(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 1784926 B
(45)授权公告日 2012.06.20

(21)申请号 200480012200.3
(22)申请日 2004.05.06
(30)优先权数据
131538/2003 2003.05.09 JP
(85)PCT申请进入国家阶段日
2005.11.07
(86)PCT申请的申请数据
PCT/JP2004/006423 2004.05.06
(87)PCT申请的公布数据
WO2004/100603 JA 2004.11.18
(73)专利权人 雅马哈株式会社
地址 日本静冈县
(72)发明人 臼井章 野吕正夫
(74)专利代理机构 北京天昊联合知识产权代理有限公司 11112
代理人 何立波 张天舒
(51)Int.Cl.
H04R 3/12(2006.01)
H04R 1/40(2006.01)
H04R 27/00(2006.01)

(56)对比文件
US 2002/0071574 A1,2002.06.13,说明书全文.
CN 1400847 A,2003.03.05,说明书第9页第1行至第10页最后一行.
US 5301237 A,1994.04.05,说明书全文.
JP 2-241195 A,1990.09.25,说明书全文.
JP 9-233588 A,1997.09.05,说明书全文.

审查员 郑春雨

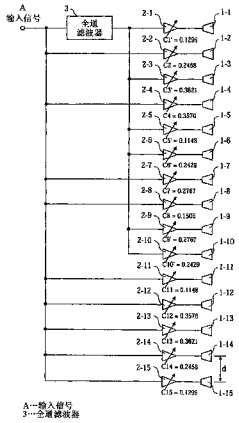
权利要求书 1 页 说明书 11 页 附图 15 页

(54)发明名称

阵列扬声器系统

(57)摘要

一种阵列扬声器系统由多个扬声器单元构成,这些扬声器单元分别装备有加权装置并且可被赋予基于贝塞尔函数的权值系数。输入信号通过在高频域中其相位旋转180度的全通滤波器,然后提供至权值系数为负值的那些扬声器单元。因此,对于低频域输出反相信号,由此能避免声音发射特性的恶化,还能够避免对于高频域信号声音发射特性中出现束状和梳状。



CN 1784926 B

1. 一种通过布置多个扬声器单元而构成的阵列扬声器系统，其特征在于，

具有全通滤波器，其在全频域内具有平直的幅度特性，该全通滤波器具有如下相位特性，在低频域内的相位旋转量为 0 度，相位旋转量随着频率的变高而增加，在高频域内的相位旋转量为 180 度，

针对基于贝塞尔函数而得到的权值系数为负值的所述扬声器单元，向通过所述全通滤波器的信号赋予根据其权值系数的绝对值而确定的权值而进行驱动，

针对基于贝塞尔函数而得到的权值系数为正值的所述扬声器单元，赋予根据其权值系数确定的权值而进行驱动，其中，用于进行驱动的信号没有通过全通滤波器。

2. 一种通过布置多个扬声器单元而构成的阵列扬声器系统，所述阵列扬声器系统包括：

全通滤波器，其在全频域内具有平直的幅度特性，该全通滤波器具有如下相位特性，在低频域内的相位旋转量为 0 度，相位旋转量随着频率的变高而增加，在高频域内的相位旋转量为 180 度；

第一装置，其与基于贝塞尔函数而得到的权值系数为负值的所述扬声器单元分别对应地设置，并且输入通过所述全通滤波器的信号，将与其权值系数的绝对值相对应的增益特性赋予高频域信号，从而驱动相应的扬声器单元；以及

第二装置，其与基于贝塞尔函数而得到的权值系数为正值的所述扬声器单元分别对应地设置，并且输入没有通过所述全通滤波器的信号，将与其权值系数相对应的增益特性赋予高频域信号，从而驱动相应的扬声器单元。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的阵列扬声器系统，其特征在于，

所述全通滤波器被设定为在与所述扬声器单元的阵列宽度相当的波长所对应的频率附近的频率，其相位旋转量为 90 度。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的阵列扬声器系统，其特征在于，

所述多个扬声器单元安装在一个共同的扬声器箱内。

5. 根据权利要求 1 或 2 所述的阵列扬声器系统，其特征在于，

所述多个扬声器单元安装在一个共同的低音反射型扬声器箱内。

阵列扬声器系统

技术领域

[0001] 本发明涉及以一维方式或二维方式布置多个扬声器单元的阵列扬声器系统。

背景技术

[0002] 通常地，其中规则地布置多个扬声器以再现和输出声音的阵列扬声器系统已为公众所知。在这些阵列扬声器系统中，作为由于使用了多个扬声器而引发问题的形式，存在下述现象：即，当再现的声音频率变高时，在声音发射特性中出现了所谓的束状和梳状（即，声音以梳状方式传播），其随着频率而变化，并且其使得难以听到声音发射中心位置以外的高频声音，或是其中的频率特性随着收听位置而显著变化。

[0003] 图 13A 至 13E 示出了关于声音发射特性的仿真结果，其中十五个扬声器单元彼此之间以 2.5cm 的间距垂直并且成直线地设置，使得它们每一个都发射出相同相位的声音。换句话说，图 13A 至 13E 示出了：当由规定的扬声器设置位置产生 500Hz、1000Hz、5000Hz、10KHz 和 15KHz 的声音频率时，在水平横截平面和垂直横截平面上测量得到的声音发射特性，以及位于距离该扬声器系统前表面 2m 的投影平面上的声音发射特性（即，声压分布）。在这里，这些图示出了与黑色区域相比，在白色区域声压变得更高。

[0004] 如前述图所示，对于几千赫兹或更高声音频率，声音发射特性中显著地出现了束状和梳状。

[0005] 为了避免这种现象的出现，已知一种贝塞尔阵列方法：即，通过向一串规则布置的扬声器赋予使用一组基于第一阶贝塞尔函数的系数的权值，来使得声音发射特性变成球形。例如，日本审定专利申请公布号为 No.H01-25480 公开了一种简化的贝塞尔阵列。

[0006] 图 14 是表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统主要部件的电路 图。图 14 中所示的阵列扬声器系统具有十五个扬声器单元，其中标号 11-1 至 11-15 指十五个扬声器单元，它们彼此之间以规定间距 d（例如，d = 2.5cm）而成直线地放置；以及标号 12-1 至 12-15 指加权装置，其用于分别向提供给相应的扬声器单元 11-1 至 11-15 的信号赋予权值系数 C1 至 C15。通常地，在加权装置 12-1 至 12-15 和相应的扬声器单元 11-1 至 11-15 之间要加入功率放大器，但本说明书中省略了其图例说明。作为加权装置 12-1 至 12-15，能够使用具有与权值系数相对应的增益的放大器。

[0007] 此处，每一个权值系数 C1 至 C15 都是根据由如下等式所定义的第一阶贝塞尔函数来计算的。

[0008] $$J_n(x)=\left(\frac{x}{2}\right)^n\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k(x/2)^{2k}}{k!\Gamma(n+k+1)}$$

[0009] 在这个使用十五个扬声器单元的例子中，使用根据前述等式得到的值 $J_{-7}(x)$ 至 $J_7(x)$。当 x = 6.0 时，能够产生如下的赋予十五个扬声器的权值系数 C1 至 C15：

[0010] C1 = $J_{-7}(6)$ = -0.1296

[0011] C2 = $J_{-6}(6)$ = 0.2458

[0012] C3 = $J_{-5}(6)$ = -0.3621

[0013] $C4 = J_{-4}(6) = 0.3576$

[0014] $C5 = J_{-3}(6) = -0.1148$

[0015] $C6 = J_{-2}(6) = -0.2429$

[0016] $C7 = J_{-1}(6) = 0.2767$

[0017] $C8 = J_{0}(6) = 0.1506$

[0018] $C9 = J_{1}(6) = -0.2767$

[0019] $C10 = J_{2}(6) = -0.2429$

[0020] $C11 = J_{3}(6) = 0.1148$

[0021] $C12 = J_{4}(6) = 0.3576$

[0022] $C13 = J_{5}(6) = 0.3621$

[0023] $C14 = J_{6}(6) = 0.2458$

[0024] $C15 = J_{7}(6) = 0.1296$

[0025] 图 15A 至 15E 示出了关于声音发射特性的仿真结果，该声音发射特性是当已赋予基于第一阶贝塞尔函数的权值系数 C1 至 C15 的扬声器单元 11-1 至 11-15 被驱动时测量得到的，它们表示：当由规定的扬声器设置位置产生 500Hz、1000Hz、5000Hz、10KHz 和 15KHz 声音频率时，在水平横截平面和垂直横截平面上测量得到的声音发射特性，以及位于距离该扬声器系统前表面 2m 的投影平面上的声音发射特性。

[0026] 与图 13A 至 13E 相比，图 15A 至 15E 表明在贝塞尔阵列的声音发射特性中没有出现束状和梳状。因此，能够实现前述球状声音发射特性。如上所述，驱动采用基于贝塞尔函数的权值系数的扬声器单元是避免在声音发射特性中出现束状和梳状的一种有效方法。

[0027] 然而，当基于贝塞尔函数的权值系数 C1 至 C15 包括负值时，在低频域内的声音发射特性可能恶化；因此，难以再现低频声音。特别是，这种现象会给这样的阵列扬声器系统带来不好的结果：即，该阵列扬声器系统是将多个扬声器单元安装在一个共同的扬声器箱或一个共同的低音反射型扬声器箱内。

[0028] 考虑到上述情况，本发明的目的是提供一种阵列扬声器系统，其中，在从低频到高频的宽频率范围内，能够避免在声音发射特性中出现束状和梳状，以及能有效地实现声音发射。

发明内容

[0029] 本发明阵列扬声器系统通过布置多个扬声器单元而构成，其中，为响应低频域信号，所有扬声器单元都以相同相位被驱动；而为响应高频域信号，扬声器单元以基于贝塞尔函数的权值系数被各自驱动。

[0030] 可选择地，为响应低频域信号，还能够以相同相位和相同增益驱动来所有扬声器单元。

[0031] 此外，设置可用于实现高频域中 180 度相位旋转的全通滤波器，使得基于贝塞尔函数的权值系数为负值的扬声器单元能以权值系数的绝对值被驱动，将权值系数的绝对值赋予经由全通滤波器供给的信 号，然而基于贝塞尔函数的权值系数不为负值的其它扬声器单元则直接以其权值系数被驱动，而无需插入全通滤波器。

[0032] 进一步地，本发明阵列扬声器系统中设置有：全通滤波器，其被设置为实现高频域

中 180 度相位旋转；装置，其分别与基于贝塞尔函数的权值系数为负值的扬声器单元相连接，从而将与权值系数的绝对值相对应的增益特性赋予经由全通滤波器输入来的信号中的高频域信号成分；以及装置，其分别与基于贝塞尔函数的权值系数为非负值的扬声器单元相连接，从而将与权值系数相对应的增益特性赋予高频域信号成分。

[0033] 前述全通滤波器可采用这样的方式设置：即，对于与相当于扬声器单元宽度的波长相对应的频率附近的频率，将其相位旋转设成 90 度。

[0034] 进一步地，本发明阵列扬声器系统中提供：过滤装置，其用于将输入信号划分为低频域信号成分和高频域信号成分；加权装置，其分别与扬声器单元连接以使之能将基于贝塞尔函数的权值系数赋予高频域信号成分；以及加法运算装置，其分别与扬声器单元连接以使之能将低频域信号成分与已由加权装置赋予了基于贝塞尔函数的权值系数的高频域信号成分相加，从而将加法结果输出至扬声器单元。

[0035] 另外，本发明阵列扬声器系统中，例如，可将多个扬声器单元安装在一个共同的扬声器箱内或一个共同的低音反射型扬声器箱内。

附图说明

[0036] 图 1 是表示根据本发明的第一个实施例的阵列扬声器系统主要部件的电路图；

[0037] 图 2A 表示图 1 中所示全通滤波器结构的一个实例；

[0038] 图 2B 表示全通滤波器的相位特性；

[0039] 图 3A 表示第一个实施例的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 500Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0040] 图 3B 表示第一个实施例的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 1000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0041] 图 3C 表示第一个实施例的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 5000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0042] 图 3D 表示第一个实施例的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 10kHz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0043] 图 3E 表示第一个实施例的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 15kHz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0044] 图 4A 表示无限长脉冲冲激响应数字全通滤波器结构的一个实例；

