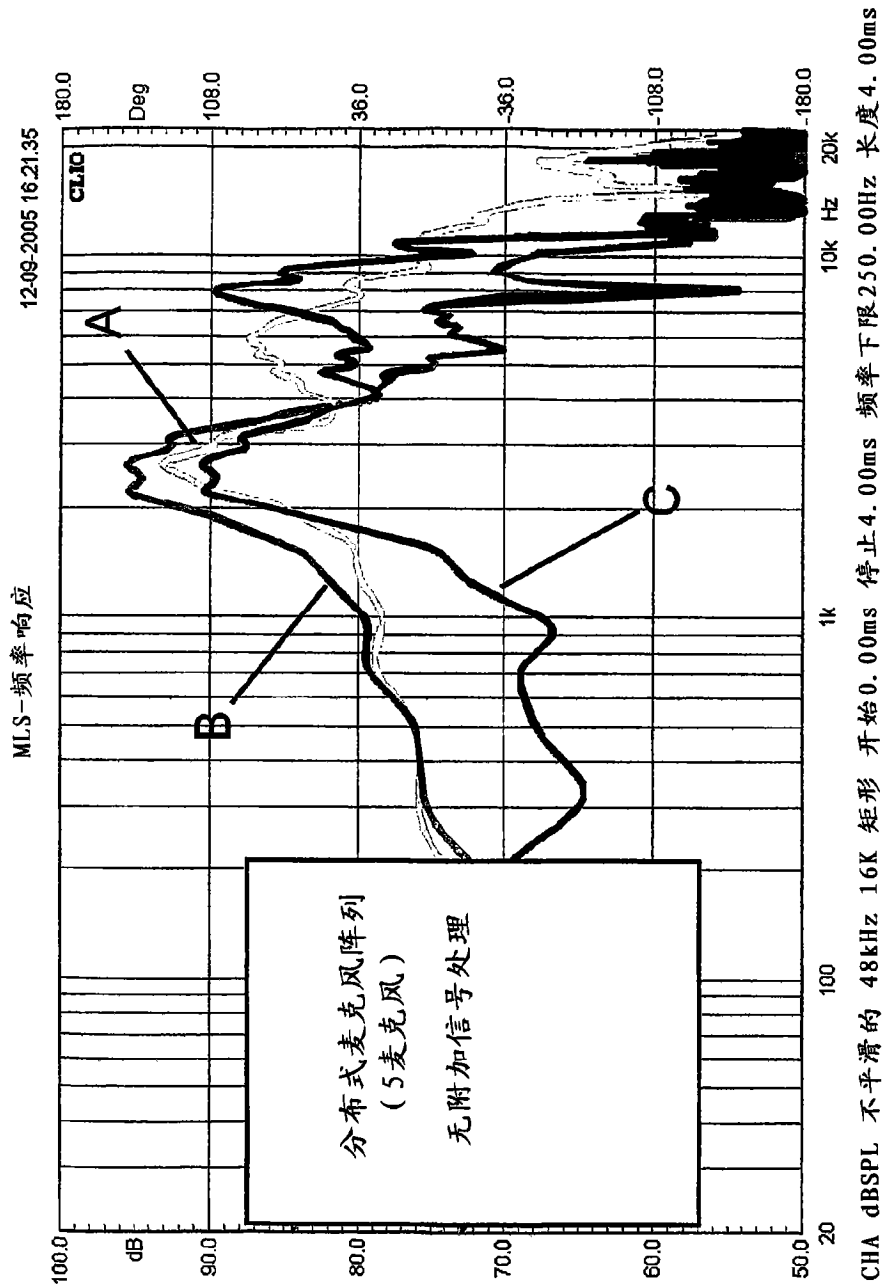


图 9

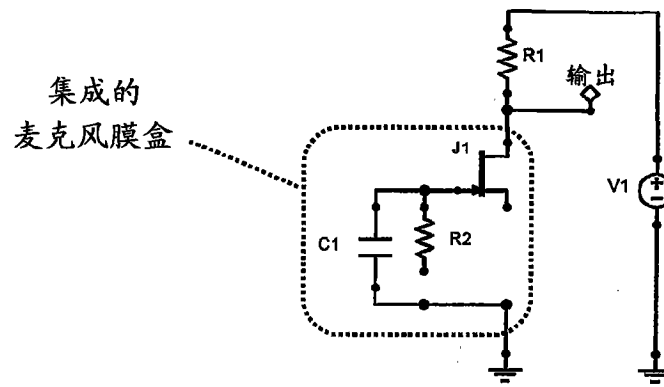


图 10a

