

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

H04S 1/00

# [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 96197085.5

[45] 授权公告日 2002 年 12 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1097417C

[22] 申请日 1996.7.25 [21] 申请号 96197085.5

[30] 优先权

[32] 1995.7.28 [33] US [31] 08/508,593

[86] 国际申请 PCT/US96/12243 1996.7.25

[87] 国际公布 WO97/05755 英 1997.2.13

[85] 进入国家阶段日期 1998.3.20

[73] 专利权人 SRS 实验室公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 A·克莱曼 A·D·克雷梅尔

审查员 郑 直

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

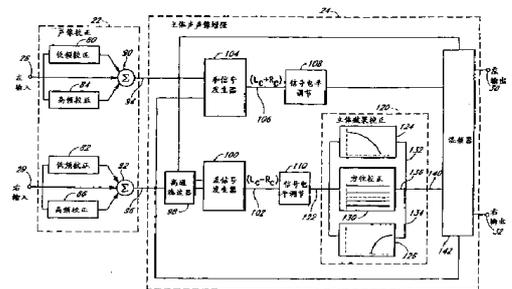
代理人 王 勇 张志醒

权利要求书 6 页 说明书 35 页 附图 15 页

[54] 发明名称 声学校正设备

[57] 摘要

声学校正设备(20)处理一对左和右输入信号,以便当所述输入信号在经音响系统内的扬声器再现时按频率的函数对空间失真进行补偿。左和右输入信号(26 和 28)的声能量被分离并且在第一低频段和第二高频段内校正。所得信号重新组合,以产生声像校正的音频信号(27 和 29),该音频信号在经音响系统内的扬声器再现时有所期望的声压响应。所需的声压响应产生相对于听者而言的视在声像位置。然后声像校正后的信号(27 和 29)被空间增强以展览视在声像。



1. 适于车辆的汽车音响系统使用的音频校正装置，用于对汽车音响系统相对于车辆驾驶座内的听者所投影得到的立体声声像进行空间增强，所述车辆还有一前部乘客座位并且所述汽车音响系统包括安装在车辆的相应驾驶座侧车门与乘客侧车门内的一对扬声器，其中扬声器的位置低于听者一对耳的高度，所述音频校正装置包括：

与所述汽车音响系统相连的立体声声像校正电路，用于接收立体声声信号，所述立体声信号在经所述扬声器播放时对于所述听者呈现出音频失真，所述声像校正电路修改所述立体声信号的分量以生成校正的立体声信号，所述校正的立体声信号对所述音频失真作出补偿以便当所述校正的立体声信号经所述扬声器播放时为所述听者提供视在声像；和

立体声声像增强电路，它接收所述校正的立体声信号以展览所述视在声像，所述立体声声像增强电路修改所述立体声信号以产生空间增强的声信号供所述扬声器播放用，所述声像增强电路包括：

将所述立体声信号的立体声信息内容隔离的装置；

均衡器，用于按频率函数向所述立体声信息内容提供幅度提升量，其中所述提升量的特征在于最大增益低于 200Hz 并且其特征在于最小增益在 1kHz 和 5kHz 之间；和

将所述立体声信息内容与所述立体声信号组合以产生所述空间增强的声信号的装置。

2. 根据权利要求 1 所述的音频校正装置，其中所述立体声声像校正电路将可听频谱划分为低频段和相对于所述低频段而言的高频段，所述声像校正电路独立于所述高频段内的分量，对所述低频段内的所述立体声信号分量作出修改。

3. 根据权利要求 1 所述的音频校正装置，其中所述失真得自于所述车辆内部空间的吸声特性。

4. 音频增强设备，它基于立体声再现装置提供的左和右立体声输入信号工作，所述左和右立体声输入信号供位于音频再现环境内固定位置处的扬声器系统播放用，该增强设备通过对输入信号经音频再现环境内的扬声器系统再现时产生的声学局限性进行补偿，修改立体声输入信号以获得改进的立体声声像，该音频增强设备包括：

立体声声像校正电路，它接收左和右立体声输入信号并且修改所述输入信号以生成能量-校正的左和右立体声信号，所述能量-校正的左和右信号在经所述扬声器系统播放并且被所述音频再现环境下的听者听到时产生校正的空间响应，所述校正的空间响应相对于所述听者产生视在声像以使所述听者获得真实且重定向的声感受；

立体声声像增强电路，它接收能量-校正的左和右立体声声信号并且产生增强的左和右立体声声信号以使所述视在声像增强从而当所述增强的左和右立体声信号经所述扬声器系统再现时使所述听者感知到有所改进的声像；和

其中所述能量-校正的左和右信号的特征在于第一差信号分量代表所述能量-校正的左和右信号之间的差，而且所述增强的左和右立体声信号的特征在于第二差信号分量代表所述增强的左和右信号之差，所述第二差信号分量被有选择地相对于所述第一差信号分量均衡。

5. 权利要求 4 所述的音频增强设备，其中所述声学局限性是所述扬声器系统相对于所述听者的所述固定地点的函数。

6. 权利要求 4 所述的音频增强设备，其中所述视在声像由相对于所述听者的方位和高度限定，所述方位和高度与所述扬声器系统的方位和高度不同。

7. 权利要求 4 所述的音频增强设备，其中所述校正的空间响应的特征在于就所述听者来讲在大于 100Hz 的所有可听频率上基本上恒定的声压能量级。

8. 权利要求 4 所述的音频增强设备，其中所述立体声声像校正电路包括：

第一校正电路，用于修改所述左和右输入信号在第一频段内的分量以产生第一校正的立体声信号分量；

第二校正电路，用于单独地修改所述左和右输入信号在第二频段内的分量以产生第二校正的立体声信号分量；和

用于组合所述第一和第二校正的立体声信号分量以产生所述能量-校正的左和右信号的装置。

9. 权利要求 8 所述的音频增强设备，其中所述组合装置还将相应的一个所述输入信号与所述第一和第二校正的立体声信号分量组合

在一起以产生所述能量 - 校正的左和右信号。

10. 权利要求 8 所述的音频增强设备, 其中所述第二校正的立体声信号分量被所述能量 - 校正电路衰减。

11. 权利要求 8 所述的音频增强设备, 其中所述第二校正电路对  
5 所述第二频段内的所述输入信号分量进行提升, 以产生所述第二校正的立体声信号分量, 所述组合装置还包括具有第一位置和第二位置的开关, 其中当所述开关处于所述第一位置时所述第二校正的立体声信号分量被所述组合装置加至所述第一校正立体声信号分量, 并且当所述开关处于所述第二位置时所述第二校正的立体声信号分量被从所  
10 述第一校正的立体声信号分量中减去。

12. 权利要求 4 所述的音频增强设备, 其中所述立体声声像增强电路包括一均衡器, 它通过向所述第一差信号适用立体效果均衡曲线, 改变所述第一差信号的频率响应以产生所述第二差信号, 所述立体效果均衡曲线的特征在于最大增益转折点出现在约 100 至 200Hz 的  
15 第一频段内的最大增益频率处, 并且所述曲线的特征在于最小增益转折点出现在约 1680 至 5000Hz 的第二频段内的最小增益频率处。

13. 权利要求 12 所述的音频增强设备, 其中所述最大增益在约 10 至 15dB 的范围内, 而所述最小增益在约 0 至 10dB 的范围内。

14. 权利要求 4 所述的音频增强设备, 其中所述音频增强设备由  
20 数字信号处理器以数字方式实施。

15. 权利要求 4 所述的音频增强设备, 其中所述左和右立体声输入信号是视听复合信号的一部分。

16. 权利要求 4 所述的音频增强设备, 其中所述音频再现环境是汽车的内部空间, 在所述汽车的驾驶者相对两侧放置有第一和第二车  
25 门面板, 并且其中所述扬声器系统包括定位于所述第一车门面板内的第一扬声器和定位于所述第二车门面板内的第二扬声器。

17. 权利要求 4 所述的音频增强设备, 其中所述音频再现环境与具有键盘的电子键盘设备相关, 并且其中所述扬声器系统包括与所述电子键盘设备相连的第一和第二扬声器, 所述第一和第二扬声器被设  
30 置于所述键盘的下方。

18. 用于使位于音频再现环境内的扬声器系统所发出的立体声声像重新定向且增强的空间增强设备, 所述空间增强设备包括:

声像校正电路，它接收音频输入信号并且产生校正的音频信号，所述音频输入信号在经扬声器系统播放时相对于听者产生第一声压响应，并且所述校正的音频信号在经所述扬声器系统播放时产生第二声压响应，所述第二声压响应产生的视在立体声声像对应于所述扬声器系统相对于所述听者的视在位置；和

声像增强电路，它接收所述校正的音频信号并且提供增强的音频信号供所述扬声器系统再现用，所述增强的音频信号相对于所述校正的音频信号被均衡以展宽所述的视在立体声声像。

19. 权利要求 18 所述的空间增强设备，其中校正的音频信号是包括差信号的立体声信号，所述差信号代表校正的音频信号中存在的立体声信息量，声像增强电路将所述差信号均衡化以加强所述校正的音频信号中的混响声能量从而展宽所述视在立体声声像。

20. 权利要求 18 所述的空间增强设备，其中校正的音频信号是包含差信号的立体声信号，所述差信号代表校正的音频信号中存在的立体声信息量，声像增强电路根据立体效果均衡级使所述差信号均衡以产生处理过的差信号，所述立体效果均衡级因所述差信号的频率而不同，其特征在于：

最大增益出现在约 100 至 200Hz 的第一频段内的最大增益频率处并且最小增益出现在约 1680 至 5000Hz 的第二频段内的最小增益频率处，所述均衡级在所述第一频段之下以及在所述第一频段之上直至所述最小增益频率呈下降趋势，所述均衡级在所述最小增益频率之上进一步上升。

21. 权利要求 20 所述的空间增强设备，其中所述差信号的所述均衡级的特征还在于所述差信号相对于所述最大增益的低音衰减，所述低音衰减出现在所述最大增益频率之下并且所述低音衰减量随差信号频率的下降而增大。

22. 权利要求 18 所述的空间增强设备，其中所述声像校正电路包括：

第一滤波器，它接收所述音频输入信号并且提供第一滤波的输出信号，所述第一滤波器的频率响应特性包括第一过渡带，所述音频输入信号的幅值在整个第一过渡带内被按照频率的函数修改；

第二音频滤波器，它接收所述音频输入信号并提供第二滤波的输

出信号，所述第二音频滤波器的频率响应其特征包括第二过渡带，所述音频输入信号的幅值在整个第二过渡带内被作为频率的函数修改；

5 放大器，它用于提升所述第一和第二滤波的输出信号的幅值并且将所述第一和第二滤波的输出信号与所述音频输入信号组合以生成所述校正的音频信号，所述校正的音频信号在经所述扬声器系统再现时产生所述视在立体声声像。

23. 权利要求 18 所述的空间增强设备，其中所述音频输入信号包括左输入信号和右输入信号，并且所述声像校正电路包括：

10 第一能量 - 校正装置，它接收所述左输入信号以对所述左输入信号进行处理从而生成校正的左音频信号，所述第一能量 - 校正装置包括：

15 低频校正电路，它接收所述左输入信号并且提供校正的低频左信号，所述低频校正电路提升所述左输入信号在第一频段内的幅度分量；

高频校正电路，它接收所述左输入信号并且提供校正的高频左信号，所述高频校正电路调节所述左输入信号在第二频段内的幅度分量；

20 将所述校正的低和 高频左信号组合以生成所述校正的左音频信号的装置；

第二能量 - 校正装置，它接收所述右输入信号以产生校正的右音频信号，所述第二能量 - 校正装置包括：

25 低频校正电路，接收所述右输入信号并且提供校正的低频右信号，所述低频校正电路提升所述右输入信号在所述第一频段内的幅度分量；

高频校正电路，接收所述右输入信号并且提供校正的高频右信号，所述高频校正电路调节所述右输入信号在所述第二频段内的幅度分量；和

30 将所述校正的低和 高频右信号组合以生成校正的右音频信号的装置。

24. 权利要求 18 所述的空间增强设备，其中所述音频再现环境是汽车的内部空间，所述汽车有一控制板并且所述视在立体声声像从所

述控制板方向发出指向所述听者。

25. 权利要求 18 所述的空间增强设备, 其中所述音频再现环境是户外区域并且其中所述听者可能位于所述音频再现环境内的多个地点处。

## 声学校正设备

## 5 发明领域

本发明总的来说涉及音频增强系统，特别是那些设计用于增进立体声再现的真实性的系统和方法。更具体地说，本发明涉及用于克服听者所感知的音响系统的声学缺陷的设备，该声学缺陷可在音响系统的扬声器未能理想定位的情况下产生的。