[0045] 图 4B 表示无限长脉冲冲激响应数字全通滤波器的相位特性；

[0046] 图 5 是表示根据本发明的第二个实施例的阵列扬声器系统主要部件的电路图；

[0047] 图 6A 表示与规定扬声器单元相连的放大器结构的实例；

[0048] 图 6B 表示与规定扬声器单元相连的斜坡型高通滤波器结构的实例；

[0049] 图 6C 表示与规定扬声器单元相连的斜坡型高截止滤波器结构的实例；

[0050] 图 7 表示如图 6A 至 6C 所示结构的电路的增益特性；

[0051] 图 8A 表示根据本发明的第三个实施例的阵列扬声器系统中与每个扬声器单元相连的滤波器电路结构的实例；

[0052] 图 8B 表示图 8A 所示滤波器的增益特性；

[0053] 图 8C 表示图 8A 所示滤波器的相位特性；

[0054] 图 9A 表示前述滤波器的电路结构的另一个实例；

[0055] 图 9B 表示图 9A 所示滤波器的增益特性；

[0056] 图 9C 表示图 9A 所示滤波器的相位特性；

[0057] 图 10 是表示根据本发明的第三个实施例的阵列扬声器系统主要部件的电路图；

[0058] 图 11A 表示当每个扬声器单元的增益设为“1”时在产生的声音频率为 900Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0059] 图 11B 表示当每个扬声器单元的增益设为“1”时在产生的声音频率为 1000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0060] 图 11C 表示当每个扬声器单元的增益设为“1”时在产生的声音频率为 1200Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0061] 图 11D 表示当每个扬声器单元的增益设为“1”时在产生的声音频率为 1500Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0062] 图 12 是表示根据本发明的第四个实施例的阵列扬声器系统主要部件的电路图；

[0063] 图 13A 表示传统的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 500Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0064] 图 13B 表示传统的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 1000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0065] 图 13C 表示传统的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 5000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0066] 图 13D 表示传统的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 10kHz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0067] 图 13E 表示传统的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 15kHz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0068] 图 14 是表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统主要部件的电路图；

[0069] 图 15A 表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 500Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0070] 图 15B 表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 1000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0071] 图 15C 表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 5000Hz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0072] 图 15D 表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 10kHz 的情况下测量得到的声音发射特性；

[0073] 图 15E 表示采用贝塞尔阵列的阵列扬声器系统中在产生的声音频率为 15kHz 的情况下测量得到的声音发射特性。

具体实施方式

[0074] 将参照附图对本发明的优选实施例进行详细描述。

[0075] 首先，将给出关于本发明阵列扬声器系统的基本原理的说明。

[0076] 如图 13A 至 13E 表示的声音发射特性所示，当形成阵列扬声器系统的所有扬声器

单元发射出具有相同相位的规定声音频率的声音时，在低频域的声音发射特性中（即，图13A和13B所示的1kHz或更低的频率）没有出现束状和梳状，甚至当采用基于贝塞尔函数的权值系数的加权没有实施时。由于这个原因，这样设计本发明，使得在不会导致声音发射特性中出现束状和梳状问题的低频域内，每个扬声器单元都以正相位被驱动从而避免声音发射特性恶化，然而在造成声音发射特性中出现束状和梳状的高频域内，每个扬声器单元都采用基于贝塞尔函数的权值系数来驱动。因此，在从低频域到高频域的宽频率范围内，都能有效地执行声音发射而避免声音发射特性中出现束状和梳状。

[0077] 下文中，将给出关于本发明阵列扬声器系统的说明。在该系统中，每个扬声器单元在低频域内都以正相位被驱动，而在高频域内都以基于贝塞尔函数的权值系数来驱动。

[0078] 图1是表示根据本发明的第一个实施例的阵列扬声器系统主要部件的电路图。在类似于传统实例的本实施例中，阵列扬声器系统采用十五个扬声器单元组成，其中与前述C1至C15的数值相同地设置基于贝塞尔函数的权值系数。然而，本发明不必局限于前述结构。因此，本发明同样可应用于具有多个扬声器单元（例如，五个或五个以上的扬声器单元）的其它阵列扬声器系统中，其中可将权值系数设置为规定的数值，而不是前述C1至C15的数值。

[0079] 此外，这样设计本实施例，使得每个扬声器单元在低频域内以正相位被驱动，在高频域内以基于贝塞尔函数的权值系数来驱动。由于这个原因，本实施例使用在高频域中相位变化180度的全通滤波器。

[0080] 图1中，标号1-1至1-15指彼此之间以规定间距d（例如，d＝2.5cm）放置的十五个扬声器单元；标号2-1至2-15指加权装置，该加权装置用于利用基于贝塞尔函数的权值系数对提供至相应扬声 器单元1-1至1-15的信号进行加权。它们与图14中所示标号11-1至11-15和标号12-1至12-15所指对象相一致。然而，图1与图14不同之处在于：加权装置2-1至2-15中采用的权值系数为绝对值。也就是说，在图14所示的阵列扬声器系统中，权值系数C1、C3、C5、C6、C9和C10设为负值，而在图1所示的阵列扬声器系统中，加权装置2-1、2-3、2-5、2-6、2-9和2-10采用由绝对值表示的权值系数C1’、C3’、C5’、C6’、C9’和C10’。

[0081] 标号3指全通滤波器，该全通滤波器的幅度特性在全频域内平直；且其相位特性在低频域内实现0度相位旋转，而在高频域内通过变化180度而反相。

[0082] 图2A表示全通滤波器结构的一个实例；图2B表示它的相位特性。如图2B所示，全通滤波器3具有的相位特性为：在低频域内相位旋转被设置为0度，并且其随着频率的变高而逐渐升高，在大约700Hz时达到90度，在10kHz或10kHz以上的高频域内相位旋转被设置为180度。

[0083] 图1中，施加到信号输入端的输入信号直接提供至基于贝塞尔函数的权值系数为正值的加权装置2-2、2-4、2-7、2-8、2-11、2-12、2-13、2-14以及2-15，同时它也经由全通滤波器3而提供至其它的加权装置2-1、2-3、2-5、2-6、2-9和2-10。在加权装置2-1至2-15中，如上所述提供的输入信号被赋予各个权值系数，然后其输出被分别提供至扬声器单元1-1至1-15。

[0084] 也就是说，在相应加权装置中已被赋予了权值系数的信号被分别提供至基于贝塞尔函数的权值系数为正值的扬声器单元1-2、1-4、1-7、1-8和1-11至1-15中。此外，对于

低频信号（对于该信号全通滤波器 3 使相位旋转不超过 90 度），将这样的权值赋予权值系数为负值的那些扬声器单元 1-1、1-3、1-5、1-6、1-9 和 1-10：该权值与权值系数为正值的那些扬声器单元所赋予的权值同相（即，极性相同），该权值系数基于贝塞尔函数而得到。与此相反，对于高频信号（对于该信号全通滤波器 3 使相位旋转超过 90 度），将这样的权值赋予权值系数为负值的那些扬声器单元 1-1、1-3、1-5、1-6、1-9 和 1-10：该权值与权值系数为正值的那些扬声器单元所赋予的权值相位相反（即，极性相反），该权值系数基于贝塞尔函数而得到。

[0085] 也就是说，在高频域内，将负的权值系数赋予基于贝塞尔函数的权值系数为负值的扬声器单元，由此使得基于贝塞尔函数的权值系数有效地运行。在低频域内，将相同相位的信号提供至相应的扬声器单元；因此能以充分的幅度再现低频声音。

[0086] 图 3A 至 3E 示出了实施例中声音发射特性的仿真结果，并且表示：当由规定的扬声器设置位置产生 500Hz、1000Hz、5000Hz、10KHz 和 15KHz 声音频率时，在水平横截平面和垂直横截平面上测量得到的声音发射特性，以及位于距离该扬声器系统前表面 2m 的投影平面上的声音发射特性。

[0087] 与图 13A 至 13E 所示的前述声音发射特性相比，如图 3A 至 3E 所示，在本实施例中能够充分地避免声音发射特性中出现束状和梳状。

[0088] 另外，全通滤波器 3 不必使用如图 2A 所示的模拟滤波器来构成，因此，它也能使用数字滤波器来构成，该数字滤波器前后配备有 A/D 转换器和 D/A 转换器。

[0089] 例如，假定图 2A 所示的模拟全通滤波器 3 具有如下传递函数：

[0090] $$H(S)=\frac{1-CRS}{1+CRS}$$

[0091] 使用如下公式对其进行 Z 轴域的双线性变换。

[0092] $$S=\frac{2}{T*\frac{\left(1-Z^{-1}\right)}{1+Z^{-1}}}$$

[0093] 因此，将其转化为下式：

[0094] $$H(Z)=\frac{(T-2CR)+(T+2CR)Z^{-1}}{(T+2CR)+(T-2CR)Z^{-1}}$$

[0095] 上式中，当 C = 0.047μF、R = 4.7kΩ、采样频率 f_S = 48Hz 时，它 可表示为下式：

[0096] $$H(Z)=\frac{-420*10^{-1}+(460*10^{-1})Z^{-1}}{460*10^{-1}+(-420*10^{-1})Z^{-1}}$$

[0097] 这个数字滤波器可使用如图 4A 所示的 IIR(Infinite ImpulseResponse，无限长脉冲冲激响应）滤波器来构成，其相位特性如图 4B 所示。

[0098] 如上所述，每个扬声器单元都具有基于贝塞尔函数的不同的权值系数。例如，就图 14 所示的权值系数 C1 至 C15 而言，绝对值最大的 C3 = -0.3621 比绝对值最小的 C5 = -0.1148 在增益方面增长了大约 3.15 倍。由于这个原因，必须减小不需要采用基于贝塞尔函数的权值系数进行加权的低频域内的声音转换效率。

[0099] 将参照图 5、图 6A 至 6C 以及图 7 对本发明的第二个实施例进行说明，本发明的第二个实施例经设计可消除前述缺陷。

[0100] 在第二个实施例中，将这样的滤波器用作加权装置：即，对于低频域，其具有同样的增益；对于高频域，其具有与基于贝塞尔函数的权值系数相对应的增益。也就是说，设置一个参照扬声器单元；然后，赋予该参照扬声器单元平直的增益特性。对于其它的扬声器单元，对于低频域，设置与参照扬声器单元的增益相同的增益；对于高频域，采用这样的滤波器作为加权装置：即，其具有的增益特性表示其它扬声器单元权值系数与参照扬声器单元权值系数相比的比率。另外，类似于前述第一个实施例，全通滤波器 3 的输出直接提供至基于贝塞尔函数的权值系数为负值的扬声器单元。

[0101] 图 5 中，标号 1-1 至 1-15 指扬声器单元；标号 3 指全通滤波器；以及标号 4-1 至 4-15 指用于向扬声器单元 1-1 至 1-15 赋予规定权值的电路。在第二个实施例中，扬声器单元 1-1（权值系数 C1' = 0.1296）用作参照扬声器单元。由于关于权值系数 C15 = C1' 这样的关系，所以扬声器单元 1-15 相当于参照扬声器单元。因此，具有平直频率特性的放大器 4-1 和 4-15 分别与参照扬声器单元 1-1 和 1-15 相连接。

[0102] 当赋予到扬声器单元 1-2 至 1-4、1-6 至 1-10 和 1-12 至 1-14 的权值系数的绝对值大于赋予到参照扬声器单元的权值系数的绝对值 0.1296 时，将高通滤波器 4-2 至 4-4、4-6 至 4-10 和 4-12 至 4-14（它们每一个都是所谓的斜坡型 (shelving type)）连接至扬声器单元 1-2 至 1-4、1-6 至 1-10 和 1-12 至 1-14。这些高通滤波器在低频域内具有平直的增益特性；对于高频域，它们还具有这样的增益特性：即，该增益特性随着赋予到对应扬声器单元的权值系数与参照权值系数 C1(C15) 相比的比率而上升。