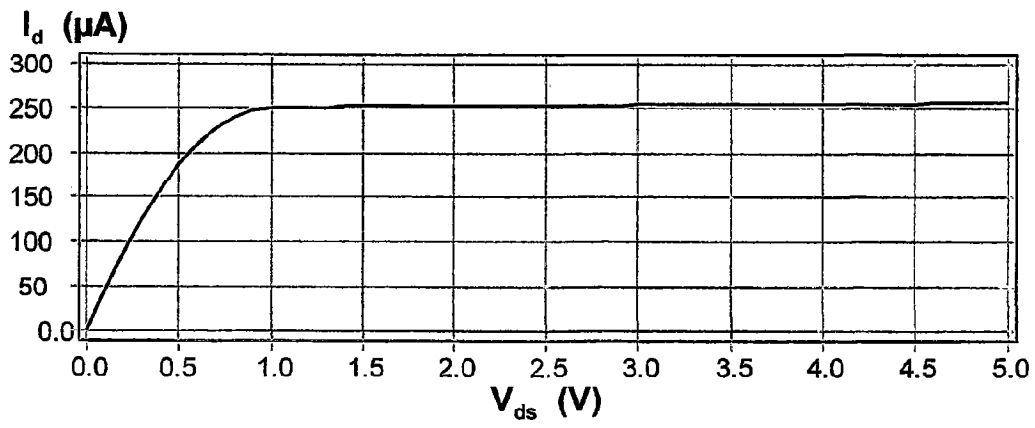


图 10b

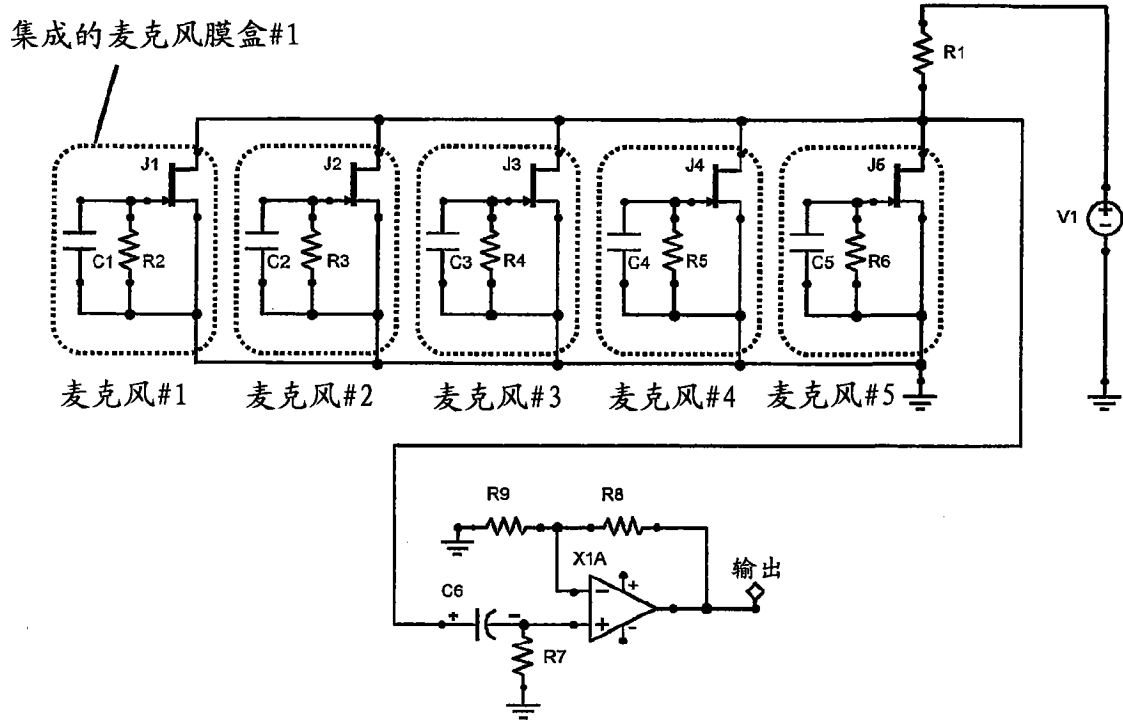