## 10 发明背景

在声再现环境下，有许多种因素可能削弱听者感知的再现声质量。这些因素使声再现与原始声舞台（sound stage）中的截然不同。其中一个因素是扬声器在声舞台上的位置，如果其放置地点不适当，可能会导致声压响应在可听频谱上失真。扬声器的放置地点也影响所感知的声舞台宽度。例如，扬声器起点声源的作用，这限制了它们再现混响声的能力，而混响声在现场声舞台易于感知。事实上，许多声再现系统的感知声舞台宽度仅限于当一对扬声器置于听者前面时能将它们区分开的距离之内。削弱再现声质量的另一因素可能是传声器记录声音的方式与人的听觉系统感知声音的方式不同。为了克服这些使再现声质量下降的因素，人们作了无数次的努力，改变声再现环境的特性，以求逼真于听者在现场声舞台上所听的效果。

立体声声像增强的一些努力集中在关于人耳的声学能力和局限性上。人耳的听觉响应易于感知声强度、特定声之间的相位差、声音自身的频率，以及声发出的方向。尽管人的听觉系统较为复杂，但是人耳的频率响应对于不同的人却较为恒定。

当在所有频率上均有着恒定的声压级的声波从单个位置指向听者时，人耳对该声音的单个频率分量有不同的反应。例如，当等声压的声音从听者前方指向听者时，在听者耳中由 1000Hz 声音产生的声压级与 2000Hz 产生的声压级不同。

30 除频率灵敏度外，人的听觉系统对从不同角度入射到耳上的声音有不同的反应。具体地讲，人耳内的声压级因声音方向的不同而异。外耳或耳廓以及内耳道的形状是使对声音的频率等高线成为方向的函数的

主要原因。

人的听觉响应对声源的方位以及高度变化敏感。对于复杂的声信号即那些有多个频率分量的信号，以及对于总的来说是较高频率分量，这一点尤其成立。耳内声压的变化经大脑解释，指示声的源点。当录制声  
5 被再现时，根据人耳对声压信息的解释，声音源点的方向线索将与扬声器再现声音的实际位置有关。

在听者耳处由直接设置于听者前方的扬声器可以获得恒定的声压级，即“平坦”的声压-频率响应。通常希望有如此的响应，以获得真实的声像。但是，也许一组扬声器的质量不够理想，并且也许它们并未  
10 置于最佳声学位置。这两个因素通常导致混乱的声压特征。现有技术的音响系统披露了一些“校正”扬声器所发出声压的方法，以产生空间正确的响应，由此改进所得到的声像。

对于给定音响系统，为了获得空间更为正确的响应，已知方法是对音频信号选择并应用与-头-有关-转移-函数 (HRTF)。HRTF 基于人  
15 听觉系统的声学特征。一种 HRTF 是用于调节各段音频信号的幅值，以对空间失真进行补偿。基于 HRTF 的原理也可以用于使非最佳放置的扬声器的立体声像重定位。

现有技术为校正音再现系统内声学缺陷所作的种种努力通常集中于汽车音响系统中存在的缺陷。颁给 Kunugi 等的美国专利 4648117，  
20 以及颁给 Tokumo 等人的美国专利 4622691 中披露这样一次尝试。在 Kunugi 和 Tokumo 的公开文本中，描述了车内使用的系统，它用于校正声吸收数值并且避免声波干扰。所公开系统包括用于取得所需频率响应的声压校正电路和信号延迟电路。声压校正通过按三个阶段进行的声信号高频提升完成。第一阶段是对车辆的平均声吸收因素进行高频校正，  
25 第二高频校正阶段与特定车辆的声吸收因素有关，第三高频校正因素与车辆内入座的乘客数有关。

在颁给 Satoh 等人的美国专利 5146 507 中披露了一个音频再现系统控制装置，它用于校正给定再现环境的频率响应，使之与标准频率响应特征相符。Satoh 的系统为指向声场（例如汽车内的声场）的前左、前  
30 右、后左和后右扬声器的声信号提供校正参数。预存的与频率和反射有关的声学特征被用于使音频再现控制装置适应不同声环境的要求。

在颁给 Knibbeler 的美国专利 4888809 中披露了另一个用于修改汽

车内的频率响应特征的系统。Knibbler的系统试图通过调节一对滤波器单元在两个单独未重合的收听位置，比如汽车乘客间中的前和后位置处产生平坦的频率响应。每个滤波器单元接收输入信号，并且影响被送往相应声学换能器的输出信号。

- 5 还有一些专利披露了改变音频信号以使频率响应均衡的音响系统。这些专利包括颁给Lowe等的美国专利5371799，颁给Date等人的美国专利5325435，颁给Aylward等的美国专利5228085，颁给Sadaic的美国专利5033092，颁给van den Berg的英国专利4393270，颁给Yamada的美国专利4329544。

#### 10 发明综述

尽管现有技术作出如此多的贡献，但是仍存在这样一种声像校正设备需求，该校正设备可以容易地适应各种具有失真空间特征的声再现环境。另外还有这样一种声像校正系统需求，该声像校正系统和声像增强设备共同工作，以对校正后的立体声声像进行空间增强。

- 15 此处公开的声学校正设备，以及相关工作方法，为改进不理想再现环境中的声像提供了专业化的有效系统。

为了改进立体声声像，图像校正装置将输入信号归入第一频段和第二频段，这两个频段总起来说基本上包含所有的音频频谱。对输入信号在第一和第二频段内的频率响应特征单独校正，并且加以组合，产生一个其频率响应特征相对于听者来说较为平坦的输出信号。频率校正即声

20 能校正级与再现环境有关，对频率校正级进行修正，以克服这类环境的声学局限性。该声学校正设备的设计方案允许在单个频段内对输入信号进行简单且独立的校正，以获得经过空间校正和重新定位的声像。

- 25 在音频再现环境之内，扬声器可能放置在距离听者之耳较远的地点，因此对听者感知的声像有不利影响。例如在汽车内，用于产生低、中及高频段声信号的扬声器可能被置于车门面板内听者耳的下方某处。本发明的声学校正设备将声像重新定位到听者耳高度附近的一视在位置。

在某些音频再现环境下，高频换能器或高音扬声器的位置与中频或低频换能器即中频或中音扬声器的放置地点相隔较远。在汽车内，中频扬声器通常被放置于车门面板内或听者腿或脚附近的类似地点。但是，高音扬声器的位置高度可能接近或高于听者的耳高，以避免干扰或周围

30

5 物体的吸收。高音扬声器因其尺寸小适于在车内作这样的远距放置。当高音扬声器的放置地点接近听者的耳高时，听者耳处在高频段的声压级可能比在相应的低频段大。因此，声学校正设备作如此设计，使得对较高频分量的校正可以是正或负的，即，较高频分量可以相对于较低频分量作提升或衰减，以对高音扬声器的远距因素进行补偿。

10 通过使用该声学校正设备，可以对播放音频信号产生的立体声声像进行空间校正，使得校正后感知声源的垂直和/或水平位置与扬声器的位置不同。由听者感知的确切声源将与空间校正级有关。从汽车的角度来说，可以将此处公开的声学校正设备与车门-安装扬声器结合使用，以使在乘客耳处的频率响应曲线基本上平坦。这样的响应将在听者前方、大约耳高处产生一视在立体声声像。

15 一旦经空间失真校正获得感知声源，就可以对校正后的音频信号进行增强，以提供扩展的立体声声像。根据优选实施例，为了使听者有身临现实声舞台的感觉，在对重新定位的音频像进行立体声声像增强时考虑了有关人类听觉的声学原理，在那些收听位置相对固定的声再现环境下，例如汽车内部，对音频信号施加的立体声声像增强强度部分是由扬声器相对于听者的实际位置确定的。

20 根据本发明的一个优选方面，音频校正装置适用于车辆的汽车音响系统，对汽车音响系统相对于车辆驾驶座上就座的听者所投影的立体声声像进行空间增强。车辆还有前部乘客座位，而汽车音响系统包括一对扬声器，它们分别安装于车辆的驾驶座一侧的车门以及乘客座一侧的车门上，其中扬声器的位置高度在听者的一对耳之下。

25 优选音频校正装置包括立体声声像校正电路，它与接收立体声信号的汽车音响系统相连，就听者而言，该立体声信号在经扬声器播放时显示了音频失真，声像校正电路修改立体声信号的各分量，生成校正过的立体声信号，校正过的立体声信号对音频失真进行补偿，以使校正过的立体声信号经扬声器放出时为听者提供视在声像。

30 另外，优选的音频校正装置还包括一个立体声声像增强电路，该电路接收校正过的立体声信号以展宽视在声像，立体声声像增强电路修改立体声信号，以产生空间增强的声信号，供扬声器播放。声像增强电路包括一个使立体声信号的立体声信息内容隔离的装置，一个均衡器，用于向所述立体声信息内容施加作为频率函数的幅度提升数值的均衡

器,其中所述提升数值的特征是小于200Hz的最大增益点,并且其特征在于最小增益点在1kHz和5kHz之间,以及将所述立体声信息内容与所述立体声信号组合起来以产生所述空间增强声信号的装置。

5 在另一实施例中,立体声声像校正电路将可听频谱划分为低频段和相对低频段而言的高频段,声像校正电路以独立于高频段内分量的方式修改低频段内的立体声信号的分量。

在另一实施例中,失真源自于扬声器在车门内的放置地点,其中扬声器指向听者的相应两侧,扬声器的特征在于声扩散角,使得听者的耳朵基本上位于声扩散角范围之外。

10 在另一实施例中,经空间增强的声信号经扬声器播放,其视在效果是使视在声像转向听者,并且其中立体声信息内容信号的最小增益是扬声器系统相对于听者位置的函数。在另一实施例中,失真源自于车辆内部的吸声特征。

根据本发明的另一方面,音频增强设备以立体声再现装置所提供的  
15 左和右立体声输入信号为工作对象,这些立体声输入信号供处于音频再现环境内固定位置上的扬声器系统播放用,该增强设备通过补偿输入信号被音频再现环境内的扬声器系统再现时产生的声学局限性,来修改立体声输入信号,以获得改进的立体声声像。音频增强设备包括立体声声像校正电路,它接收左和右立体声输入信号并且修改输入信号,以生成  
20 能量-校正过的左和右立体声信号,能量-校正过的左和右信号在经扬声器系统播放并且被音频再现环境内的听者听到时产生校正的空间响应,校正的空间响应相对于听者产生视在声像,以使听者拥有真实且重新定向的声感受。

音频增强设备的该实施例还包括一个立体声声像增强电路,它接收  
25 能量-校正过的左和右立体声信号并且为使视在声像得到增强从而产生增强了的左和右立体声信号,以使这些增强的左和右立体声信号经扬声器系统再现之时听者所感知的声像有所改进,并且其中能量-校正后的左和右信号的特征是代表能量-校正后的左和右信号之差的第二差信号分量,并且增强了的左和右立体声信号的特征在于代表增强了的左  
30 和右信号之差的第二差信号分量,第二差信号分量相对于第一差信号分量选择性地均衡。

在另一实施例中,声学局限性是扬声器系统相对于听者的固定位置

的函数。在另一实施例中，声学局限性是扬声器系统的固有特征。在又另一实施例中，视在声像由听者相对于扬声器系统的方位角及高度定义。

5 在另一实施例中，声学局限性是扬声器系统相对于听者的固定位置的函数以及音频再现环境的吸声特征的函数。在又另一实施例中，校正后的空间响应的特征在于就听者而言声压能量级在大于 100Hz 的所有可听频率上基本上是恒定的。

10 在另一实施例中，立体声声像校正电路包括第一校正电路，用于修正第一频段内的左和右输入信号的分量，以产生第一校正立体声信号分量；第二校正电路，用于单独地修改第二频段内左和右输入信号的分量，以产生第二校正立体声信号分量，以及将第一和第二校正后的立体声信号分量组合以生成能量-校正后的左和右信号的组合装置。

15 在另一实施例中，组合装置还将相应的输入信号与第一和第二校正立体声信号分量相组合，以生成能量-校正的左和右信号。在又另一实施例，第一校正立体声信号分量包括频率在约 100Hz 至 1kHz 之间的信号，而第二校正立体声信号分量包括频率在约 1kHz 至 10kHz 之间的信号。