[0103] 赋予到其它扬声器单元 1-5 和 1-11 的两个权值系数被设置为 0.1148，其低于参照权值系数 0.1296。因此，将斜坡型高截止滤波器与它们相连接，该高截止滤波器在低频域内具有平直的增益特性，并且还具有随着其权值系数与参照权值系数 C1 相比的比率而下降的增益特性。

[0104] 图 6A 表示适用于前述放大器 4-1 和 4-15 的结构实例。图 6B 表示适用于前述高通滤波器 4-2 至 4-4、4-6 至 4-10 和 4-12 至 4-14 的结构实例。而且，图 6C 表示适用于前述高截止滤波器 4-5 和 4-11 的结构实例。

[0105] 图 6A 至 6C 所示的电路中，直流增益（即，低频域增益）由电阻 R2 和 R1 之间的比值 (R2/R1) 决定。另外，在标号 4-1 至 4-15 所指电路中使用相同数值的电阻 R1 和 R2。因此，对于低频域，对提供给扬声器单元 1-1 至 1-15 的信号赋予相同的增益。更为具体地，进行这样的设置使得 R1 = 33kΩ，R2 = 47kΩ；由此，直流增益被置为 20log(47/33) = 3.07dB。

[0106] 在图 6B 和图 6C 所示的每个高通滤波器和高截止滤波器中，分别选定电阻 R3 和电容 C 的规定数值，使得设置的高频域内的增益随着相应权值系数绝对值与参照权值系数 (0.1296) 相比的比率而变化。

[0107] 例如，对于具有权值系数 C2 = 0.2458 的高通滤波器 4-2，确定其电路常数（即 R3 = 36kΩ，C = 3300pF），以使得与连接至参照扬声器单元 1-1 的放大器 4-1 的增益相比，其高频域增益增加 20log(0.2458/0.1296) = 5.56dB，即该高频增益被设定为 3.07+5.56 = 8.63dB。对于高通滤波器 4-3，确定其电路常数（即 R3 = 18 kΩ，C = 5600pF），以使得其高频域增益被设定为 20log(0.3621/0.1296)+3.07 = 12.0dB。同样地，对于高通滤波器 4-4，其高频域增益被设定为 20log(0.3576/0.1296)+3.07 = 11.9dB，它与高通滤波器 4-3 的增益大致相等；因此，同样设置其电路常数（即 R3 = 18kΩ，C = 5600pF）。根据类似计

算，对于高通滤波器 4-6 设置电路常数 R3 = 36kΩ 和 C = 3300pF ；对于高通滤波器 4-7 设置电路常数 R3 = 30kΩ 和 C = 3900pF ；对于高通滤波器 4-8 设置电路常数 R3 = 20kΩ 和 C = 1000pF ；对于高通滤波器 4-9 设置电路常数 R3 = 30kΩ 和 C = 3900pF ；对于高通滤波器 4-10 设置电路常数 R3 = 36kΩ 和 C = 3300pF ；对于高通滤波器 4-12 设置电路常数 R3 = 18kΩ 和 C = 5600pF ；对于高通滤波器 4-13 设置电路常数 R3 = 18kΩ 和 C = 5600pF ；以及对于高通滤波器 4-14 设置电路常数 R3 = 36kΩ 和 C = 3300pF。

[0108] 此外，高截止滤波器 4-5 和 4-11 具有相同的权值系数，其绝对值为 0.1148。因此，如图 6C 所示确定其电路常数（例如，R3 = 360kΩ，C = 470pF），以使得与连接至参照扬声器单元的放大器 4-1 的增益相比，其高频域增益变化了 20log(0.1148/0.1296) = -1.05dB，即该高频增益设为 3.07-1.05 = 2.02dB。

[0109] 图 7 表示标号 4-1 至 4-15 所指前述电路的增益特性。如图 7 所示，每个电路在低频域内具有相同的增益和平直的特性，然而在高频域内其增益随着相应的权值系数而变化。

[0110] 如上所述，在第二个实施例中，在没有出现有关声音发射特性中束状和梳状问题的低频域内，将相同相位和相同增益的信号提供至扬声器单元，其中当频率升高时，已赋予基于贝塞尔函数的权值的信号提供至扬声器单元。因此，本实施例能够避免低频率声音中声音发射效率降低 ；以及能避免声音发射特性中出现束状和梳状。

[0111] 另外，前述实施例中选择了扬声器单元 1-1 作为参照扬声器单元，然而本发明不必局限于前述实施例。因此，本发明能够任意选择想要的扬声器单元作为参照扬声器单元。此外，还能使用数字滤波器来代替模拟滤波器来构成前述高通滤波器和高截止滤波器。

[0112] 将参照图 8A 至 8C、图 9A 至 9C 和图 10 对本发明的第三个实施例进行描述，其中，类似于图 5、图 6A 至图 6C 和图 7 所示的第二个实施例，对于低频域设置相同的增益 ；对于高频域赋予基于贝塞尔函数的权值。

[0113] 在第三个实施例中，在图 2 所示全通滤波器 3 中的运算放大器输出端和反向输入端之间连接一个反馈电阻，该反馈电阻的阻值设置得与其它电阻不同，由此对增益赋予了期望的频率特性。也就是说，将基于贝塞尔函数的权值系数为负值的滤波器连接至某个扬声器单元作为加权电路，由此省略全通滤波器 3，该全通滤波器 3 是相对于基于贝塞尔函数的权值系数为负值的扬声器单元而被共同提供的。

[0114] 图 8A 表示前述滤波器的电路结构的一个实例。

[0115] 在前述权值系数 C1 至 C15 中，选择绝对值（即 0.3621）最大的权值系数 C3 和 C13 作为参照系数，然后使其标准化为“1”。例如，权值系数 C5 = -0.1148 的绝对值表示为 1/3.15（= 0.1148/0.3621）；因此，赋予到相应扬声器单元 1-5 的增益被调整为与其它扬声器单元 1-3 的增益相比变化了 20log(1/3.15) = -9.97dB。

[0116] 图 8A 所示滤波器具有如下传递函数 ：

[0117] $$H(S)=\frac{1-CR2S}{1-CR1S}$$

[0118] 上式中，当电路常数设置为 C = 0.1μF，R1 = 4.7k Ω 和 R2 = 1.5k Ω，能够实现图 8B 所示的增益特性和图 8C 所示的相位特性。也就是说，能够提供直流增益为 0dB 和高频域增益为 -9.97dB 的增益特性，以及在低频域内相位旋转为 0 度和在高频域内相位旋

转为 180 度的相位特性。

[0119] 与上文类似地，根据对于连接到其它扬声器单元的滤波器的权值系数的增益特性能够确定规定的电路常数。

[0120] 对于基于贝塞尔函数的权值系数为正值的扬声器单元，能够使用这样的滤波器：即，其具有随着权值系数与参照权值系数相比的比率而变化的增益特性。例如，通过图 9A 所示电路能够实现这些滤波器。

[0121] 例如，对于与权值系数 C11 ＝ 0.1148 相对应的滤波器，图 9A 所示滤波器的左侧电路部分具有如下的传递函数：

[0122] $$H(S)=\frac{-1*R2}{\frac{R1*(1+CR3S)}{1+(CR2+CR3)S}}$$

[0123] 上式中，当电路常数设置为 R1 ＝ 4.7kΩ，R2 ＝ 4.7kΩ，R3 ＝ 2.7kΩ 和 C ＝ 0.1μF 时，能够实现图 9B 所示的增益特性和图 9C 所示的相位特性。也就是说，能够实现直流增益为 0dB 的增益特性，并且随着频率的升高增益减少到 -9.97dB。图 9C 所示的相位特性指明相位最大旋转大约 30 度，并且在相位特性上没有出现由于这样的相位旋转所造成的问题。

[0124] 同样地，对于连接至权值系数为正值的其它扬声器单元的滤波器，能够确定规定的电路常数。

[0125] 图 10 是表示根据本发明第三个实施例的阵列扬声器系统结构的电路图，其是这样构成的：除了采用图 8A 所示的滤波器之外还采用图 9A 所示的滤波器。在第三个实施例中，选择基于贝塞尔函数的权值系数中绝对值最大的权值系数 C3 和 C13 作为参照权值系数，以及将如图 2A 和 2B 所示在高频域内相位反转的全通滤波器 5-3 连接至权值系数为负值的扬声器单元 1-3，而将增益为 1 的放大器 5-13 连接至权值系数为正值的扬声器单元 1-13（换句话说，可省去放大器 5-13）。

[0126] 将图 8A 所示的滤波器连接至在其它扬声器单元中权值系数为负值的每一个扬声器单元 1-1、1-5、1-6、1-9 和 1-10，该滤波器具有这样的增益：即，该增益在高频域中随着参照权值系数的绝对值（即 0.3621）和赋予到相应扬声器单元的权值系数的绝对值之间的比值而变化。

[0127] 此外，将图 9A 所示的滤波器连接至权值系数为正值的每一个扬声器单元 1-2、1-4、1-7、1-8、1-11、1-12、1-14 和 1-15，该滤波器具有这样的增益：即，该增益在高频域中随着参照权值系数的绝对值和赋予到相应扬声器单元的权值系数之间的比值而变化。

[0128] 如上所述，在第三个实施例中，对于不存在关于声音发射特性中束状和梳状问题的低频域，每一个扬声器单元都被赋予具有相同相位的相同增益；而对于高频域，每一个扬声器单元各自都被赋予基于贝塞尔函数的权值系数。因此，能够避免低频率声音中声音发射特性的恶化；还能避免在声音发射特性中出现束状和梳状。而且，能够省略与所有扬声器单元共同相连的全通滤波器。

[0129] 前述实施例采用模拟滤波器进行描述和实现，但也可采用图 4A 所示的可实现 SZ 变换（如双线性变换）的数字滤波器来实现。此外，还能任意选择参照扬声器单元。

[0130] 接着，将说明前述全通滤波器和图 8A 所示滤波器的相位旋转中的中心频率（即，导致 90 度相位旋转的频率）。

[0131] 例如，前述仿真中，十五个扬声器单元彼此之间以间距 d(= 2.5cm) 放置，其中扬声器单元串的总宽度为 35cm(= 2.5cm×14)。考虑到声音速度即 340 米 / 秒而进行仿真，所以具有相当于扬声器单元串宽度即 35cm 的单个波长的频率等于 34000/35 = 971Hz。

[0132] 图 11A 至 11D 表示当全部十五个扬声器单元都具有相同的权值 1 时所产生的仿真结果。在这里，图 11A、11B、11C 和 11D 表示分别对应于声音频率为 900Hz、1000Hz、1200Hz 和 1500Hz 的声音发射特性。

[0133] 图 11A 至 11D 显示出在高于规定频率 (大约，1000Hz) 的频率内可能会明显地出现声束，该规定频率大体上与长度为扬声器单元串宽度的波长相对应。由于这个原因，全通滤波器或图 8A 所示滤波器的相位旋转中的中心频率 (即导致 90 度相位旋转的频率) 经设置与长度为扬声器单元串宽度的波长相一致，以使得基于贝塞尔函数的权值系数所引起的加权作用能在高于中心频率的频率内开始起作用。由此，期望会在声音发射特性方面产生改进的结果。

[0134] 如上所述，更为可取地，设置全通滤波器相位旋转中的中心频率 (与 90 度相位旋转相对应)，使得该频率在与阵列扬声器系统的扬声器单元串的波长相一致的频率附近。