图 11

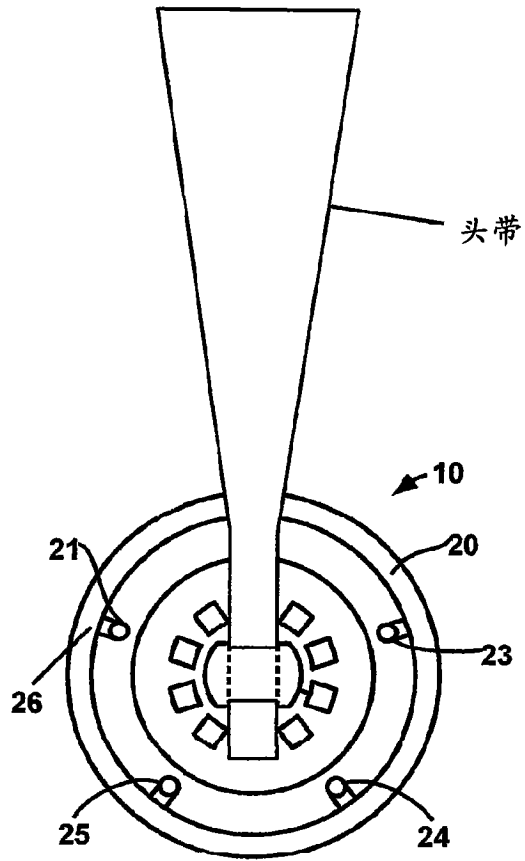


图 12

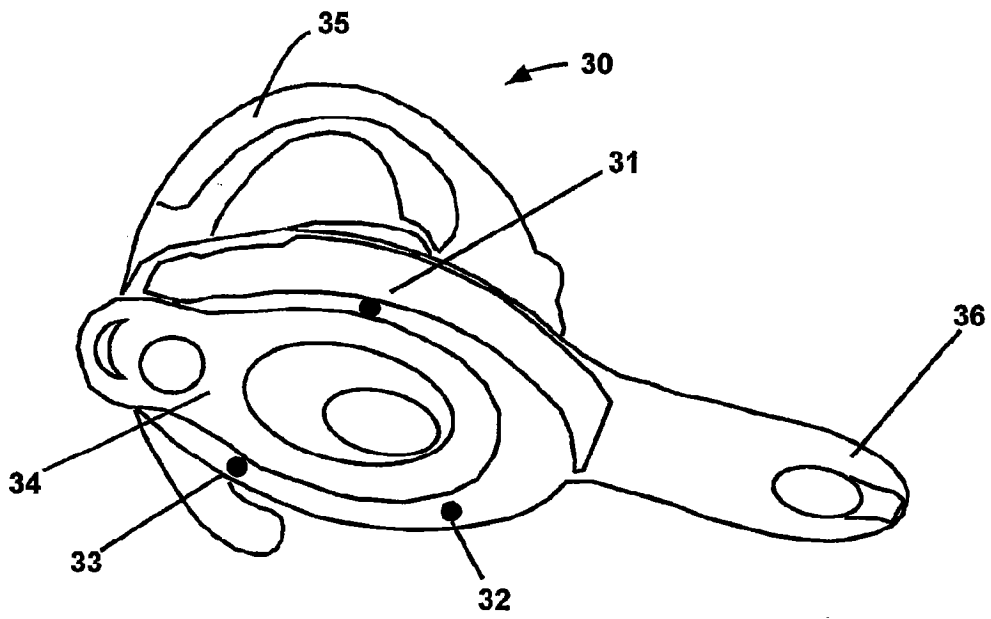