20 在另一实施例中，能量-校正电路使第二校正立体声信号分量衰减。在又另一实施例中，第二校正电路将第二频段内的输入信号分量提升，以产生第二校正立体声信号分量，组合装置还包括具有第一位置和第二位置的开关，其中在开关处于第一位置时第二校正立体声信号分量由组合装置加至第一校正立体声信号分量，当开关处于第二位置时从第一校正立体声信号分量中减去第二校正立体声信号分量。

25 在另一实施例中，立体声声像增强电路包括均衡器，它通过向第一差信号施加立体效果均衡曲线，改变第一差信号的频率响应，以产生第二差信号，该立体效果均衡曲线的特征在于最大增益转折点发生在约 100 至 200Hz 的第一频段内的最大增益频率处，并且该曲线的特征在于最小增益转折点发生在约 1680 至 5000Hz 的第二频段内的最小增益频率处。

30 在另一实施例中，最大增益在约 10 至 15dB 的范围内，而最小增益在约 0 至 10dB 的范围内。在又另一实施例中，最大增益、最大增益频率、最小增益以及最小增益频率与扬声器系统相对于听者的固定位置有

关。在附加实施例中，立体效果均衡曲线是角度的函数，该角度由（1）从扬声器系统发出且入射在听者的贴近耳处的直达声的路径，（2）与听者前向视线平行的平面之间所夹角产生。

5 在另一实施例中，音频增强设备由数字信号处理器以数字形式实施。在又另一实施例中，音频增强设备是由使用离散电路元件实施的。在一附加实施例中，左和右立体声输入信号由单音音频信号源合成生成。在一附加实施例中，左和右立体声输入信号是视听复合信号的一部分。

10 在另一实施例中，音频增强设备被设计成数字和模拟混合电路。在又另一实施例中，音频增强系统包含于半导体基片内。在附加实施例中，音频增强系统包含于多芯片模块中。

15 在另一实施例中，音频再现环境是汽车的内部空间，汽车的第一和第二车门面板放置于该车驾驶员的相对两侧，并且其中扬声器系统包括设置于第一车门面板内的第一扬声器和设置于第二车门面板内的第二扬声器。在又另一实施例中，音频再现环境与具有一个键盘的电子键盘设备有关，并且其中扬声器系统包括与电子键盘设备相连的第一和第二扬声器，第一和第二扬声器设置于键盘的下方。

20 根据本发明的另一方面，立体声增强装置接收或输入一对立体声左和右音频信号并且向扬声器系统提供处理后的左和右音频信号，以再现对应于处理后信号的声像。立体声增强装置的该实施例包括这样的装置，它有选择地改变左和右音频信号的幅度值以产生校正后的左和右音频信号，就听者而言，在校正后的信号经扬声器系统播放时校正后的左和右音频信号为声像传递一个感知源点，该感知源点与声像的实际源点不同，还包括一种增强装置，它对校正后的左和右音频信号进行增强以  
25 加重校正后的左和右音频信号内存在的混响声能量，增强装置产生处理后的左和右音频信号。

30 在另一实施例中，用于增强校正信号的装置将差信号的选定频率分量放大预定量，该差信号代表校正后的左和右音频信号内存在的立体声信息数量，而预定量按声像的实际源点的函数确定。在又另一实施例中，就听者而言左和右音频信号经扬声器系统的播放产生第一频率-有关的声压响应，而就该听者而言，左和右音频信号经定位于感知源点处的扬声器系统的播放产生第二频率-相关声压响应，在校正后的左和右音频

信号由扬声器系统再现时就听者而言校正的左和右音频信号产生第二频率相关声压响应。

5 在另一实施例中，有选择改变的装置还包括将立体声音频信号划分为低频分量和高频分量的装置，对低和高频分量均衡以产生低频和高频能量-校正音频信号的装置，和将低和高频能量-校正音频信号组合以产生校正的左和右音频信号的组合装置。

10 在另一实施例中，低频分量包含于值约为 100 至 1000Hz 的频段之内，高频分量包含于值约为 1000 至 10000Hz 频段内。在又另一实施例中，低频分量对应于立体声音频信号的第一频段，高频分量对应于立体声音频信号的第二频段，低频分量在第一频段上提升而高频分量在第二频段上衰减。

15 在另一实施例中，增强装置包括产生代表校正的左音频信号和校正的右音频信号之和的和信号的装置，产生代表校正的左音频信号和校正的右音频信号之差的差信号的装置，将第一和第二频段内的差信号的分量相对于第三频段内的差信号的分量提升以产生处理的差信号的装置，第三频段大于第一频段且小于第二频段，以及将和信号与处理后的差信号组合起来产生处理后的左和右音频信号的装置。

20 在另一实施例中，差信号的最小增益转折点出现在第三频段内的最小增益频率处，该最小增益转折点按声像的实际源点的函数确定。在又另一实施例中，第一、第二和第三频段内差信号的分量全都由提升装置加以放大。

25 根据本发明的另一方面，空间增强设备使位于音频再现环境内的扬声器系统发出的立体声声像进行重新定向和增强。在本发明的该方面，空间增强设备包括一个声像校正电路，该校正电路接收音频输入信号并且产生校正的音频信号，音频输入信号在经扬声器系统播放时相对于听者产生第一声压响应，并且校正后的音频信号在经扬声器系统播放时产生第二声压响应，就听者而言，第二声压响应产生相应于扬声器系统视在位置的视在立体声声像，而声像增强电路接收校正后的音频信号并且提供供扬声器系统再现用的增强了的音频信号，相对于校正的音频信号来说增强的音频信号被均衡，以使视在立体声声像展宽。

30 在另一实施例中，校正的音频信号是立体声信号，它包括一个差信号，该差信号代表校正的音频信号中存在的立体声信息量，声像增强电

路将差信号均衡，加强校正的音频信号中混响声能量，以便展宽视在立体声声像。

在另一实施例中，校正的音频信号是一个立体声信号，它包括代表校正的音频信号中存在的立体声信息量的差信号，声像增强电路根据立体效果均衡级对差信号进行均衡以产生处理的差信号，立体效果均衡级因差信号的频率而异并且它的特征是最大增益出现在约 100 至 200Hz 的第一频段内的最大增益频率处而最小增益出现在约 1680 至 5000Hz 的第二频段内的最小增益频率处，均衡级在第一频段之下以及第一频段以上直至最小增益频率是递减的，均衡级在最小增益频率以上是递增的。在又另一实施例中，最大增益和最小增益是扬声器系统相对于音频再现环境内听者的实际位置的函数。

在另一实施例中，差信号的均衡级的特征还在于差信号相对于最大增益作低音衰减，低音衰减出现在最大增益频率之下，而低音衰减量随着差信号频率的降低而增加。在又另一实施例中，最大增益和最小增益固定在预设增益值上，最大增益和最小增益与从扬声器系统的实际地点发出且到达听者耳处的直达声的入射角有关。

在另一实施例中，声像校正电路包括第一滤波器、第二音频滤波器以及放大器。第一滤波器接收音频输入信号并且提供第一滤波后的输出信号，第一滤波器的频率响应特征包括第一过渡带，音频输入信号的幅度值在整个第一过渡带内作为频率的函数被修改，第二音频滤波器接收音频输入信号并且提供第二滤波后的输出信号，第二音频滤波器的频率响应特征包括第二过渡带，音频输入信号的幅度值在整个第二过渡带内作为频率的函数被修改，放大器用于提升第一和第二滤波后的输出信号的幅度值，并且用于将第一和第二滤波后的输出信号与音频输入信号组合起来以产生校正的音频信号，校正的音频信号在经扬声器系统再现时产生视在立体声声像。

在另一实施例中，音频输入信号包括左输入信号和右输入信号，并且声像校正电路包括第一能量-校正装置和第二能量-校正装置，第一能量-校正装置接收左输入信号以对该左输入信号进行处理从而生成校正的左音频信号；该第一能量-校正装置包括低频校正电路、高频校正电路和组合装置，低频校正电路接收左输入信号并且提供校正后的低频左信号，低频校正电路将第一频段内的左输入信号的幅度分量提升，

高频校正电路接收左输入信号并且提供校正的高频左信号，并对在第二频段内左输入信号的幅度分量进行调节，组合装置用于将校正后的低和  
高频左信号组合起来以产生校正后的左音频信号，第二能量-校正装置  
接收右输入信号以产生校正的右音频信号。

- 5 第二能量-校正装置还包括低频校正电路、高频校正电路以及组合  
装置，低频校正电路接收右输入信号并且提供校正的低频右信号，低频  
校正电路将右输入信号在第一频段内的幅度分量提升，高频校正电路接  
收右输入信号并且提供校正的高频右信号，高频校正电路还调节第二频  
10 段内右输入信号的幅度分量，组合装置组合校正的低和右信号以产  
生校正的右音频信号。

在另一实施例中，音频再现环境是汽车的内部空间，汽车有一个仪  
表盘，视在立体声声像从仪表盘方向发出指向听者。在又另一实施例  
中，音频再现环境是户外区域并且其中的听者可以就位于该音频再现环  
境内的多个地点。

- 15 在另一实施例中，声像增强电路包括第一求和网络和与第一求和网络  
相连的均衡器，第一求和网络输入由声像校正电路提供的校正后的左  
和右音频信号并且产生差信号与和信号，差信号代表校正后的左和右音  
频信号中存在的立体声信息量，均衡器修改差信号的频率响应，产生处  
理后的差信号，其均衡数值随处理过的差信号的频率而变。

- 20 该实施例中的均衡级的特征在于最大增益出现在约 100 至 200Hz  
之间的最大增益频率处，而最小增益出现在约 1680 至 5000Hz 之间的最  
小增益频率处，差信号相对于最大增益有中度衰减，中度衰减发生于最  
大增益频率之上并且随着差信号频率增加直到最小增益频率作相应的  
递增，而在最小增益频率以上随着差信号频率的增加中度衰减下降。

- 25 在该实施例中，声像增强电路还包括信号混频器，该混频器接收经  
处理的差信号并且将处理的差信号与和信号以及校正的左音频信号组  
合以产生增强的左输出信号供扬声器系统再现用，信号混频器还将经处  
理的差信号与和信号以及校正的右音频信号组合以产生增强的右输出  
信号供扬声器系统再现用。

- 30 根据本发明的另一方面，声能量-校正装置用于在立体声信号经扬  
声器系统再现时修改立体声信号的谱密度以克服扬声器系统的声学缺  
陷。在本发明的该方面，声能量-校正装置包括补偿电路，补偿电路接

收立体声信号以调节立体声信号的幅度从而在立体声信号经扬声器系统播放时获得就听者而言理想的声学空间响应，该补偿电路包括第一校正电路、第二校正电路以及组合装置，第一校正电路接收立体声信号并将立体声信号作为第一频率函数在第一频段上提升以产生第一校正的立体声信号，第二校正电路接收立体声信号并且将立体声信号作为第二频率函数在第二频段上调节以产生第二校正的立体声信号，其中第一频率函数与第二频率函数无关，组合装置用于组合第一和第二校正的立体声信号以产生能量-校正的输出信号。

在另一实施例中，第一频段包括低于约 1000Hz 的可听频率而第二频段包括大于约 1000Hz 的可听频率。在又另一实施例中，立体声信号也与第一和第二校正的立体声信号经组合装置组合。在附加实施例中，第一校正电路所提供的提升量随频率增加而相应地增加。

在另一实施例中，第二校正电路将立体声信号在第二频段内提升，提升量随着频率的增加而相应增加。在又另一实施例中，第二校正电路使立体声信号在第二频段内衰减。

在附加实施例中，声能量-校正装置还包括一只电子开关，该开关接收第二校正的立体声信号并且其输出端与组合装置相连，电子开关具有第一位置和第二位置，当开关处于第一位置时第一和第二校正的立体声信号由组合装置相加，当开关处于第二位置时第二校正的立体声信号从第一校正的立体声信号中减去。

根据本发明的另一方面，电子装置根据经声学换能器再生的声信号产生视在声像。在本发明的该方面，电子装置包括第一滤波器、第二音频滤波器和放大装置，第一滤波器接收声信号并且提供第一滤波后的输出信号，第一滤波器的频率响应特征包括第一通带和第一过渡带，声信号的幅值在整个第一过渡带内作为频率的函数被修改并且在第一通带内修改值基本上一致，第二音频滤波器接收声信号并且提供第二滤波后的输出信号，第二音频滤波器的频率响应特性包括第二通带和第二过渡带，在整个第二过渡带内声信号的幅值是作为频率的函数被修改并且在第二通带内修改值基本上一致，放大装置用于提升第一和第二滤波的输出信号的幅值，用于将第一和第二滤波的输出信号与声信号加以组合从而生成能量-校正的声信号，能量-校正的声信号在经声学换能器再生时产生视在声像。