[0135] 前述实施例使用以模拟或数字方式形成的全通滤波器 (或图 8A 所示的滤波器) 来构成，然而本发明也可采用其它方式来实现。

[0136] 图 12 表示根据本发明的第四个实施例的阵列扬声器系统电路结构的主要部件，其没有采用前述的全通滤波器来构成。

[0137] 标号 1-1 至 1-15 指与前述扬声器单元相同的扬声器单元 ；标号 6 指用于从输入信号中过滤出低频域信号成分的低通滤波器 ；标号 7 指用于从输入信号中过滤出高频域信号成分的高通滤波器 ；标号 8-1 至 8-15 指加权装置，该加权装置用于向由高通滤波器 7 所提供的高频域信号成分赋予权值，该权值采用基于贝塞尔函数的权值系数 C1 至 C15 ；以及标号 9-1 至 9-15 指加法器，其分别对应于扬声器单元 1-1 至 1-15 而设置，并且其将由低通滤波器 6 所提供的低频域信号成分 (赋予增益 1) 与经过加权装置 8-1 至 8-15 赋予基于贝塞尔函数的权值后的高频域信号成分加在一起，由此将相加后的各个结果分别提供至扬声器单元 1-1 至 1-15。在这里，例如，为低通滤波器 6 和高通滤波器 7 设置相同的截止频率 ；因此，输入信号被划分为低频域信号成分和高频域信号成分。另外，每一个低通滤波器 6 和高通滤波器 7 都可使用模拟滤波器或数字滤波器来构成。

[0138] 在前述的第四个实施例中，采用对应于波长为扬声器单元串宽度的频率，将输入信号划分为低频域信号成分和高频域信号成分 ；对于低频域信号成分，相应扬声器单元采用增益为 1 的加权 ；对于高频域信号成分，他们可采用基于贝塞尔函数的权值系数的加权 ；此后，将这些信号成分相加并且输出。因此，类似于采用全通滤波器的前述实施例，能够在低频域内确保足够高的增益，还能避免在关于高频域的声音发射特性中出现束状和梳状。

[0139] 前述每个实施例都是采用十五个扬声器单元来构成的。然而，本发明可有效工作于具有五个或五个以上扬声器单元的任意阵列扬声器系统中。此外，基于贝塞尔函数的权值系数不必局限于前述数值。

[0140] 如上所述，本发明阵列扬声器系统中，对于低频域，每个扬声器单元都以正相位驱动 ；因此能够防止声音发射特性的恶化，无需顾及由于基于贝塞尔函数的权值系数为负值而出现的反相成分 ；对于高频域，每个扬声器单元都以采用基于贝塞尔函数的权值系数的

加权来驱动；因此，能够避免声音中出现束状和梳状。所以，能避免从低频 域到高频域的宽频率范围内的声音发射特性中出现束状和梳状，还能够实现有效的声音发射，该声音发射中声场形成为球形。

[0141] 另外，本发明不必局限于前述实施例。因此，它可以包含本发明范围内的设计变化。

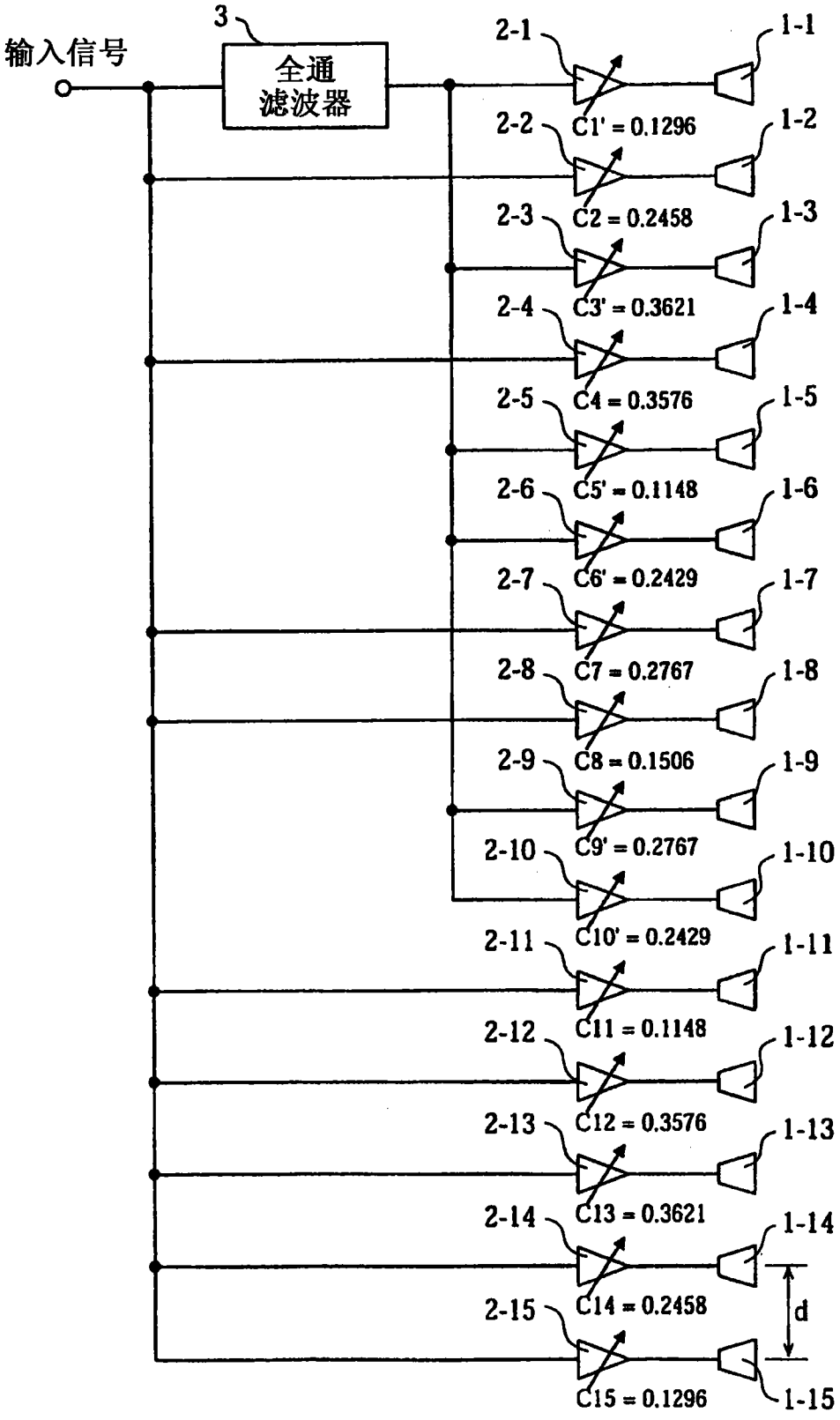

输入信号
3
全通
滤波器
2-1
1-1
2-2
C1' = 0.1296
1-2
2-3
C2 = 0.2458
1-3
2-4
C3' = 0.3621
1-4
2-5
C4 = 0.3576
1-5
2-6
C5' = 0.1148
1-6
2-7
C6' = 0.2429
1-7
2-8
C7 = 0.2767
1-8
2-9
C8 = 0.1506
1-9
2-10
C9' = 0.2767
1-10
C10' = 0.2429
2-11
1-11
2-12
C11 = 0.1148
1-12
2-13
C12 = 0.3576
1-13
2-14
C13 = 0.3621
1-14
2-15
C14 = 0.2458
d
C15 = 0.1296
1-15