图 13

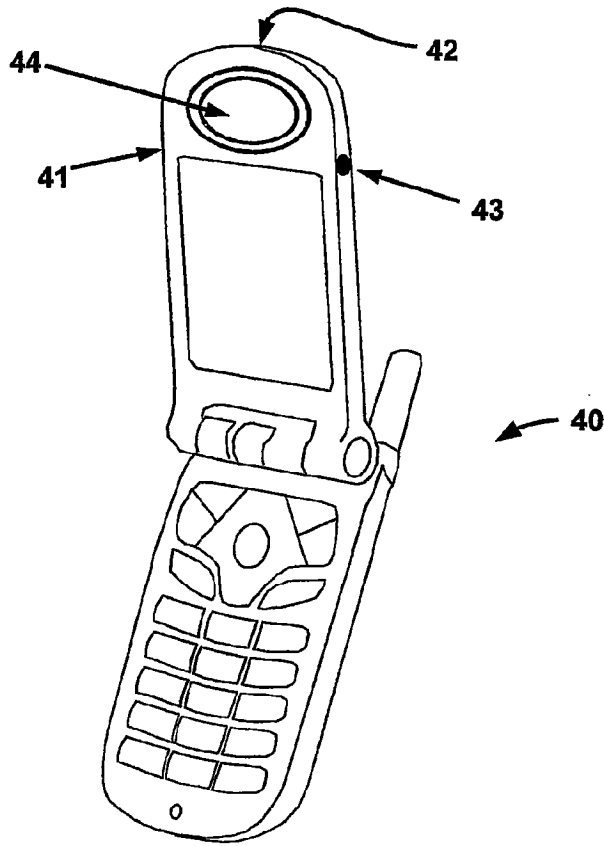


图 14

噪声消除效果

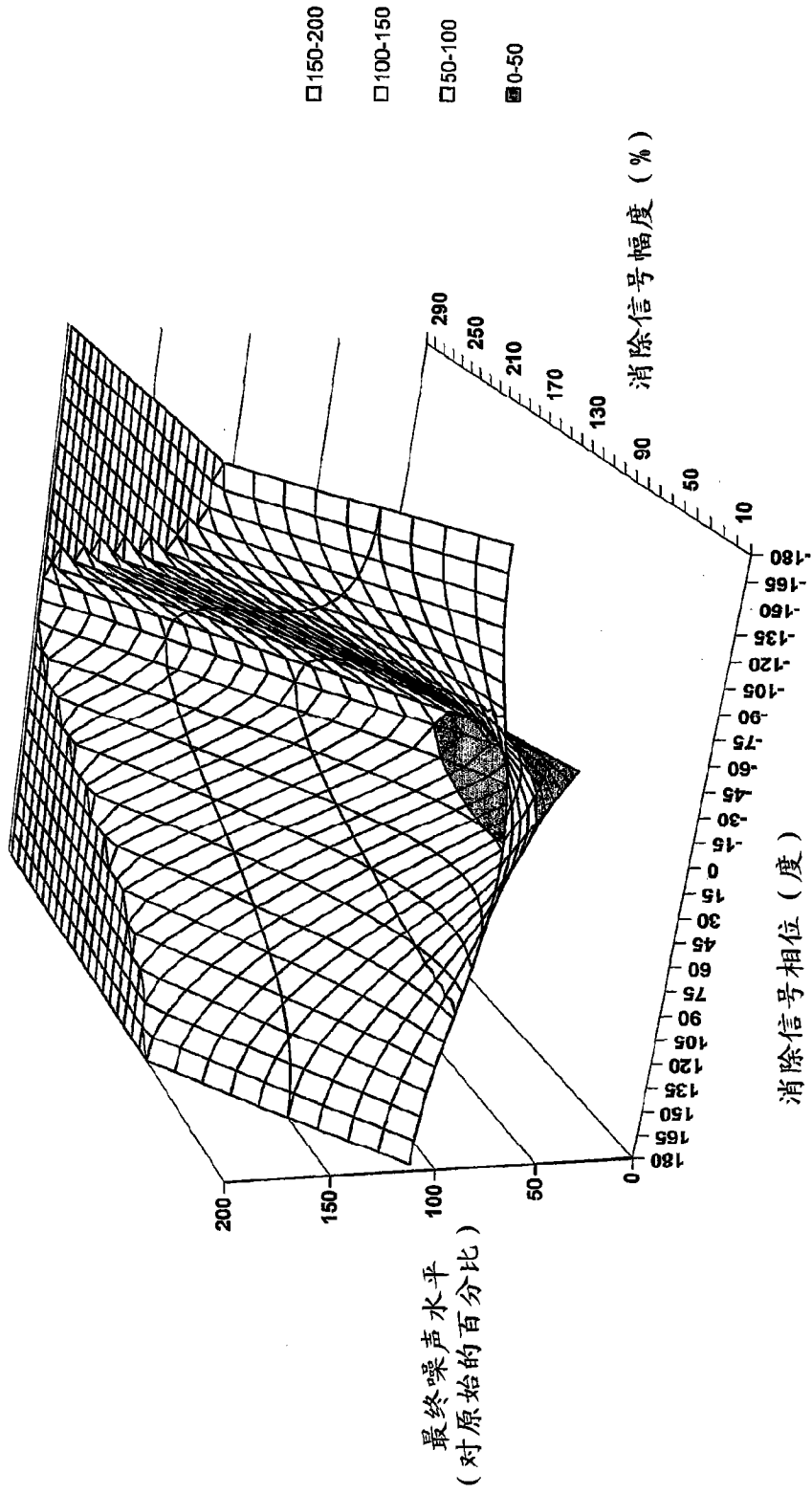