在另一实施例中，第二滤波的输出信号在与第一滤波的输出信号和声信号组合时被放大装置反相。在又另一实施例中，第一和第二音频滤波器是高通滤波器，第一过渡带的频段在约 100Hz 和 1000Hz 之间，而第二过渡带的频段在约 1000Hz 和 10kHz 之间。

5 在附加实施例中，电子装置还包括对能量-校正的声信号作空间增强的装置，能量-校正声信号包括左能量-校正信号和右能量-校正信号。空间增强装置包括产生代表能量-校正的左和右信号之和的和信号的装置，产生代表能量-校正的左信号与能量-校正的右信号之差的差信号的装置，均衡器，以及将和信号与处理过的差信号组合以产生空间增强的左和右输出信号的装置，均衡器用于将差信号在第一和第二频段内的分量相对于差信号在第三频段内的分量提升以产生处理过的差信号，第三频段大于第一频段且小于第二频段。

10 在另一实施例中，声信号包括左和右信号，放大装置包括第一放大器和第二放大器，第一放大器用于提升滤波后的输出信号分量，而第二放大器用于提升滤波后的输出信号分量，第一和第二放大器对滤波的输出信号施加以可变的提升量，该提升量可通过第一和第二联动可变电阻调节，第一和第二联动可变电阻将滤波的输出信号传送给放大装置。

本发明的附加方面还提供了音频信号的处理方法，该方法对在音频信号经音响系统中的扬声器再现时声能量的失真进行补偿。本发明该方面的所述方法包括下列步骤：（a）产生第一滤波的音频信号，该第一滤波的音频信号的特征在于频率的第一过渡带和第一通带，（b）产生第二滤波的音频信号，该第二滤波的音频信号的特征在于频率的第二过渡带和第二通带，（c）将第一滤波的音频信号在第一过渡带内的幅度分量按频率的函数提升，（d）将第一滤波后的音频信号在第一通带内的幅度分量提升一固定量，（e）将第二滤波的音频信号在第二过渡带内的幅度分量按频率的函数加以修改，（f）将第二滤波的音频信号在第二通带内的分量修改一固定量，（g）将已提升的第一滤波后的音频信号和已修改的第二滤波后的音频信号加以组合以产生空间校正的音频信号，从而在空间校正的音频信号经扬声器再现时产生校正的声像，以及（h）对校正的音频信号作空间增强以展览校正的声像。

30 在另一实施例中，第一过渡带的频率范围在约 1000Hz 以下，第一通带包括高于 1000Hz 的频率，第二过渡带的频率范围为约 1000Hz 至

10000Hz，第二通带包括高于约 10000Hz 的频率。在另一实施例中，对校正的音频信号作空间增强的频率包括下列步骤：(a) 产生差信号，该差信号代表空间校正的音频信号的立体声信息内容，以及 (b) 通过对差信号施加立体效果均衡曲线来改变差信号从而产生处理过的差信号，立体效果均衡曲线的特征在于最大增益转折点出现在约为 100 至 200Hz 的第一频段内的最大增益频率处，并且该曲线的特征在于最小增益转折点发生在约为 1680 至 5000Hz 的第二频段内的最小增益频率处。

本发明的另一方面提供了在音频信号经位于音频再现环境内的扬声器系统再现时对处于同一再现环境内的听者所感知的声学空间失真作出补偿的方法。该方法包括下列步骤：(a) 将音频信号分成为第一频段内的第一组信号分量和第二频段内的第二组分量，第一组信号分量包含于低于约 1000Hz 的第一频段内而第二组信号分量包含于高于约 1000Hz 的第二频段内，(b) 将第一组信号分量的幅值在第一频段上按频率的函数提升以产生第一组修改的信号分量，(c) 将第二组分量的幅值在第二频段上按频率的函数调节以产生第二组修改的信号分量，以及 (d) 将第一组修改的信号分量与第二组修改的信号分量相组合以产生能量-校正的音频输出信号。

在另一实施例中，第二组修改的信号分量相对于第二组信号分量是衰减的。在又另一实施例中，该方法还包括一个步骤，即在第二频段内将音频信号在第二频段内的幅值提升一基本固定的数量，固定量对应于对第一组信号分量所作的最大提升值。

#### 附图简述

本发明的上述及其它方面、特点和优势，通过下文结合附图对本发明所作的说明将更为显而易见，在附图中：

图 1 是立体声声像校正电路与立体声增强电路操作性相连的简明框图，它们用于从一对立体声输入信号产生逼真立体声声像。

图 2 是从侧面观察所得的车辆图，它表示了扬声器在车辆内部的放置位置。

图 3 是图 2 所示车辆的顶视图，它表示了扬声器在车辆内部的放置位置。

图 4A 是一个声再现系统的期望的声压-频率特性图。

图 4B 是对应于第一声再现环境的声压-频率特性图。

图 4C 是对应于第二声再现环境的声压 - 频率特性图。

图 4D 是对应于第三声再现环境的声压 - 频率特性图。

图 5 是能量 - 校正电路的简明框图, 该电路与立体声声像增强电路操作性相连, 用于从一对立体声输入信号产生逼真立体声声像。

5 图 6A 是根据优选实施例由低频校正电路所给出的各级信号修改方案的图形表示。

图 6B 是由高频校正电路所提供的各级信号修正方案的图形表示。该修正方案是根据优选实施例用于提升音频信号的高频分量。

图 6C 是根据优选实施例用于衰减声信号的高频分量并由高频校正电路所提供的各级信号修改的图形表示。

图 6D 是复合能量 - 校正曲线的图形表示。该曲线描述了用于重新定位立体声声像的声压校正的可能范围。

图 7 是对音频差信号所进行的各级均衡的图形表示, 均衡的目的是取得程度不同的立体声声像增强。

15 图 8A 是表示听者对被置于第一位置处的扬声器所发声的感知声源和实际声源差异的图形。

图 9 是用于改变音频信号在宽频段上的声压级的能量 - 校正电路的简图。

图 10 是供图 9 的能量 - 校正电路结合使用的立体声声像增强电路的简图。

图 11 是与图 9 的能量 - 校正电路结合使用的立体声声像增强电路的替代性实施例的简图。

图 12 是供本发明的替代性实施例使用的低音提升电路的简图。

图 13 是适于本发明应用的第一替代性声再现环境的示意图。

25 图 14 是适于本发明应用的第二替代性声再现环境的透视图。

#### 优选实施例的详细说明

首先参看图 1, 该图是本发明的一个优选实施例的框图。具体而言, 声校正设备 20 包括一个连接至立体声声像增强电路 24 的立体声声像校正电路 22。声像校正电路 22 输入左立体声信号 26 和右立体声信号 28。经声像校正后的左立体声信号  $L_C$  和右立体声信号  $R_C$  分别沿路径 27 和 29 送往立体声声像增强电路 24。立体声声像增强电路 24 对信号  $L_C$  和  $R_C$  进行处理, 给出左输出信号 30 和右输出信号 32。继而输出信号 30

和 32 可以连接至其它形式的信号调节电路，或者它们可以直接连接至扬声器（未示）。

在本发明的优选实施例中，立体声声像校正电路 22 和立体声增强电路 24 配合工作，以克服声再现环境的声学缺陷。这类声再现环境可以大至剧院场馆或小至便携式电子键盘。本发明的优势特别明显的一个此类环境是汽车的内部。

现在参看图 2，该图以侧面剖视图方式描述了一个具有声再现系统的车辆 40，并表示了车辆 40 的内部座位排列和扬声器位置情况。类似地，在图 3 中给出声再现系统的相同扬声器放置情况的顶视图。车辆 40 的内部可被分为前部 42 和后部 44。车辆 40 的音响系统包括一对车门 - 安装扬声器 46，它们安装于前部乘客 48 的腿或脚附近。类似地，车辆 40 的后部 44 还包括一对车门 - 安装扬声器 50。扬声器对 46 和 50 在车门面板内的位置是被汽车制造商所普遍接受的一种方案。但是，在一些车辆中这些车门 - 安装的扬声器 46 和 50 也可以由安装于后部小行李架 54 上的扬声器 52 取代或补充。

另外，一些汽车立体音响系统将扬声器设置于不同位置，使得中频或较低频与较高频率声音的再现地点有所不同。图 2 的车辆 40 便演示了这类立体音响系统。具体而言，一对高频扬声器 56 即高频头安装于乘客 48 上方。通常刻意选择扬声器 56 的安装位置，以避免失真和车辆 40 内物体所引起的高频声音的干扰。由于高频扬声器的尺寸很小，所以扬声器 56 可以如此定位。

除图 2 所示的扬声器位置外，制造商或修配专家可以将扬声器放置于汽车内其它各种可能的位置处。例如，扬声器可以放置于仪表板 55 内或车门面板 58 的其它区域。不论汽车立体音响系统的类型，或扬声器在其内的放置情况如何，对于坐于车辆内的听者而言都希望能从立体音响系统取得正面的立体声声像效果。

图 4A 描述了在声再现环境下出现在听者外耳处的期望频响特征曲线图。曲线 60 是以分贝为单位测量的声压级（SPL）对频率的函数。从图 4A 可以看出，对于所有可听频率来说声压级是较为恒定的。曲线 60 可以通过将一对理想扬声器直接放置于听者前方与其耳朵差不多等高处，并由它们重放粉红噪声而得到。粉红噪声指的是这样一种情况，即声音分布于声频频谱上，每个倍频程具有相等的能量。实际上，曲线

60 的平坦频率响应可能会由于扬声器系统的固有声学缺陷的影响而有起伏。

曲线 60 表示听者耳朵进行处理之前的声压级。重新参看图 2 和 3，曲线 60 所代表的平坦频率响应与从仪表板 55 所处位置沿图示方向 A 向乘客 48 发射的声音一致。人耳通过将其自身的听觉响应加于声信号上，对曲线 60 所代表的这类声音进行处理。人的这一听觉响应由耳的外耳廓和内通道部分决定。

遗憾的是，许多汽车声再现系统的频率响应特征曲线并不具备图 4A 所示的期望特征。相反，扬声器可能被放置于声学上不利的地点。以满足其它的人类工程方面的要求。重新参看图 2，车门 - 安装的扬声器 46 和 50 被置于方便且不被注意的地点。但是，在这样的位置处，由于扬声器 46 和 56 相对于乘客 48 只是简单放置，故此扬声器 46 和 50 发出的声音可能是谱失真的。另外汽车 40 的内部环境，比如乘客 48 的腿和汽车的车座 45，会导致吸收所产生的声信号或使其幅度失真。这类失真通常存在于较高频率中，它们是一些现有技术声增强系统的改进目标。

谱和幅值失真的结果是，乘客 48 感知的立体声声像在空间上是失真的，使得听觉感受难以令人满意。图 4B - 4D 以图形方式描绘了各种汽车声再现系统的空间失真程度。图 4B - 4D 所描绘的失真特性曲线代表以分贝为单位测得的听者耳周围的声压级。

图 4B 的频率响应曲线 64 在大于约 100Hz 的频率处的声压级呈下降趋势。曲线 64 表示安装于汽车内听者下方、包括低音扬声器和高音扬声器在内的扬声器所产生的可能声压特性曲线。例如，假定图 2 的扬声器 46 包括高音扬声器，那么仅由此扬声器 46 播放的声信号可能呈现图 4B 的响应。假定在图 2 的汽车内得到图 4B 的声压响应，乘客 48 将把所产生的声像定位于前部 42 的较低部位。

与渐降曲线 46 有关的特定倾斜度易于改变，而且可能不是完全线性的，这一切都与汽车的内部、扬声器的质量以及扬声器在车门面板 58 内的精确定位有关。例如，真皮或乙烯树脂内部饰品将比布制内部饰品反射更多的声信号，特别是高频声信号。谱失真的程度随着扬声器距听者的放置距离和定位距离的加大，有着明显的差异。

图 4c 是声压 - 频率特性曲线 68 的图形表示，其中音频信号的第一

频段是谱失真的，但是信号的较高频段不是失真的。特性曲线 68 可以由低至中频扬声器置于听者下方并且高频扬声器置于听者耳高水平或与其齐平而得到。再次参看图 2，这样的低至中频扬声器将对应于扬声器 46，而这样的高频扬声器（未示）将置于仪表板 55 上的某个部位。