图 1

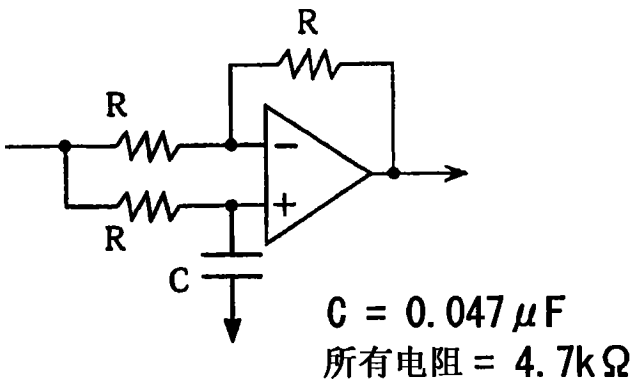


图 2A

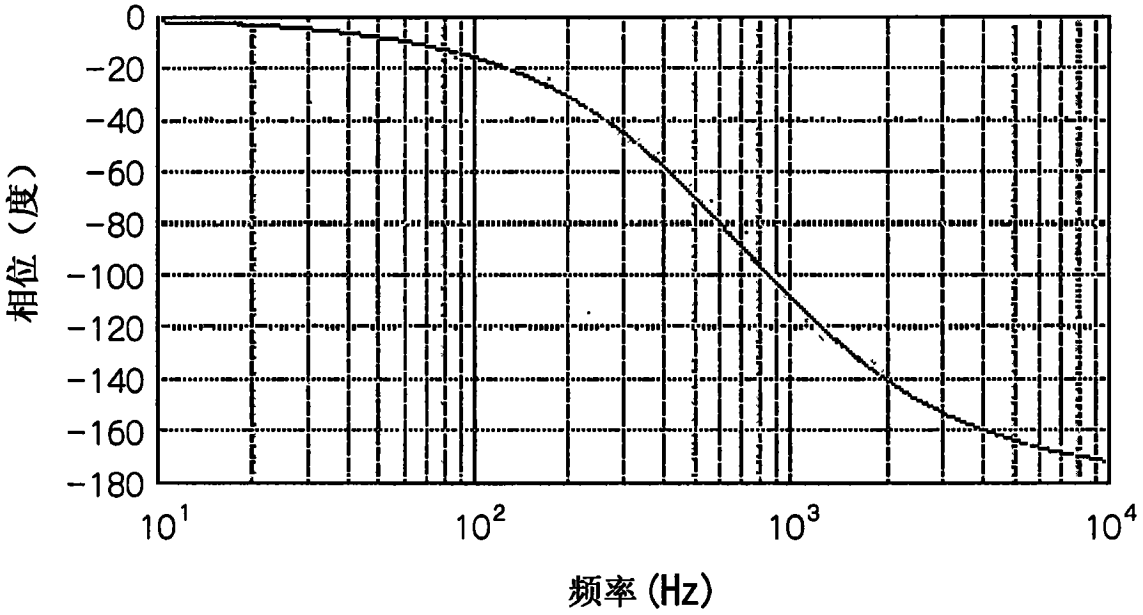


图 2B

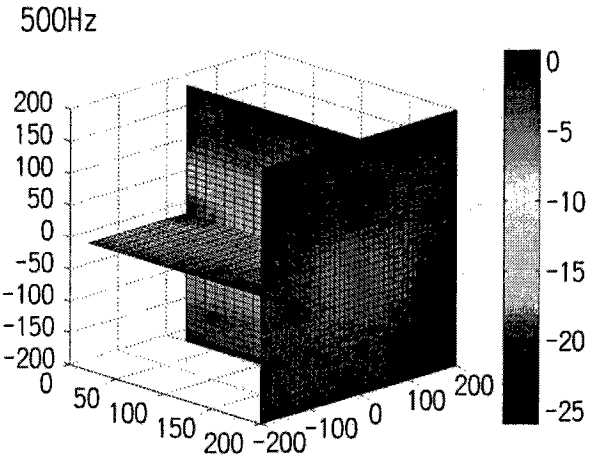


图 3A

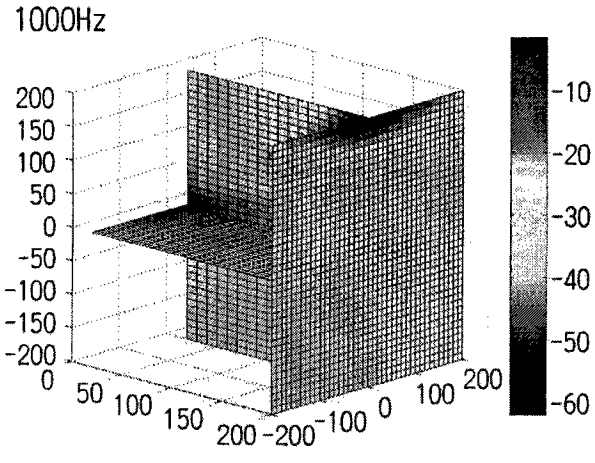


图 3B

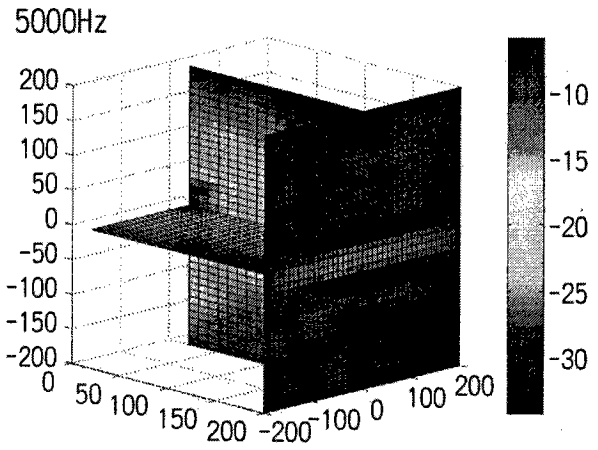


图 3C

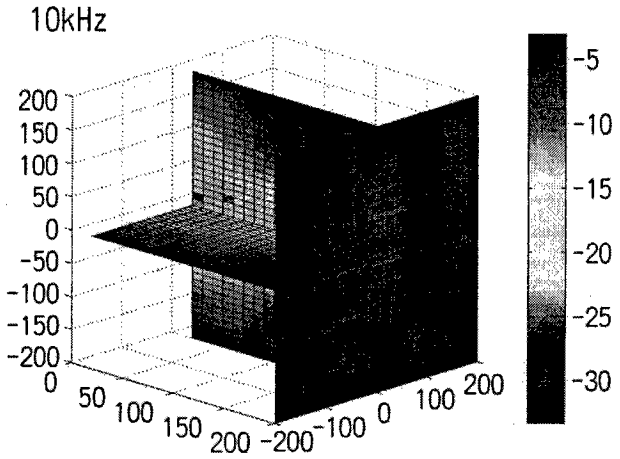


图 3D

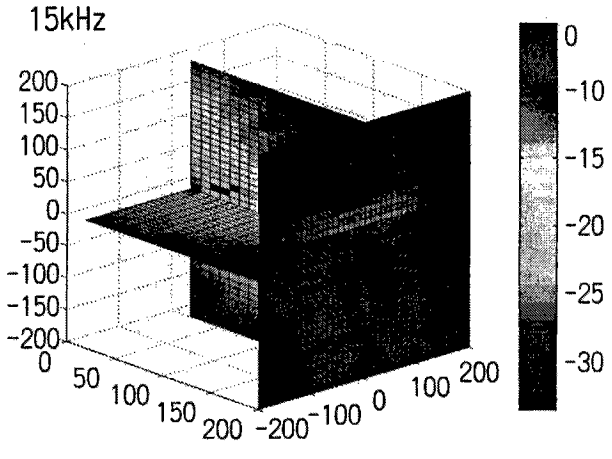


图 3E

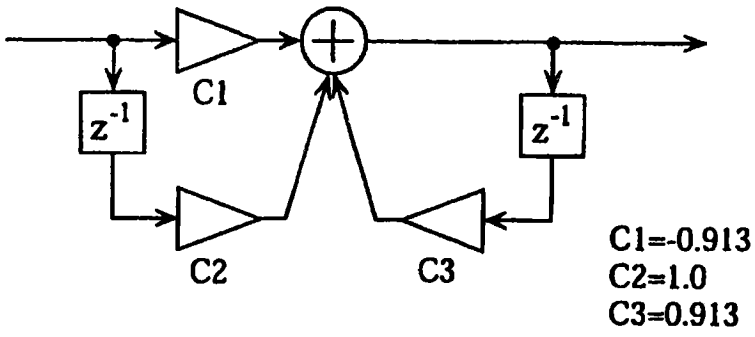


图 4A

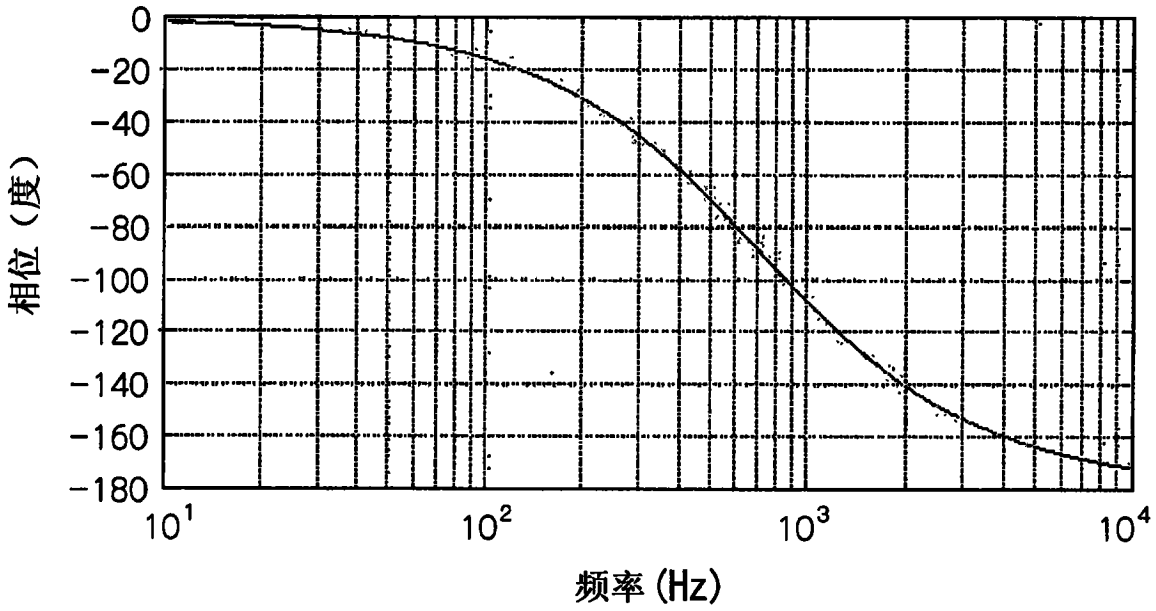


图 4B

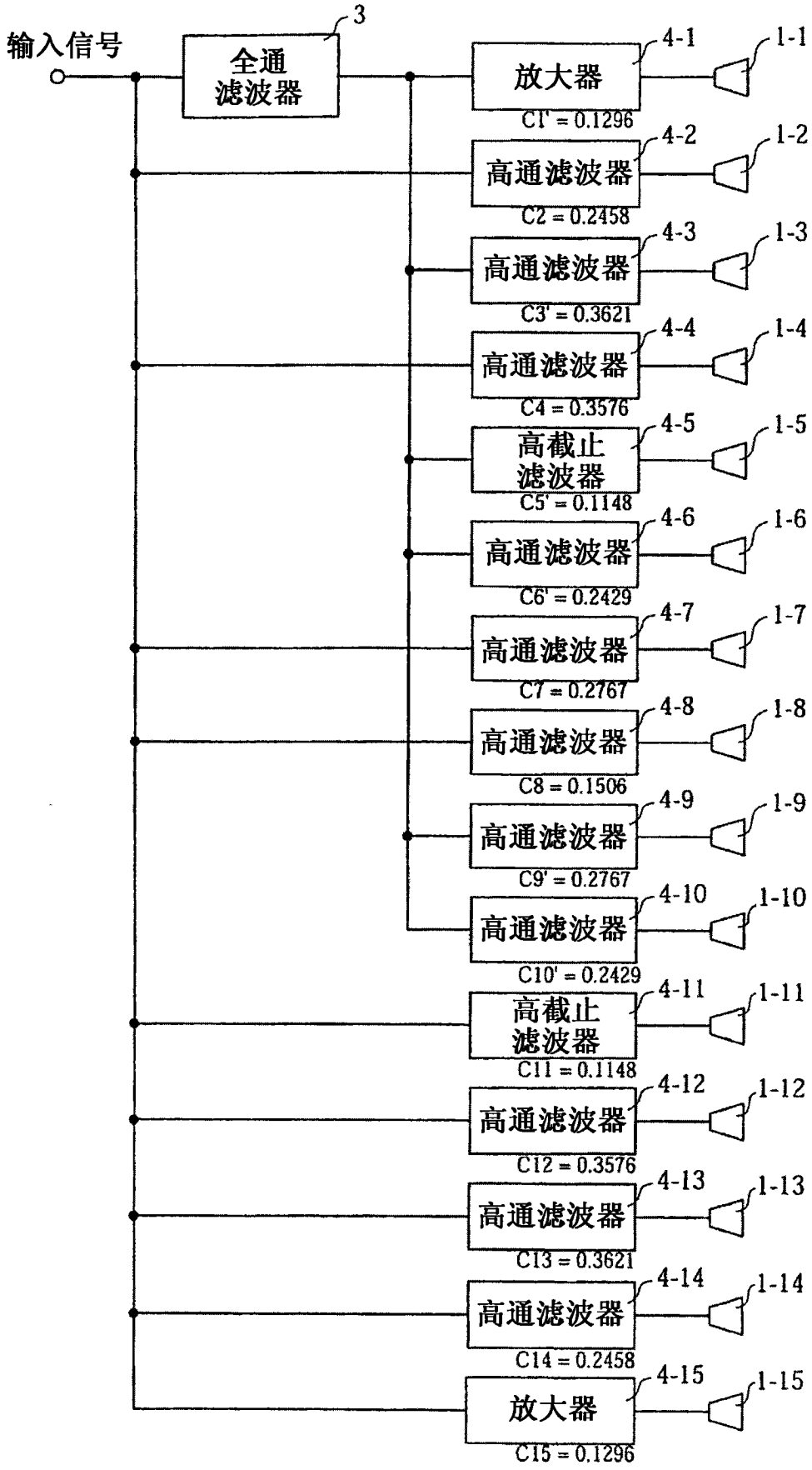

输入信号
3
全通
滤波器
4-1
放大器
1-1
C1' = 0.1296
4-2
高通滤波器
1-2
C2 = 0.2458
4-3
高通滤波器
1-3
C3' = 0.3621
4-4
高通滤波器
1-4
C4 = 0.3576
4-5
高截止
滤波器
1-5
C5' = 0.1148
4-6
高通滤波器
1-6
C6' = 0.2429
4-7
高通滤波器
1-7
C7 = 0.2767
4-8
高通滤波器
1-8
C8 = 0.1506
4-9
高通滤波器
1-9
C9' = 0.2767
4-10
高通滤波器
1-10
C10' = 0.2429
4-11
高截止
滤波器
1-11
C11 = 0.1148
4-12
高通滤波器
1-12
C12 = 0.3576
4-13
高通滤波器
1-13
C13 = 0.3621
4-14
高通滤波器
1-14
C14 = 0.2458
4-15
放大器
1-15
C15 = 0.1296