图 15

80 μs 以及 40 μs 过量时间延迟情况下可获取的最大噪声消除

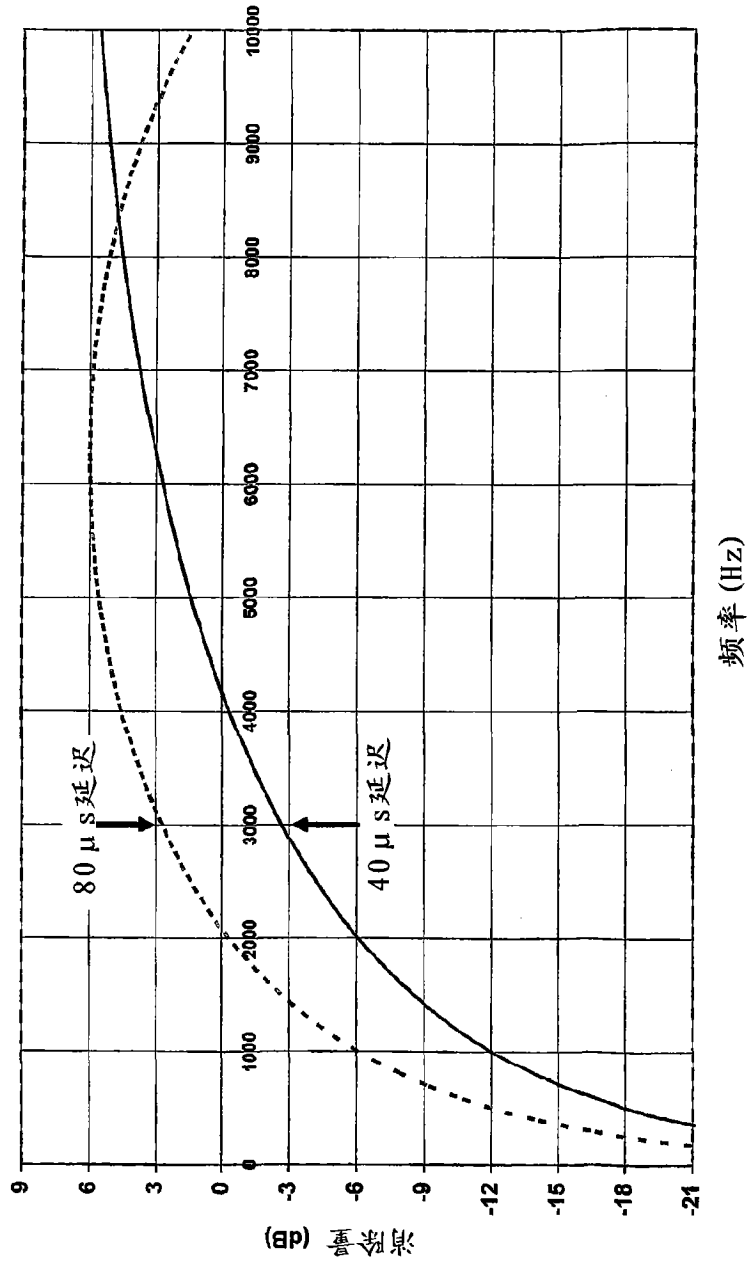


图 16