5 采用这种安排方式，频率响应曲线 68 在约 100Hz 处幅值最大，从 100Hz 至约 1000Hz 将作为频率的函数而降低。在 1000Hz，曲线 68 再一次增加直至最大幅值，声压级在 1000Hz 以上的增加是高音扬声器被不受遮拦地置于车辆乘客 48 前方位置的直接结果。由特性曲线 68 产生的声像将在图 2 的乘客 48 下方有一低频分量，在乘客的耳齐平附近处有一高频分量。

10

图 4D 是声压 - 频率特性曲线 70 的图形表示，其中在低频段声压级呈下降趋势，在高频段声压级呈上升趋势。特性曲线 70 是由这样的扬声器安排，即中至低频扬声器置于听者下方而高频扬声器置于听者上方而获得的。这样的一种安排对应于图 2 的包括扬声器 46 和 56 在内的音频系统。将高音扬声器置于耳的上方、车的顶盖内，会为之提供一个不受阻挡的直达乘客耳的较短路径。因此，正如图 4D 的曲线 70 所示，大于 1000Hz 的频率处的声压级可能明显地大于低频声压级，使附近的听者感受到不希望有的声学效果。由特性曲线 70 产生的声像将具有下列特征，低频分量位于图 2 的乘客 48 的下方，高频分量位于乘客 48 的上方。

15

20

图 4B - 4D 的声学特征曲线表示了在前部 42（图 2 所示）内可获得的且为乘客 48 听到的各种声压级。在具有前部和后部的汽车再现环境中，可以对每个部分内的声像进行重新调整。大多数汽车为进行这类单独的信号校正，配备有单独的前、后通道。在后部 44 内对空间失真进行校正所需的信号调节将依特定扬声器位置而定。例如，图 2 的扬声器 50 所需采取的空间校正程度与扬声器对 46 基本相同。之所以如此是因为扬声器 46 和 50 相对于前部乘客 48 和后部乘客而言分别处于相同的位置。但是，如果后通道扬声器包括或还具有面向上的扬声器 52，那么将进行不同程度的调节，以校正车辆 40 的后部收听空间（可能有）的空间失真。

25

30

图 4B - 4D 的声学响应曲线仅仅是关于听者耳处的音频信号如何被各种声再现系统失真播放的数个例子。在任意给定频率上空间失真的

准确程度将视再现系统和再现环境而有很大的不同。通过实施此处说明的本发明优选实施例，将为扬声器系统相对于固定听者产生由视在高度和方位坐标定义的视在位置，这些高度和方位坐标与实际扬声器的位置有所不同。

5 图 5 披露了本发明的优选实施例的详细框图。优选实施例包括立体声声像校正电路 22，它输入左和右立体声信号 26 和 28。声像校正电路 22 通过有利地将可听频谱分割为第一频率分量和第二频率分量，来校正各个音响系统的失真的谱密度，其中第一频率分量包含较低频率，第二频率分量包含较高频率。左和右信号 26 和 28 的每一个  
10 分别由相应的低频校正电路 80、82 以及高频校正电路 84 和 86 单独处理。应当指出，在优选实施例中校正电路 80 和 82 将工作在约为 100 至 1000Hz 的较“低”频段，而校正电路 84 和 86 将工作在约为 1000 至 10000Hz 的较“高”频段。这与通常的音频术语有所不同，通常情况下低频表示高达 100Hz 的频率，中频代表 100 至 4kHz 之间的频率，  
15 而高频代表大于 4kHz 的频率，两者不应混淆。

通过分离输入声信号的较低和较高频率分量，在一频段内对声压级的校正可独立于另一频段进行。校正电路 82、84、86 和 80 修改输入信号 26 和 28，以对这些输入信号在由扬声器再现之时产生的谱和幅度失真进行校正。所产生的信号与原始输入信号 26 和 28 在各自的  
20 求和结点 90 和 92 处组合在一起。校正后的左立体声信号  $L_c'$  和校正后的右立体声信号  $R_c'$  分别沿输出端 94 和 96 送出。

输出端 94 和 96 处的校正立体声信号在乘客 48 (图 2 所示) 的耳处产生平坦即均匀的频率响应。该空间校正响应产生一个视在声源，当通过图 2 的扬声器 46 播放时，该视在声源似乎定位于乘客 48 的正  
25 前方。一旦声源经声信号的能量 - 校正后被恰当定位，立体声增强电路 24 就调节立体声信号，以展览由该视在声源发出的立体声声像。正如结合图 8A 和图 8B 将要讨论的，立体声声像增强电路 24 可能需要由立体声定向装置 30 进行调节，以对声源的实际位置进行补偿。

在优选实施例中，立体声增强系统 24 对左和右立体声信号中存在的  
30 的差信号信息进行平衡。此处披露的立体声增强系统 24 与共同未决的序列号为 08/430751 的专利申请类似。本发明所采用的相关立体声增强系统也披露于美国专利 4748669 和 4866774 中，这两个美国专利被颁发

给本申请所公开的发明的相同发明人之一，Arnold klayman。美国专利 4748669、美国专利 4866774 以及专利申请 08/430751 的公开件在此处引为参考，恰如本文所全面陈述的那样。

沿路径 94 和 96 传输的信号  $L_C$  和  $R_C$  被增强系统 24 输入，并且馈往高通滤波器 98。滤波器 98 实际上可能包括两个单独的高通滤波器。滤波器 98 是一个预调节滤波器，它的设计目的在于减少低于约 100Hz 的低音分量，这些低音分量可能不受欢迎地存在于差信号中。滤波器 98 的输出被送往差信号发生器 100。输出端 102 处存在一差信号 ( $L_C - R_C$ )，该差信号代表校正后的左和右输入信号的立体声内容。立体声声像校正电路 22 的输出也被直接送往和信号发生器 104。输出端 106 处产生一和信号 ( $L_C + R_C$ )，该和信号代表校正后的左和右立体声信号的和。

输出端 102 和 106 处的和信号与差信号分别馈往单独的电平调节装置 108 和 110。理想情况下装置 108 和 110 是电位计或类似的可变阻抗装置。装置 108 和 110 的调节通常是手动进行的，以控制输出信号中存在的和信号与差信号的基准电平。这允许用户可以根据再现声音类型并且依据用户的个人喜好，设计立体声增强的强度和方面。和信号的基准电平的增加将突出定位于一对扬声器之间的中间地点处的音频信息。相反地，差信号基准电平的增加将突出周围声音信息，从而感知到较宽的声像。在某些音乐类型和系统配置参数已知或者手动调节并不可行的音频结构中，可以取消调节装置 108 和 110，这便要求和信号与差信号的电平须预先确定并且加以固定。

装置 110 的输出被馈往输入端 122 处的立体声增强均衡器 120。均衡器 120 通过对差信号分别用低通音频滤波器 124 和高通音频滤波器 126 进行滤波，对出现在输入端 122 处的差信号进行谱整形。除了由滤波器 124 和 126 所提供的调节功能外，差信号电平由立体声定向电路 130 单独调节。滤波器 124、126 和定向电路 130 的输出信号分别沿路径 132、134 和 136 从均衡器 120 输出。

沿路径 132、134 和 136 传送的修改差信号是出现在输出端 140 上的处理差信号 ( $L_C - R_C$ )<sub>p</sub> 的分量。该处理差信号馈入混频器 142，该混频器还接收来自装置 106 的和信号以及来自输出端 94 和 96 的立体声信号  $L_C$  和  $R_C$ 。所有这些信号在混频器 142 内加以组合，以产生有所增强

且空间校正的左输出信号 30 和右输出信号 32。

由增强电路 24 对左和右输出信号 30 和 32 进行的调节由下列数学式表示:

$$L_{out} = L_c + K1(L_c + R_c) + K2(L_c - R_c)_p \quad (1)$$

5

$$R_{out} = R_c + K1(L_c + R_c) - K2(L_c - R_c)_p \quad (2)$$

尽管上述方程中的输入信号  $L_c$  和  $R_c$  代表理想的经校正立体声源信号, 但是它们也可以由单音源合成生成。可以供本发明使用的一个此类立体声合成方法公开于同样颁给 Arnold klayman 的美国专利  
10 4841572, 该专利在本处引用为参考。

#### 声像校正特性曲线

图 6A - 6C 是为了从一对立体声信号获得重新定位的声像, 由“低”和“高”频校正电路 80, 82, 84, 86 所给出的各种程度的空间校正的图形表示。

15 首先参看图 6A, 校正电路 80 和 82 提供的各种可能的空间校正级被描绘成具有不同幅度-频率特性的曲线。电路 80 和 82 所提供最大限度的校正或提升(以 dB 为单位测量)由校正曲线 150 表示。曲线 150 在约 100Hz 和 1000Hz 的第一频段内呈上升趋势。当频率大于 1000Hz 时, 曲线的幅度相对恒定。曲线 152 表示的是校正量几近于零的情况。

20 对于本领域的技术人员而言, 典型滤波器的特征是由截止频率隔开的通带和阻带。图 6A - 6C 的校正曲线尽管代表的是典型的信号滤波器, 可以特性化为通带、阻带和过渡带。根据图 6A 的特征加以构设的滤波器, 其通带在约 1000Hz 以上, 过渡带在约 100 和 1000Hz 之间, 而阻带在约 100Hz 以下。根据图 6B 和 6C 的滤波器的通带在约 10kHz  
25 以上, 过渡带在约 1kHz 和 10kHz 之间, 阻带在约 1kHz 以下。由于根据优选实施例使用的滤波器仅为第一阶滤波器, 故此定义通、阻和过渡带的频率仅是设计目标。对于给定电路来说严格的特征性频率可能有明显不同。

30 从图 6A - 6C 可以看出, 由电路 80、82、84 和 86 对音频信号的空间校正, 在通带内基本上是均匀的, 而在过渡带内很大程度上依赖于频率。通过调节立体声声像校正电路 22 对音频信号施加的声校正量可以作为频率的函数而变化, 其中的立体声声像校正电路可改变图 6A -

6C 的过渡带的倾斜度。结果是，频率相关的校正被施加于 100 和 1000Hz 之间的第一频段，并且施加于 1000 至 10000Hz 的第二频段。通过独立地调节校正电路 80、82、84 和 86，可以得到数目无穷的校正曲线。

5 根据优选实施例，较高频率立体声信号分量的空间校正是在约 1000Hz 和 10kHz 之间进行的。这些信号分量的能量-校正可能是正的即提升，如图 6B 所示，也可能是负的，即衰减，如图 C 所示。校正电路 84、86 所给出的提升范围其特征在于最大提升曲线 160 和最小提升曲线 162，曲线 164、166 和 168 代表对从不同声再现系统发出的声音进行空间校正所需的其它各级提升。

10 图 6C 描绘的能量-校正曲线基本上与图 6B 所示相反。如前所示，在高音扬声器安装于听者上方且与相应的低音扬声器或中频扬声器隔开的情况下，可能需要对较高频声信号进行衰减。由电路 84 和 86 可获得的衰减量是可变的，最大衰减量由曲线 170 表示，最小衰减量由曲线 172 表示。中间曲线 174、176 和 178 表示其间的一些可能变化形式。

15 由于由图 6A - 6C 曲线所表示的较低频和较高频校正因素被加在一起，故此在频率 10 至 10000Hz 之间可采用的可行空间校正曲线范围较广。图 6D 是描绘了由立体声声像校正电路 22 提供的复合空间校正特性曲线的一个变化范围的图形表示。具体而言，实曲线 180 代表由曲线 150（图 6A 所示）和曲线 160（图 6B 所示）组成的最大空间校正级。较低频的校正可以从实曲线 180 起在  $\theta_1$  指定的范围内变化。类似地，较高频率的校正可以自实线 180 起在  $\theta_2$  指定的范围内变化。故此，对 100 至 1000Hz 的第一频段施加的提升量在约 0 和 15dB 之间变化，而对 1000 至 10000Hz 的第二频段施加的校正可以在约 30dB 至 -15dB 之间变化。

### 25 声像增强特性曲线

现在再谈本发明的立体声声像增强方面，图 7 以图形表示了一系列立体效果增强或归一化曲线。上述方程 1 和 2 中的信号  $(L_C - R_C)_P$  表示的是已根据图 7 的频率响应特性曲线作过谱整形的处理后差信号。这些频率响应特性曲线由图 5 所示的均衡器 120 施加并且部分遵从 HRTF 原则。

30 一般来说，将差信号有选择地放大，使环境或混响音响效应增强，这些音响效应可能存在于差信号中但是被较强的直达声掩盖。在表演现

场这些环境声在适当程度下易于被感知。但是，在录音演奏情况下，环境声相对于现场演奏已有所衰减。当声像从置于听者前方的一对扬声器发出时，通过提升取自一对立体声左右信号的差信号电平，该投影声像可以被明显展宽。