图 5

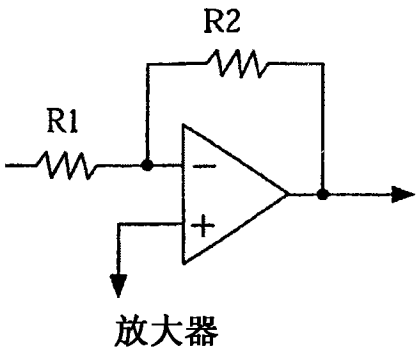


图 6A

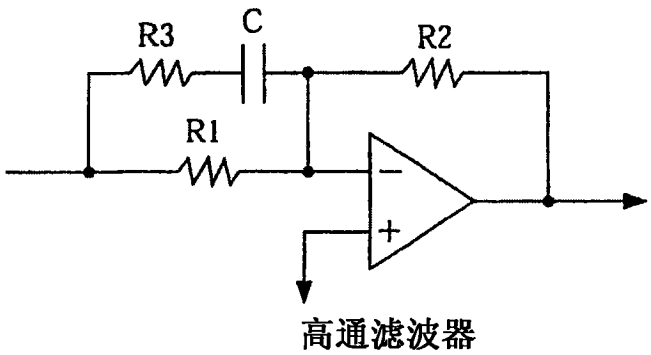


图 6B

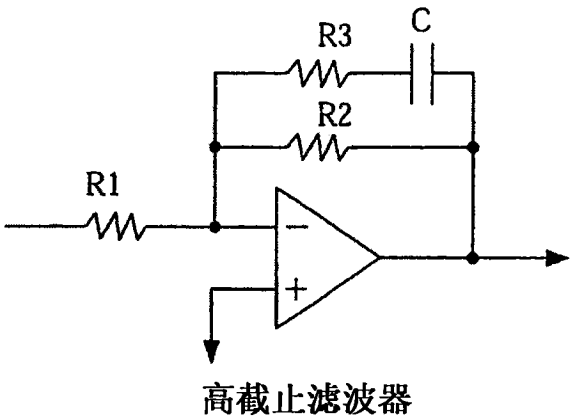


图 6C

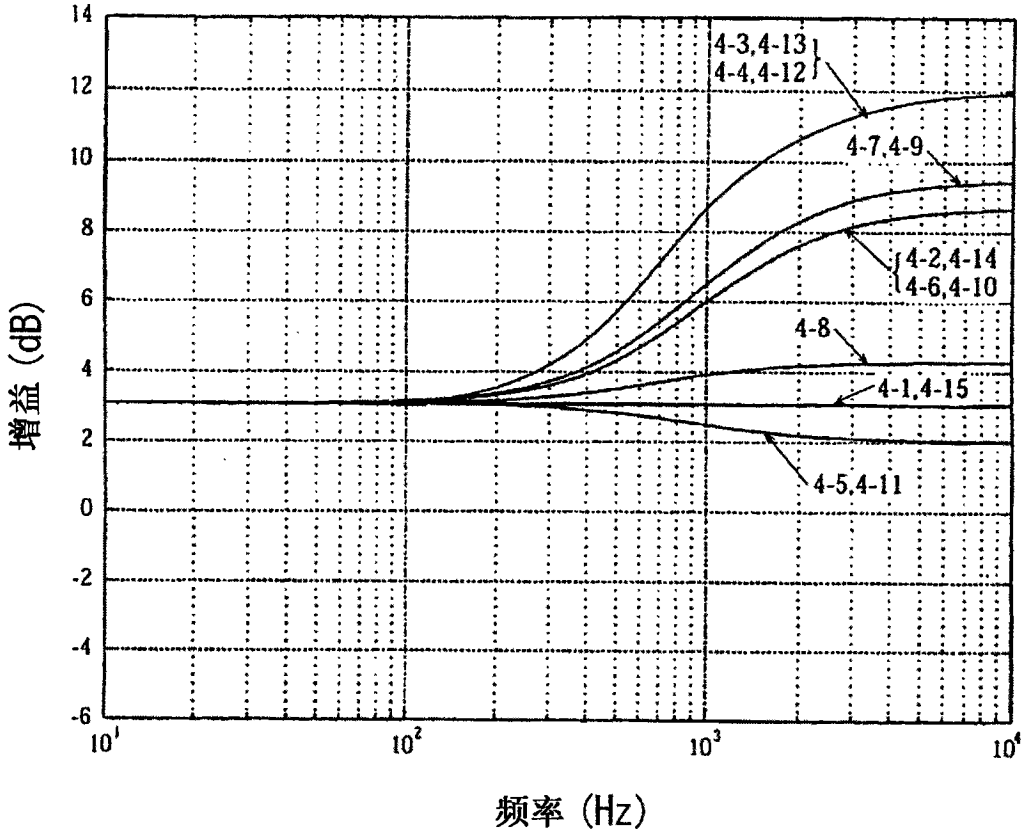

14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-4
-6
增益 (dB)
10¹
10²
10³
10⁴
频率 (Hz)
4-3,4-13
4-4,4-12
4-7,4-9
4-2,4-14
4-6,4-10
4-8
4-1,4-15
4-5,4-11

图 7

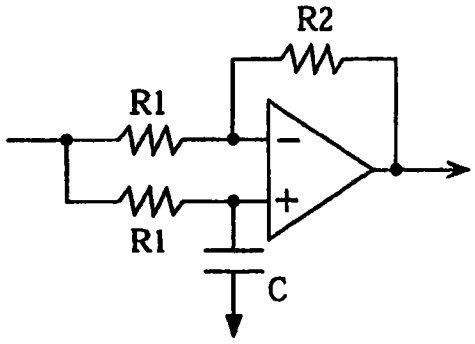

R2
R1
R1
C
−
+

图 8A

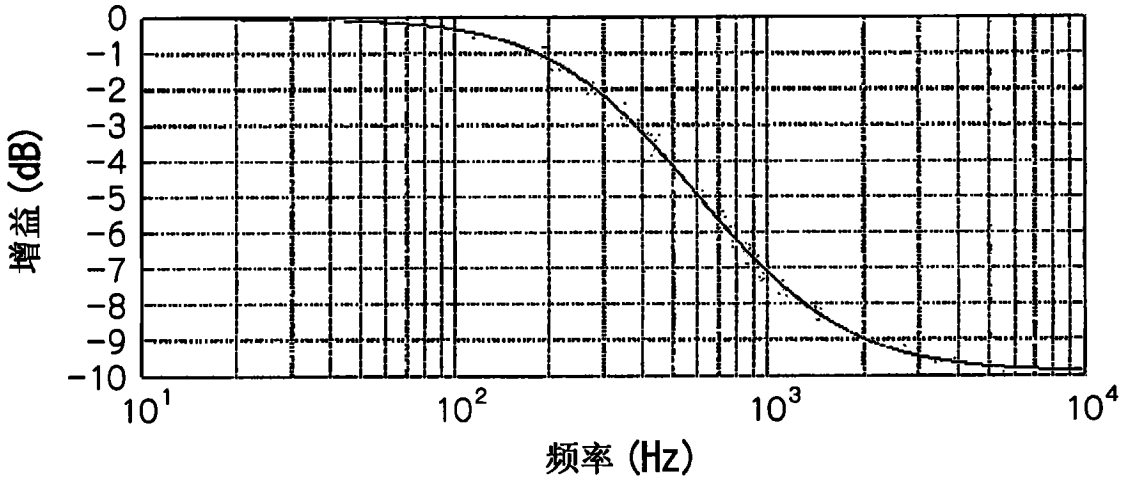

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
增益 (dB)
10^1
10^2
10^3
10^4
频率 (Hz)

图 8B

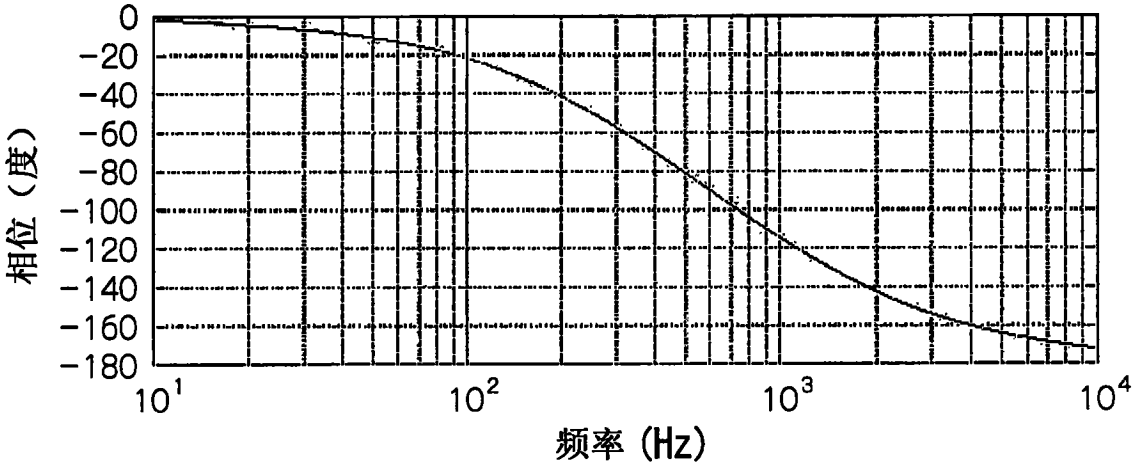

0
-20
-40
-60
-80
-100
-120
-140
-160
-180
相位（度）
10^1
10^2
10^3
10^4
频率 (Hz)

图 8C

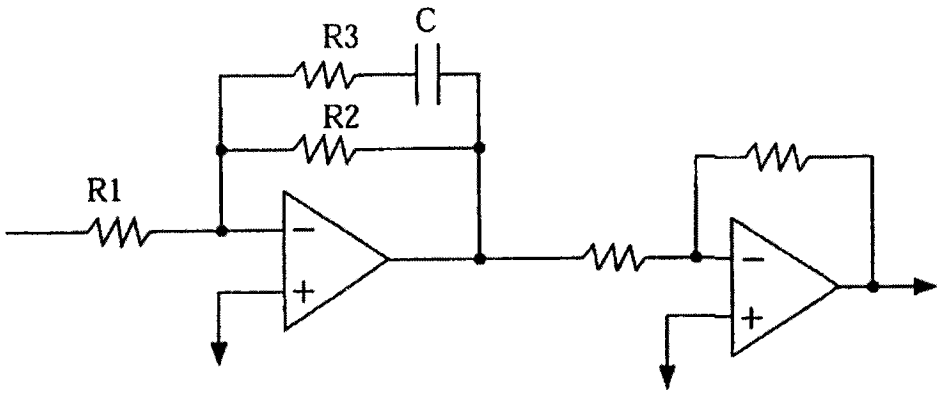

R3
C
R2
R1

图 9A

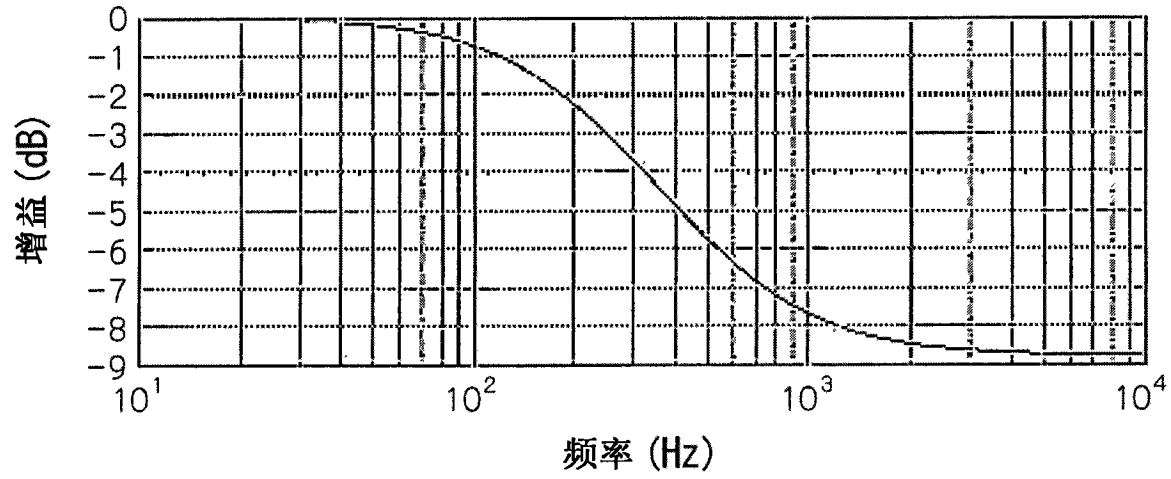

0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
增益 (dB)
10^1
10^2
10^3
10^4
频率 (Hz)

图 9B

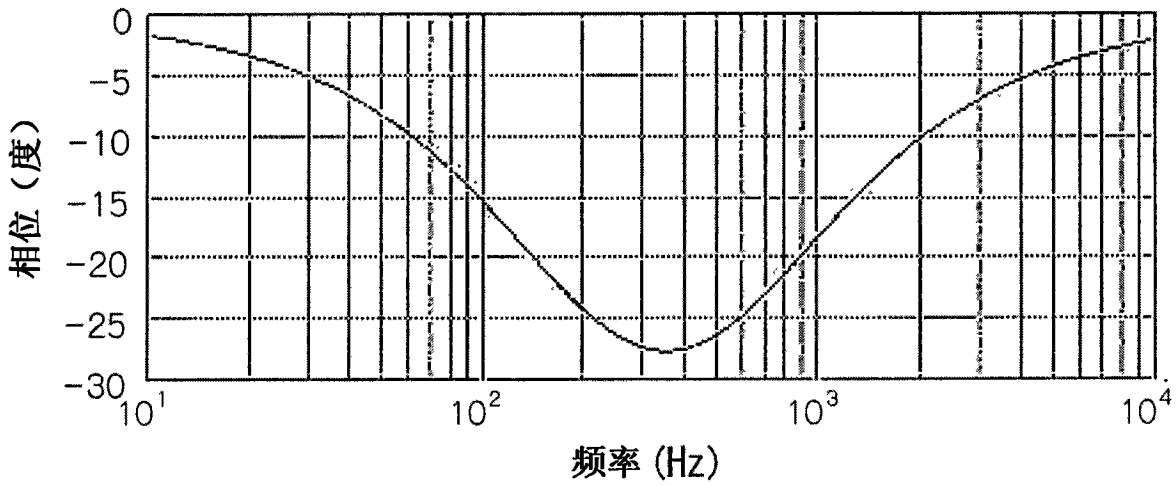

0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
相位（度）
10^1
10^2
10^3
10^4
频率 (Hz)