5 图 7 的立体效果曲线 190、192、194、196 和 198 表示的是增益对可听频率的函数关系，其中频率取对数形式。考虑到各种音频再现系统，需要介于图 7 的各曲线之间的各种均衡级。具体而言，在优选实施例中，差信号均衡级是扬声器相对于音频再现系统内听者的实际位置的函数。曲线 190、192、194、196 和 198 普遍显示了频率轮廓特征，  
10 该特征与共同未决的申请 08/430751 所详细描述的特征相似。即，较低和较高信号频率相对于中频段有所提升。

根据优选实施例，图 7 的立体效果曲线的范围由位于约 125 至 150Hz 处数值约为 10 - 15dB 的最大增益限定。该最大增益值指的是图 7 各曲线的转折点，经过该点曲线 190、192、194、196 和 198 的斜率从正值变为负值。在图 7 中这样的转折点标以 A、B、C、D 和 E。  
15 低于 125Hz 时立体效果曲线以每个倍频乘约 6dB 的速率下降。高于 125Hz 时，图 7 曲线的增益以可变速率向值约为 - 2 至 + 10dB 的最小增益转折点降低。在曲线 190、192、194、196 和 198 之间各最小增益转折点有着明显的差异。各最小增益转折点分别标以 A'、B'、C'、  
20 D' 和 E'。最小增益转折点所在频率从曲线 190 的约 2.1kHz 变化至曲线 198 的约 5kHz。曲线 190、192、194、196 和 198 的增益从各自的最小增益频率增加，直至约 10kHz。大于 10kHz 时，各个曲线的增益开始变得平稳。但是各个曲线的增益将继续增加，直至约 20kHz 即差不多是人耳可听到的最高频率。

25 前述的增益和频率数值仅仅是设计目标，而实际数值对于不同的电路来说也许是不同的，这视所使用的元件的实际值而定。此外，信号电平装置 108 和 110 的调节将影响最大和最小增益值，以及最大增益频率和最小增益频率之间的增益隔离度。

根据图 7 曲线对差信号进行均衡，其用意是提升统计上具有较低强度的差信号分量，而不会过分加强较高强度差信号分量。典型立体声信号的较高强度差信号分量据发现是在频率值约为 1 至 4kHz 的中频段之中。人耳对这些相同的中频段有着明显的敏感度。故此，因为环境声有  
30

选择地得到加强，以完全包围处于再现声场合下的听者，所以得到增强的左和右输出信号 30 和 32 的音频效果有了明显的改进。尽管立体效果曲线 190、192、194、196 和 198 所提供的全面均衡是利用均衡器 120 的高通和低通滤波器完成的，但是也可以利用阻带滤波器来完成同样的信号调节。同样，用数字信号处理器实施立体效果曲线在大多数情况下也将更准确地反映上文讨论的设计约束条件。就一个模拟实施方案而言，如果对应于最大和最小增益的频率有 + 或 - 20 % 的变化也是可行的。这样的从理想指标的偏离仍能产生期望的立体声增强效果，只是其结果不再是最优的而已。

从图 7 可以看出，低于 125Hz 的差信号频率通过应用立体效果曲线 70，其提升量下降。这种下降旨在避免对非常低频即低音过分加重。就许多音频再现系统而言，对该低频段的音频差信号放大，会产生具有过多低音响应的令人不悦以及不现实的声像。这类音频再现系统的实例包括近场或低功率音频系统，例如多媒体计算机系统，以及家庭立体音响系统。在这些系统中大的功率消耗可能会导致放大器在高幅提升期间“削波”，或者可能损坏包括扬声器在内的音频电路的元件。限制差信号的低音响应也有助于在多数近场音频增强应用中避免这些问题。对差信号均衡的其它声学优点的具体描述参见共同未决的申请 08/430751。

根据优选实施例，在有着静止听众的音频环境下差信号均衡的数值与实际扬声器类型以及它们与听者的相对位置有关。该判定依据的声学原理可以结合图 8A 和 8B 加以恰当解释。图 8A 和 8B 意在表示关于扬声器系统的方位变化的这类声学原理。

图 8A 描绘的是扬声器 200 和 202 放置于听者 204 两侧的稍靠前方且指向听者方向的声再现环境的顶视图。扬声器 200 和 202 还放置于听者 204 下方，其高度位置与图 2 所示扬声器 46 相似。参考平面 A 和 B 与听者 204 的耳 206、208 对准。平面 A 和 B 与所示听者视线平行。

假定扬声器 200 和 202 在图 8A 的音频环境下再现的声音在触及耳 206 和 208 之前将遭受一定的谱失真和/或幅度失真。这类失真例如可以由图 4B 所示曲线 64 表示，当经扬声器 200 和 202 放出时这类失真将产生空间畸变的声像。通过使用声像校正电路 22 对谱失真进行补偿，经扬声器 200 和 202 播放的音频信号将给听者 204 一个视在声像。在图 8A 的实例中，该视在声像的高度将与实际声源不同。进而，通过施用本发

明的图像增强方面，该视在声像将得到空间增强，以展宽视在声像。所产生的声像将对应于发源自以虚线表示的扬声器 210 和 212 的增强声像。

5 视在声像的增强是通过有选择地均衡差信号来完成的，即差信号的增益随着频率的不同会有所不同。图 7 的曲线 190 表示差信号均衡的期望值，实际扬声器位置对应于虚拟扬声器 210 和 212。但是，当扬声器向内指向听者，如同图 8A 的扬声器 200 和 202 那样时，声学感知效果发生显著变化，这需要对差信号均衡的数值加以修改。具体而言，源自扬声器 200 和 202 的直达声场声音以相对参考平面 A 和 B 成  $\theta_1$  角的角度  
10 进入听音的耳 206 和 208。当扬声器放置于较远的前方时，角  $\theta_1$  减小。现在参看图 8B，图中给出第二声再现系统，它的一对扬声器 214 和 216 置于听者的前方靠下处。在这一配置图中，扬声器 214 和 216 发出的直达声场声音以入射角  $\theta_2$  进入听者之耳 206 和 208 中，角  $\theta_2$  小于角  $\theta_1$ 。

多数扬声器的特征在于扩散角，或声辐射的聚束特征。给定频率的  
15 声音的扩散角将随着频率增加而减小。结果是，当扬声器 200 和 202 向前方移动至图 8B 的位置处时听者 204 将处于这两个扬声器的正常聚束方位之外。当这种情况发生时，听者 204 将慢慢失去对中频段和较高中频段的感知。另外，这一效果在小型扬声器的情况下可能会加强，这是因为较小扬声器的扩散角比较大扬声器的窄。

20 为了补偿中频至较高中频声音的损失，差信号的增益在同一频段得到相应提升。当扬声器 200 和 202 的实际位置向前方移动时，中频段增益补偿必须增加。由于立体效果均衡曲线 190 相对衰减了该相同中频段，故此修改衰减电平，以计及图 8A 和 8B 扬声器向内突出这一情况。因此，可能采用图 7 的曲线 196，对图 8B 系统进行空间增强，以产生  
25 扬声器 218 和 220 的视在声源，而曲线 192 则可能足以对图 8A 的系统进行空间增强。通过对中频段或较高中频段中的差信号进行提升，视在声像可以相对听者 204 进行恰当取向。声像的恰当取向有使扬声器 200，202，214 和 216 向内旋转的明显效果，以使视在扩散束指向听者 204。

### 30 立体声声像校正电路

图 9 是立体声声像校正电路 22 的优选实施例的详细原理图。电路 22 被分为左信号校正电路 230 和右信号校正电路 232。左和右校正电路

230 和 232 用于对其各自的输入信号 26 和 28 进行相同的信号调节。因此，左信号校正电路 230 的指标应当与右信号校正电路 232 的指标相同。为简明起见，下文将仅就右信号校正电路 232 的电路连接和功能性操作作出说明。

- 5 右立体声信号 28 由右信号校正电路 232 输入，并被送至可变电阻 234。可变电阻 234 或称电位计，与左信号校正电路 230 内的类似可变电阻 236 组在一起。这是为了确保对右信号校正电路 232 所作的任何调节措施都同等地作用于电路 230 和 232，反之亦然。右立体声信号还沿路径 238 传送至开关 240 的端子“1”，开关 240 根据其位置的变化，  
10 起旁路作用，避免对立体声信号 28 进行均衡。

从可变电阻 234 起，输入信号连接至第一放大器 244 的同相输入端 242。反相输入端 246 经电阻 248 连接至地，它还与反馈电阻 250 的一端相连。反馈电阻 250 的相反一端被连接至放大器 244 的输出端 252。

- 15 输出端 252 被送往电路 232 的三个单独的位置。具体而言，输出端 252 与高通滤波电路 258 和 260 相连，它还被连接至混频电路 264。关于电路 258，从输出端 252 输出的信号经电容器 266 传送给放大器 270 的同相输入端 268。输入端 268 还经电阻 272 连接至地。放大器 270 的反相输入端 272 经电阻 274 连接至地，并且经反馈电阻 276 连接至放大器 270 的输出端 280。滤波电路 260 与电路 258 有着相似的配置，其元  
20 件分别为 284、286、288、290、292 和 294。

输出端 280 和放大器 288 的相应输出端 294 分别馈往一对可变电阻 282 和 286。电阻 282 和左信号校正电路 230 的可变电阻 298 是联动的，而类似地可变电阻 296 与可变电阻 300 也是联动的。每个电阻 282 和 296 有各自的输出端 302 和 304。

- 25 混频电路 264 包括一个放大器 306，其同相输入端 308 连接于地。加在输出端 302、304 和 252 上的信号进入混频电路 264，并被送往放大器 306 的反相输入端 310。电阻 312、314 和 316 分别连接于反相输入端 310 与输出端 252、302 和 304 之间。另外，输出端 302 上的信号经开关 318 送往放大器 306，开关 318 可以是双位置手动或自动选择开  
30 关。反馈电阻 320 将反相输入端 310 连接至放大器 308 的输出端 322。

放大器 324 的同相输入端 326 连接至地电位，反相输入端 328 连接至输出端 322。另外，该反相输入端经电阻 330 连接至开关 318。当开

关 318 处于位置 2 之时输出端 302 上的信号经电阻 330 送往输入端 328。电阻 332 和电容 334 并联连接在放大器 324 的输入端 328 和输出端 336 之间。继而输出端 336 接至开关 240 的位置“2”。开关 240 优选地与类似的旁路开关 338 联动。

5       左和右能量-校正电路 230 和 232 修改输入立体声信号的幅度分量，以产生能量-校正后的左立体声信号 340 和能量-校正的右立体声信号 342。再次为简洁起见，将仅对能量-校正的右信号 342 的产生进行说明。但是，易于理解的是同样的原理也适用于能量-校正的左信号 340 的产生。

10       工作时，输入立体声信号 28，并由电路 232 对之进行处理，以纠正信号 28 经音频再现系统播放时产生的失真声压级。起初，可变电阻 234 允许调节输入信号电平，这样的调节作用可能用于控制电路 232 的总体增益，或者在某些情况下在输入信号 28 被先前电路明显衰减之时将之提升。电阻 234 可以是一个与可变电阻 236 联动的标准 10 千欧顺  
15       时针电位计。

      放大器 244 被设计成电压跟随器，它在输入信号 28 和电路 232 的其它部分之间起隔离缓冲器的作用。出现在输出端 252 上的经缓冲的电平调节信号被馈往电路 258，在该处该信号通过一个具有数值约为 5kHz 的转角频率的单阶高通滤波器。在优选实施例中，高通滤波是由电容 266  
20       和电阻 272 的 RC 组合完成，电容 266 的数值为 3900 皮法，电阻 272 的数值为 10 千欧。出现在输入端 268 上的所得高通滤波信号通过以单位增益工作的放大器 270 缓冲。出现在输出端 280 上的信号幅值可以通过调节可变电阻 282，相应地增加或减少。

      类似地，电路 260 输入来自输出端 252 的信号，并且通过电容 284  
25       和电阻 286 的 RC 滤波组合对信号进行处理。电容 284 和电阻 286 的串联连接也可用作高通滤波器，但其转角频率约为 500Hz。这是通过将电容 284 的容值选为 0.022 微法，电阻 286 的阻值选为 10 千欧完成的。然后滤波后的输入信号经放大器 288 缓冲，并被馈往电平调节可变电阻 296。

30       离开电阻 282 和 296 的滤波信号分别沿路径 302 和 304 送往混频电路 264。另外，仅作增益调节的原始信号 28 也经电阻 312 送往混频器 264。混频器将所有三个已输入信号组合起来，产生能量-校正输出信

号。

图 6A - 6C 所表示的各空间校正级是通过调节联动电阻对 296/300 和 282/298 实现。具体而言, 图 6A 的较低频率校正曲线可以通过测量输出端 336 处的所得结果实现, 与此同时影响较高频率校正的可变电阻 282 被设为最小值。按照这一设置方案, 开关 318 被接地, 并且不对较高频率进行校正。因此, 较低频率校正的范围通过调节电阻 296 而获得。这样, 反相放大器 306 将路径 304 上的滤波信号与来自输出端 52 的原始信号组合在一起。图 6A 的曲线 152 代表单位增益, 由此电路 232 仅让输入信号 28 通过, 而不作任何空间校正。这一结果是在电阻 296 被设成零阻抗, 由此使放大器 306 的输入端 310 接地时得到的。当电阻 296 的数值增加时, 越来越多的滤波信号被加至原始信号之上, 从而对 100 至 1000Hz 范围内的信号进行空间校正。当电阻 296 设成最大阻值时, 对较低频率的信号进行完全的空间校正, 如图 6A 的曲线 150 所示。

图 6B 的曲线代表通过取消电路 260 所作的任何校正, 即将电阻 296 的阻值设为零, 并且将开关 318 置于图示位置 1 的所得结果。对可变电阻 282 的调节作用使得在较高频率中产生所需提升, 如图 6B 所示。相反, 图 6C 所表示的较高频率的衰减是通过将开关 318 设置在位置 2 实现的。在该位置, 滤波电路 258 的输出被送往单独的反相放大器 324。然后放大器 306 和 324 将来自路径 302 和 304 的滤波信号在相继且倒相阶段组合起来。具体而言, 来自路径 304 的信号和来自输出端 252 的信号首先由放大器 306 组合, 然后在输出端 322 所得的已是反相的信号与来自电阻 282 的输出信号组合。

当由放大器 306 组合时, 来自路径 302 和 304 的滤波信号相对于输入信号的增益由反馈电阻 320 和 332 与电阻 314 和 316 的阻抗比确定。对于大多数具有失真声压级的音频再现环境来说, 可以设置这些电阻的数值, 以使滤波信号对输入信号的最大增益比约为 3:1。在优选实施例中, 电阻 320 和 332 的阻值约为 10 千欧, 而电阻 314 和 316 的阻值约为 3.32 千欧。通过调节可变电阻 282 和 296 以及选择开关 318, 可以得到图 6D 中表示的所有级别的空间校正。

图 9 的电路仅表示立体声声像校正电路的一个优选实施例。可被本领域的普通技术人员理解的是, 考虑到特定再现环境可以对电路 22 的设计作些改动, 而不致于偏离本发明的试图保护范围。例如, 范围为 0.1

- 1 kHz (“低”频校正) 和 1kHz - 10kHz (“高”频校正) 的能量 - 校正频段可以通过选择滤波器电路 258 和 260 内的 RC 阻抗组合而加以改变。在某些情况下, 可能需要三或更多个这类能量 - 校正频段。还应当注意的是, 选用电容 334 意在避免电路 22 发生振荡, 在离散实施结构中存在的寄生电容可能会使电路 22 发生这种振荡。电容 334 在电路 22 的 PC 板或半导体实施结构中可能并不需要。

#### 立体声声像增强电路

图 10 是立体声声像增强电路 24 的原理图。电路 24 用于展览校正后的左和右信号  $L_C$  和  $R_C$ 。根据优选实施例, 能量 - 校正左信号 340 被馈往电阻 350、电阻 352 和电容 354。能量 - 校正右信号 342 被馈往电容 356 和电阻 358 和 360。

电阻 350 连接至放大器 366 的同相端子 362。同一端子 362 还与电阻 360 和电阻 368 相连。放大器 366 被设计成求和放大器, 它的反相端 370 经电阻 372 连接至地。放大器 366 的输出端 374 经反馈电阻 376 连接至反相端 370。在输出端 374 生成和信号 ( $L_C + R_C$ ), 该信号代表左信号 340 和右信号 342 的和数, 被馈往可变电阻 378 的一端, 可变电阻的相反一端接地。为使放大器 366 对信号 340、342 作恰当的求和, 在优选实施例中电阻 350、360、368 和 376 的数值约为电阻 372 的两倍。

第二放大器 380 被设计成“差”放大器。放大器 380 的反相端与电阻 384 相连, 电阻 384 继而与电容 354 串联连接。类似地, 放大器 380 的正端 386 通过电阻 388 与电容 356 的串联连接接收信号 340。端子 386 还经电阻 390 连接至地。放大器 380 的输出端 392 经反馈电阻 394 连接至反相端。输出端 392 还与可变电阻 396 相连, 可变电阻 396 继而接地。尽管放大器 380 被设计为“差”放大器, 其功能也可以表征为右输入信号与负的左输入信号的求和, 以生成差信号 ( $L_C - R_C$ )。因此, 放大器 366 和 380 分别构成用于生成和信号与差信号的求和网络。

这两个串联连接的  $R_C$  网络分别包括部件 354/384 和 356/388, 它们的作用是作为高通滤波器对输入信号  $L_C$  和  $R_C$  的非常低或低频信号进行衰减。这些  $R_C$  滤波器对应于图 5 的装置 98。为了得到根据图 7 均衡曲线的恰当频率响应, 装置 98 的截止频率  $W_C$  或 -3dB 频率应当约为 100Hz。因此, 在优选实施例中, 电容 354 和 356 的容值为 0.1 微法,

而电阻 384、388 的阻值约为 33.2 千欧。那么通过使反馈电阻 394 与衰减电阻 390 的数值满足下式 (3)：

$$\frac{R_{120}}{R_{128}} = \frac{R_{116}}{R_{124}} \quad (3)$$

5

输出端 392 将代表经增益为 2 的放大后的差信号。在输出端 392 处信号的相位实际上为反相，从而得出  $R_C - L_C$ 。

差信号的特定相位在确定输出信号的最终组成时有着重要意义。本文使用术语“差信号”表示相位差仅为 180 度的  $L_C - R_C$  和  $R_C - L_C$ ，这也是本领域的通常做法。本领域的普通技术人员可以理解的是，放大器 380 可以如此配置，使得只要在左和右输出端上的差信号保持彼此异相状态，“左”差信号  $L_C - R_C$  出现在输出端 392 上，而不是  $R_C - L_C$ 。

对输入信号作高通滤波的结果是，在输出端 392 上的差信号在小于约 125Hz 的频段将有衰减了的低频分量，它以每倍频程 6dB 的速率降低。可以对均衡器 120 (如图 5 所示) 内的差信号的低频分量滤波，而不使用滤波器 98。但是，由于低频下的滤波电容相当大，故此优选在输入级进行该滤波，以避免加载上述电路。

可变电阻 378 和 396 可以是简单的电位计，它们分别通过移动滑动触头 400 和 402 加以调节。出现在所得输出信号内的差信号的电平可以由手动、遥控或自动调节滑动触头 402 加以控制。类似地，增强后的输出信号中存在的和信号的电平部分由滑动触头 400 的位置确定。触头 402 的设置被申请人称为所得声像的“空间”控制，触头 400 的设置是“中心”控制。

滑动触头 400 上的和信号经串联连接的电阻 408 馈往第三放大器 406 的反相输入端 404。在滑动触头 400 上的相同和信号也经单独的串联电阻 414 馈往第四放大器 412 的反相输入端 410。放大器 406 设计成差放大器，它的反相端 404 经电阻 416 接地。放大器 406 的输出端 418 也经反馈电阻 420 与反相端 404 相连。

放大器 406 的正端 422 是沿各信号路径 426 的一组信号的求和结点。端子 422 经电阻 424 接地。电平调节后的差信号从滑动触头 402 发送，并且分裂为三，分别经 428、430 和 432 传送。其结果是三个单独

调节的差信号分别出现在点 A、B 和 C。在点 A、B 和 C 处的信号分别对应于图 5 之输出端 132、136 和 134 上的信号。如图所示点 B 和 C 处的调节后的差信号经定值电阻 432 和 436 传送给正端 422。点 A 处调节后的差信号经可变电阻 438 送往端子 422。

5 节点 B 处的信号代表出现在电容 444 两端的经电平调节的差信号在滤波之后的信号变形，电容 444 接地。电容 444 和电阻 446 的 RC 网络起低通滤波器的作用，它对滑动触头 402 上的差信号进行滤波。该低通滤波器对应于图 5 的滤波器 124。根据优选实施例，该 RC 网络的截止频率约为 200Hz。如果电阻 446 为 1.5 千欧，电容 444 为 0.47 微法，且  
10 驱动电阻 434 是 20 千欧，那么这样的截止频率是可以实现的。

在节点 C，差信号由电阻 446 和电容 448 组成的 RC 组合滤波，电阻 446 连接于节点 C 和地之间，电容 448 连接于节点 C 和滑动触头 402 之间。这样的滤波器对应于图 5 的高通滤波器 126。所得差信号分量经驱动电阻 436 馈往放大器 406 的端子 422。高通滤波器 126 的截止频率  
15 被设计成约 7kHz，其增益相对于节点 B 而言是 -6dB。如果电容 448 的容值为 4700 皮法，电阻 180 的阻值是 3.74 千欧，那么这样的截止频率是可以实现的。

在点 A 处，来自滑动触头 402 的电平调节差信号不经过选择性均衡，即被送往电阻 440。因此，点 A 处的信号只是在所有频率上被均匀  
20 衰减。点 A 处的信号被可变电阻 438 的阻抗作进一步衰减，电阻 438 的阻值是通过移动相关滑动触头 442 调节的。

可变电阻 438 可以是标准 100 千欧电位计，对它的调节将改变立体声增强级，以校正扬声器相对于听者的取向。通过减小可变电阻 438 的阻值，差信号的基准电平增加。这导致在中频段幅值的相应提升，以部  
25 分克服滤波器 124 和 126（图 5 所示）对这些频率的衰减。再次参看图 7，施加于差信号上的立体效果均衡曲线随着电阻 438 的阻值减小，从曲线 190 变化至曲线 198。按如此方法，选择性差信号均衡的电平可以部分或几乎全部降低。即，作为频率函数的幅值调节量在中频带上将明显减小。适当曲线是上文结合图 8A 和图 8B 讨论的声学原理选定的。

30 如果立体声声像校正电路 22 和立体声声像增强电路 24 应用于已知再现环境，那么可变电阻 438 和电阻 440 可由具有所需阻抗的单个固定电阻代替。在优选实施例中，电阻 438 和 440 的总阻值将在 20 和 100

千欧之间变化，以计及大多数再现环境因素。采用这样的设计方案，电阻 424 的阻值为约 27.4 千欧。

5 电路位置 A、B 和 C 处的修改后差信号经可变电阻 450 和固定电阻 451 的串联组合、以及固定电阻 452 和 454 也被馈往放大器 412 的反相端 410。这些修改后的差信号、和信号以及能量-校正后的右信号 342 沿一组信号路径 456 传输。这些来自组 456 的信号在放大器 412 的端子 410 处加以组合。放大器 412 被构成一个反相放大器，其正端子 458 接地，反馈电阻 460 接于端子 410 和输出端 462 之间。调节可变电阻 450 的阻值，使之与电阻 438 相同。为使反相放大器 412 对信号进行恰当的  
10 求和，电阻 452 的阻值为 20 千欧，电阻 454 的阻值为 44.2 千欧。立体声增强系统 24 内的电阻和电容的精确数值可以加以改变，但是其比值应保持为恰当值，以获得准确的增强级。可能影响这些无源部件数值的其它因素有增强系统 24 的功率要求和放大器 370、380、406 和 412 的特性曲线。

15 在放大器 406 的输出端上的信号经驱动电阻 464 馈送，以生成增强的左输出信号 30。类似地，在放大器 412 的输出端 462 处的信号经驱动电阻 466 传送，产生增强的右输出信号 32。驱动电阻的典型阻值在 200 欧姆左右。

工作时，在点 A、B 和 C 处的差信号分量在差放大器 406 的端子 20 422 和放大器 412 的端子 410 处重新组合，以形成处理后的差信号  $(L_C - R_C)_P$ 。理想情况下，用于产生  $(L_C - R_C)_P$  的立体效果曲线的期望范围被表征为最大增益在约 125Hz 和大于 7kHz，最小增益在约 2100Hz 和 5kHz 之间。处理后的差信号还与左或右信号之一以及和信号组合起来，生成输出信号  $L_{out}$  和  $R_{out}$ 。增强后的左和右输出信号可由上述的  
25 数学方程 (1) 和 (2) 表示。方程 (1) 和 (2) 中的  $k_1$  值由滑动触头 400 的位置控制。 $k_2$  值由滑动触头 402 的位置控制。