图 9C

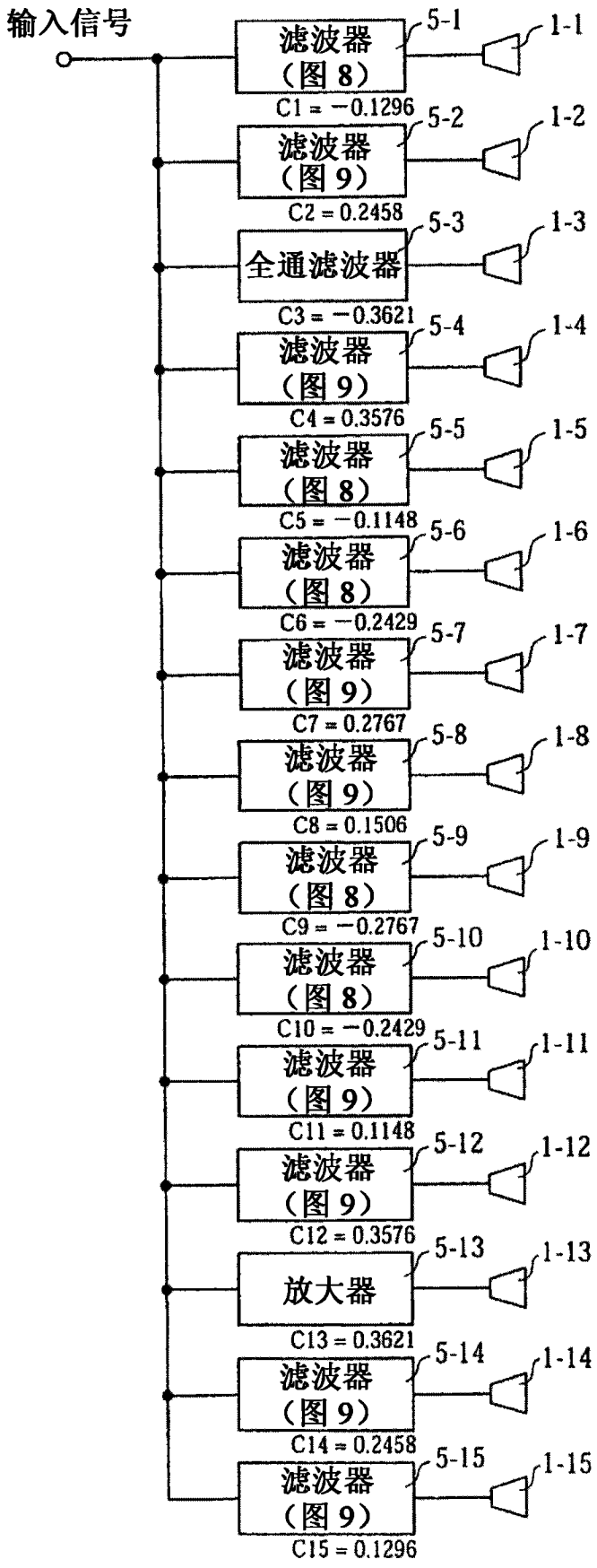

输入信号
滤波器（图 8）
5-1
1-1
C1 = −0.1296
滤波器（图 9）
5-2
1-2
C2 = 0.2458
全通滤波器
5-3
1-3
C3 = −0.3621
滤波器（图 9）
5-4
1-4
C4 = 0.3576
滤波器（图 8）
5-5
1-5
C5 = −0.1148
滤波器（图 8）
5-6
1-6
C6 = −0.2429
滤波器（图 9）
5-7
1-7
C7 = 0.2767
滤波器（图 9）
5-8
1-8
C8 = 0.1506
滤波器（图 8）
5-9
1-9
C9 = −0.2767
滤波器（图 8）
5-10
1-10
C10 = −0.2429
滤波器（图 9）
5-11
1-11
C11 = 0.1148
滤波器（图 9）
5-12
1-12
C12 = 0.3576
放大器
5-13
1-13
C13 = 0.3621
滤波器（图 9）
5-14
1-14
C14 = 0.2458
滤波器（图 9）
5-15
1-15
C15 = 0.1296

图 10

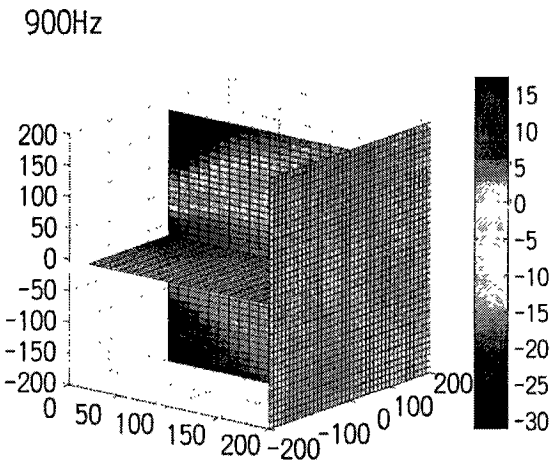

900Hz
200
150
100
50
0
-50
-100
-150
-200
0 50 100 150 200
-200 -100 0 100 200
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30

图 11A

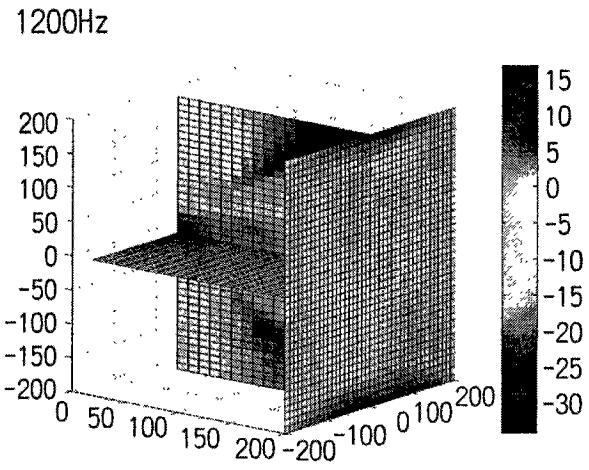


图 11C

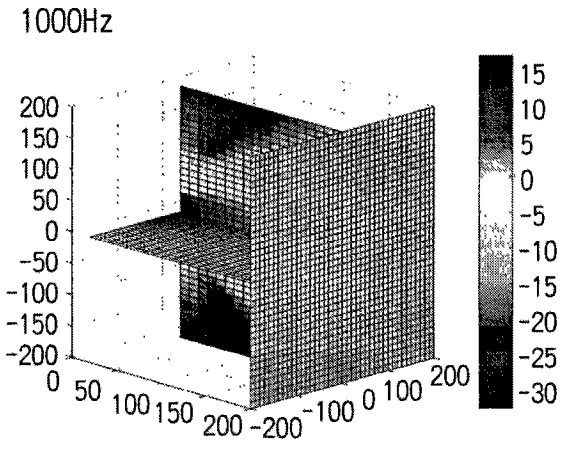


图 11B

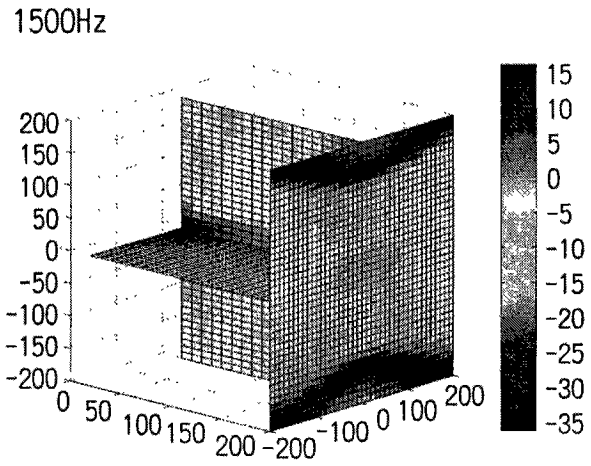


图 11D

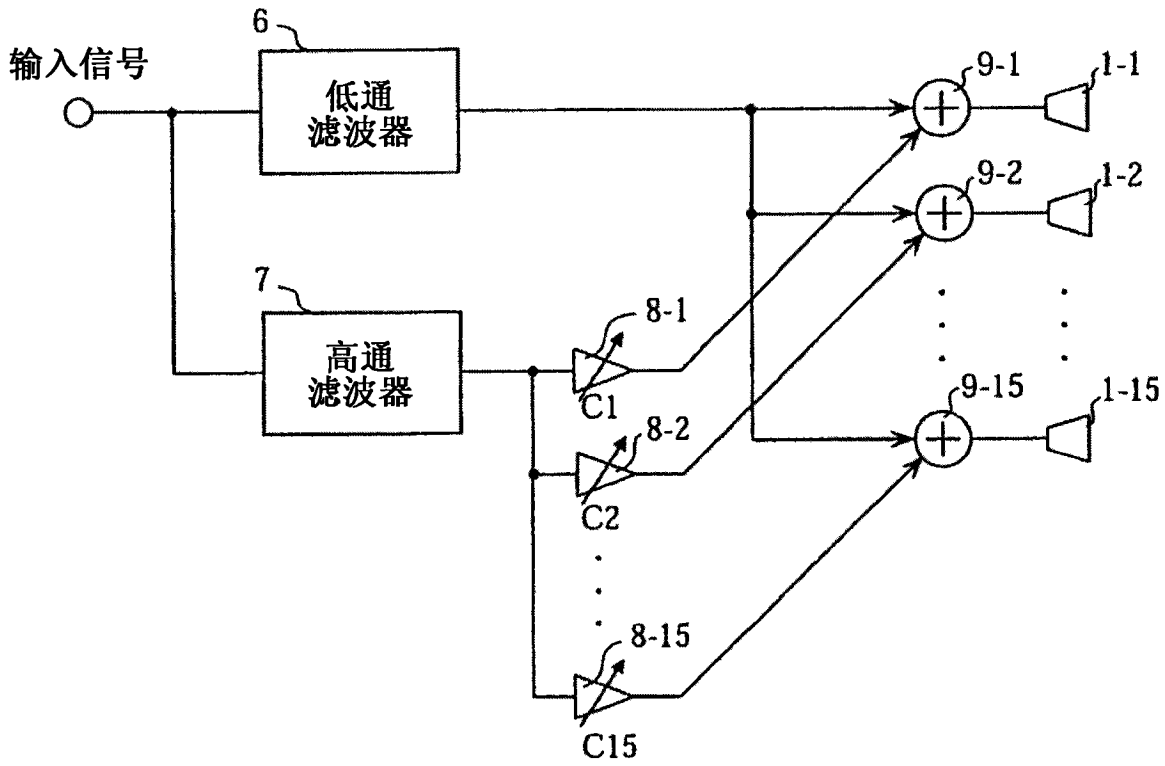


图 12

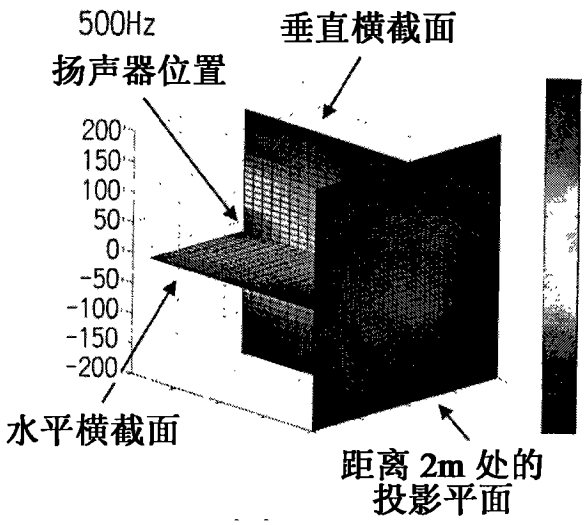


图 13A

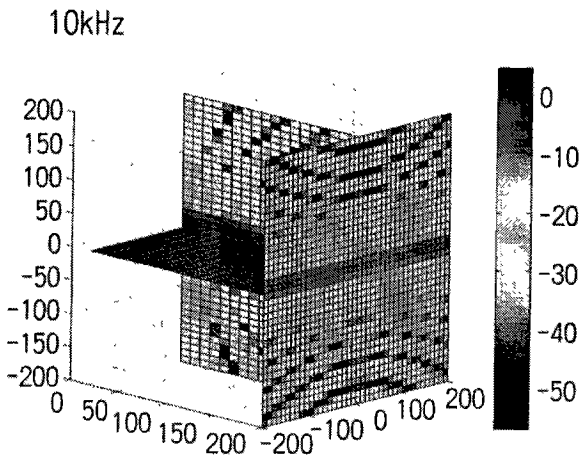


图 13D

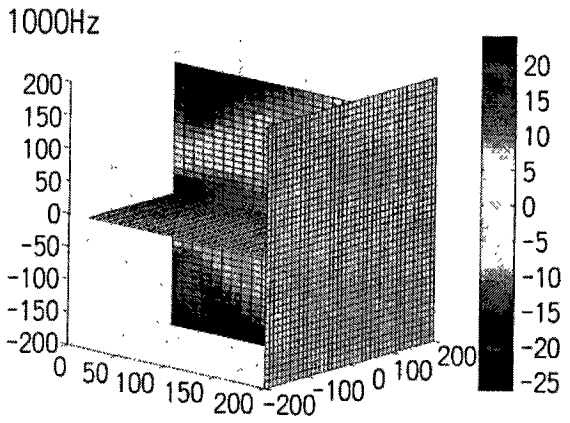


图 13B

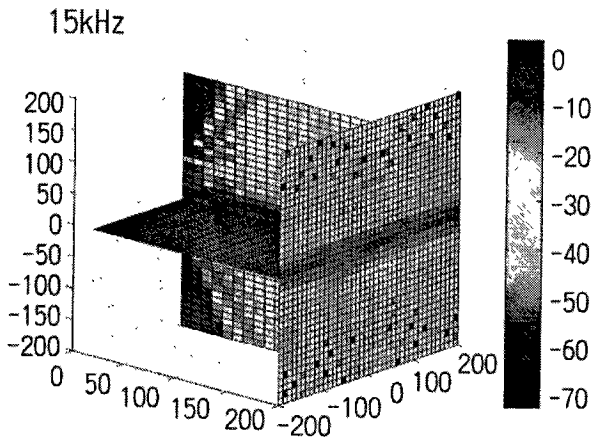


图 13E

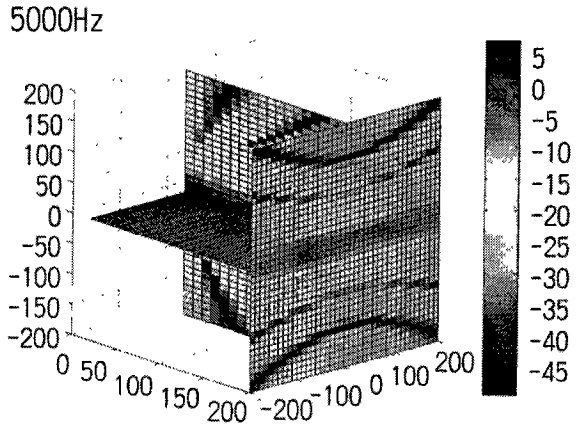


图 13C

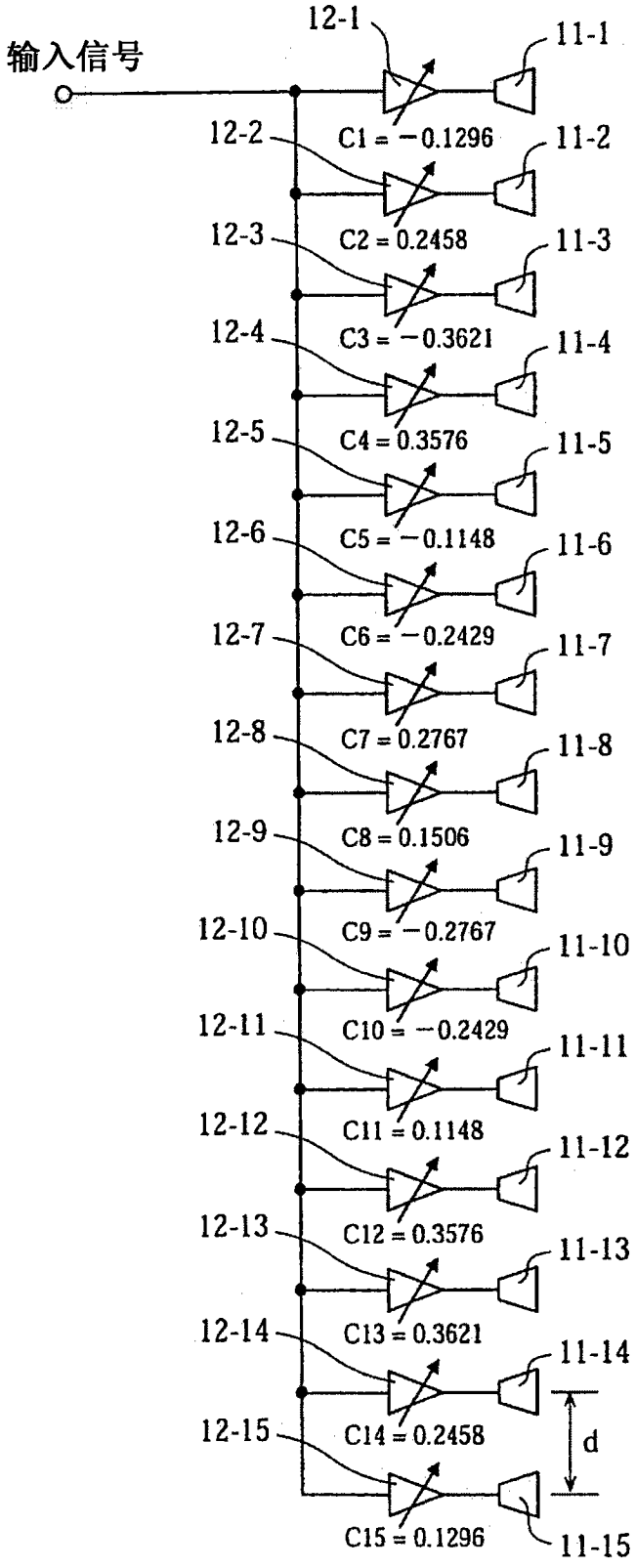

输入信号
12-1
11-1
C1 = −0.1296
12-2
11-2
C2 = 0.2458
12-3
11-3
C3 = −0.3621
12-4
11-4
C4 = 0.3576
12-5
11-5
C5 = −0.1148
12-6
11-6
C6 = −0.2429
12-7
11-7
C7 = 0.2767
12-8
11-8
C8 = 0.1506
12-9
11-9
C9 = −0.2767
12-10
11-10
C10 = −0.2429
12-11
11-11
C11 = 0.1148
12-12
11-12
C12 = 0.3576
12-13
11-13
C13 = 0.3621
12-14
11-14
C14 = 0.2458
12-15
d
C15 = 0.1296
11-15

图 14

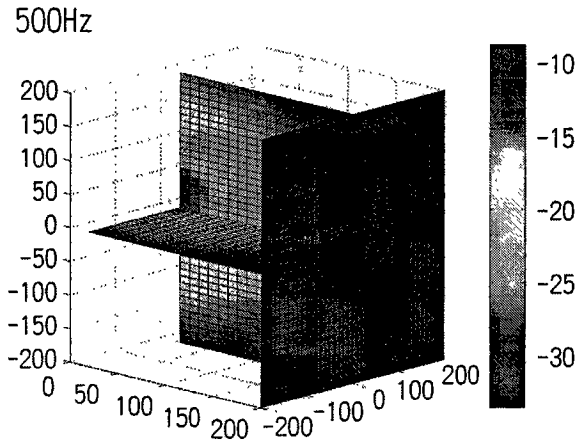


图 15A

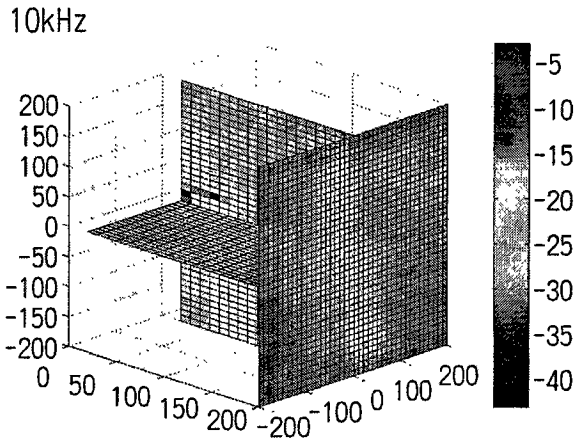


图 15D

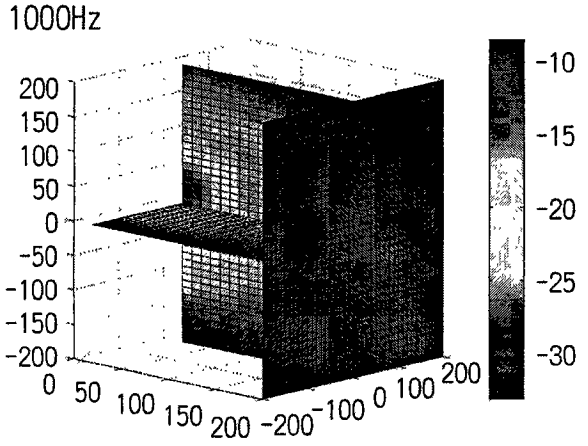


图 15B

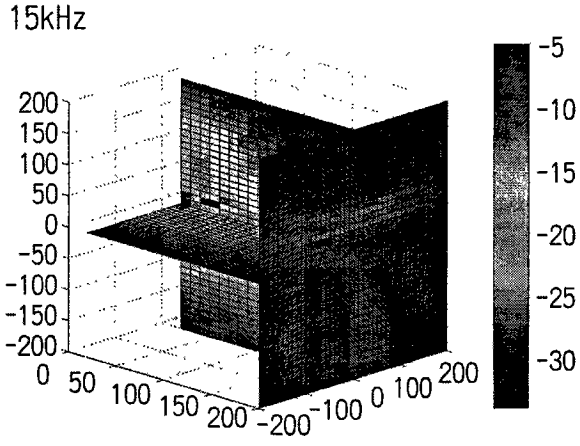


图 15E

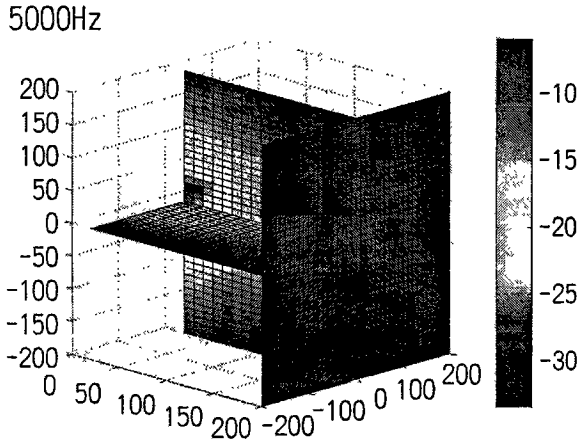


图 15C