图 11 描绘了立体声声像增强电路 24 的一个替代性实施例。图 11 的电路与图 10 相似，它代表有选择地对一对立体声音频信号产生的差信号进行均衡的另一方法。立体声声像增强电路 500 产生的和与差信号  
30 与图 10 的电路 24 有所不同。

在电路 500，左和右能量-校正信号 340 和 342 被分别馈入混频放大器 502 和 504 的负输入端。但是为了生成和与差信号，左和右信号 340

和 342 经各自的电阻 506 和 508 连接至第一放大器 512 的反相端子 510。放大器 512 被构成反相放大器，它的一输入端 514 接地，并且配有一反馈电阻 516。在输出端 518 生成和信号，在本例中是反相和信号  $-(L_C + R_C)$ 。然后和信号在由可变电阻 520 作电平调节之后馈往其余电路。

5 因为电路 500 内的和信号是反相的，所以它被馈往放大器 504 的同相输入端 522。因此，放大器 504 现在需要在同相输入端 522 和地电位之间设置一电流平衡电阻 524。类似地，在反相输入端 528 和地电位之间设置一电流平衡电阻 526，以便由放大器 504 进行正确的求和，生成输出信号 32。

10 为了生成差信号，反相求和放大器 530 在反相输入端 532 接收左输入信号与和信号。输入信号 340 在抵达输入端 532 之前流经电容 534 和电阻 536。类似地，输出端 518 处的反相和信号流经电容 540 和电阻 542。部件 534/536 与部件 540/542 产生的 RC 网络对音频信号进行低音频滤波，这一点已结合一优选实施例进行了说明。

15 放大器 530 具有一接地的同相输入端 544 和一反馈电阻 546。对于图 11 的这种替代配置，在放大器 530 的输出端 548 处产生差信号  $R_C - L_C$ 。然后可变电阻 560 对差信号进行调节，并将它馈入其余电路。电路 500 的可接收阻抗值如下，电阻 506、508、516 和 536 为 100 千欧，电阻 542 和 546 阻值为 200 千欧，电容 540 的容值为 0.15 微法，电容

20 534 的容值为 0.33 微法。除上述以外，图 11 的其余电路与图 10 相同。

立体声声像增强系统 24 可以仅用四个有源部件构成，这些有源部件通常是对应于放大器 366、380、406 和 412 的运算放大器。这些放大器易于制成单个半导体芯片上的四边形组件。完成立体声增强系统所需的其它部件只包括 29 个电阻（驱动电阻除外）和 4 个电容。图 11 的

25 电路 500 可以用一个正交放大器、4 个电容和包括电位计在内的仅仅 28 个电阻制成。电路 24 和 500 可以制成多层半导体基片即集成电路封装形状。

除图 10 和 11 的实施例外，还有其它办法将相同的元件互连，以便根据本发明对立体声信号进行立体效果增强。例如，构成差放大器的一

30 对放大器可以分别接收左和右信号，还可以各自接收和信号。这样，放大器将分别产生左差信号  $L_C - R_C$  和右差信号  $R_C - L_C$ 。

增强装置 24 所提供的立体声声像增强专门适于利用高质量立体声

录音。具体地说，与先前模拟磁带或乙烯树脂唱片盘不同的是，当今的数字存储录音可以在包括低音的较宽频谱内包含差信号即立体声信息。通过限制低音频内的差信号提升量，可以避免在这些频率上将差信号过分放大。

5 但是，根据声再现环境的不同，可能希望提升音频信号的低音频率，以补偿可能由于声像再定位和取向而引起的低音频损耗。图 12 描绘了供本发明一替代性实施例用的低音提升电路 550，以补偿低音响应中的任何这类减小。低音提升电路 550 以和信号为工作对象，低音即非常低频信息的大多数驻留于该和信号中。

10 电路 550 有一个输入端 A，它通过与图 10 放大器 366 的输出端 374 的连接来接收和信号。和信号的电平由可变电阻 552 调节，该可变电阻可以是 10 千欧的电位计。可变电阻 552 可以采用手动用户调节设置，或者如果所需低音提升量已知，电阻 552 可以用适当的固定电阻代替。然后离开电阻 552 的电平调节和信号通过二阶低通滤波器，该滤波器由  
15 电阻 554、556 和电容 558、562 组成。所得滤波信号出现在运算放大器 564 的同相端。放大器 564 被构成一个电压跟随器，以避免加载该二阶滤波器。在优选实施例中，放大器 564 的增益通过选择等值电阻 566 和 568 而设为最大值 2，电阻 566 和 568 分别作从反相端至地以及从反相端至输出端的连接，形成一个反馈回路。在优选实施例中，电阻 554、  
20 566 和 568 是 10 千欧电阻，电阻 556 是 100 千欧电阻，电容 558 的容值是 0.1 毫法，而电容 562 的容值是 0.01 毫法。前述元件值的选择使得通过调节电阻 552，可以有选择地对低于约 75Hz 的低音频进行放大。

放大器 564 的输出信号分裂为两路，每路分别含有固定电阻 578 和 580。一路的输出端标以 X，它与图 10 的放大器 406 的反相端 404 相  
25 连。类似地，标以 X' 的输出端与放大器 412 的反相端 410 相连。工作时，低音频的进一步提升可以通过分别改变电阻 578、580 与电阻 420、460 的比例完成。例如，在优选实施例中，电阻 578 和 580 的数值将为 420 和 426 的一半，使得经过图 10 的放大器 406 和 412 的增益为 2。因此，通过调节电阻 552，低音提升电路 550 的总增益可以在值为 4 的最大增益和零增益之间变化。  
30

可以理解，如果需要，可以用立体声增强系统的一种变型取代系统 24 的立体声增强系统。例如，在美国专利 4748669 和 4866774 中披露的

系统的实施例对特定频段内的差信号与和信号的相对幅值进行均衡。

除汽车以外，本发明适用于种类繁多的再现声与听者感知相比有着空间失真的闭合或户外音频再现环境。本发明还可用于那些听者并不处于固定位置的环境。

5 图 13 描绘这样一种户外音频再现环境，它的户外扬声器 570 和 572 产生相对于听者 574 有空间失真的立体声声像。扬声器 570 和 572 可以置于地表附近，如图 13 所示，或者置于其它各种位置，以向宽广的户外收听区提供立体声。户外扬声器 570 和 572 的定位问题无疑部分程度上是由除最佳声学响应外的其它因素确定。这样的定位且不管它是处于  
10 地面附近、天花板，或环绕叶饰，都可能使听者感知的某些频段上声音的声压级失真。通过采用立体声声像校正电路 22，可以校正所得失真声像，然后根据此处说明的原理由立体声声像增强电路 24 予以增强。结果是，可以产生落入期望收听范围 576 内的视在声像。

考虑到收听区较宽与听者 574 的移动，一些与图 13 的扬声器 570  
15 和 572 相似的户外扬声器是全向型扬声器。在这样的音频再现环境，不必补偿如上文结合图 8A 和图 8B 所述的中至较高的中频段的降低。因此，在图 13 的环境下最佳增强结果是通过应用图 7 的立体效果曲线 190，以增强经扬声器 570 和 572 播放的能量 - 校正立体声信号来实现的。

20 图 14 描绘了另一音频再现环境，它含有声学校正设备 20 的实施。具体地说，图示的电子键盘设备 590 具有放置在键盘 596 下的扬声器 592 和 594。对于位于电子键盘 590 前的操作者（未示）来说，扬声器 592 和 594 设置在操作者耳下方处于声学不利的位置。为了校正因扬声器 592 和 594 的这种放置方法可能产生的空间失真，声学校正设备 20 修改  
25 电子键盘 590 产生的音频信号。根据此处讨论的原理，可以产生如此的重新定位的视在声像，它们好像是从以虚线绘出的视在扬声器 598 和 600 发出的。与图 8B 的环境不同的是，图 14 的音频再现环境所需的方向性很可能由于扬声器 592 和 594 相对操作者的定位而变得最小。因此，图 7 的曲线 190 可能适于对重定位的声像进行空间增强。

30 此处披露的完整的声学校正设备 200 易于由下列方案实现：（1）数字信号处理器（2）离散电路元件（3）混合电路结构或（4）在半导体基片内有调节合适电阻的端子。当前用户的调节包括低频和低频能

量-校正值,各种信号电平调节包括和与差信号电平及取向调节。

5 经过上述说明和附图,表明本发明在当前的声学校正和立体声增强系统上有很重要的优势。尽管上述详细说明书已表明、描述并且指出本发明的基本新颖特征,但是应当明白,在不偏离本发明的精神的前提下,本领域技术人员可以作出各种省略、替代以及图示装置的形式和细节的改变。因此,本发明的范围仅由下列权利要求限制。

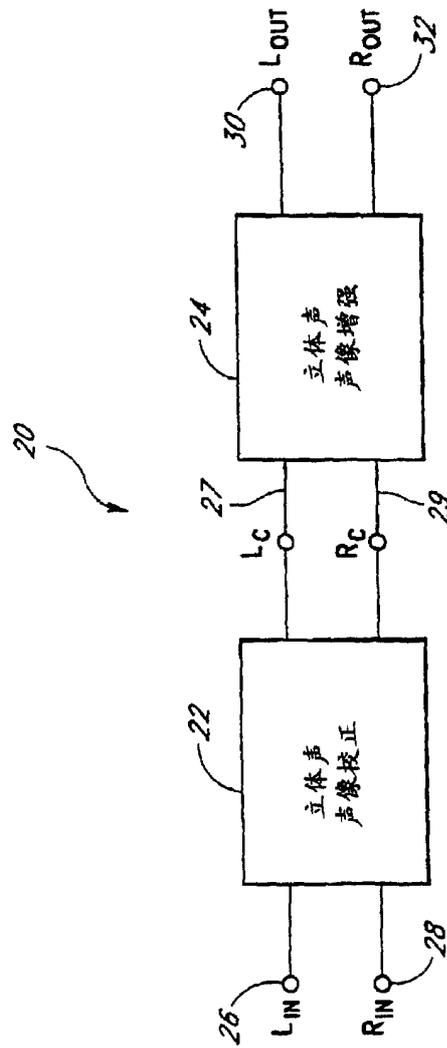


图 1

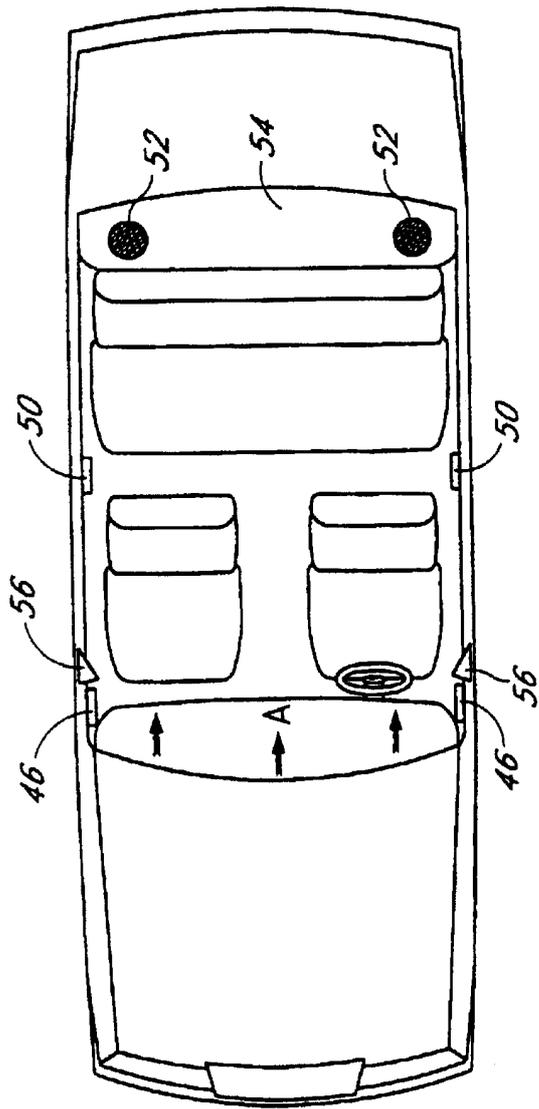


图 3

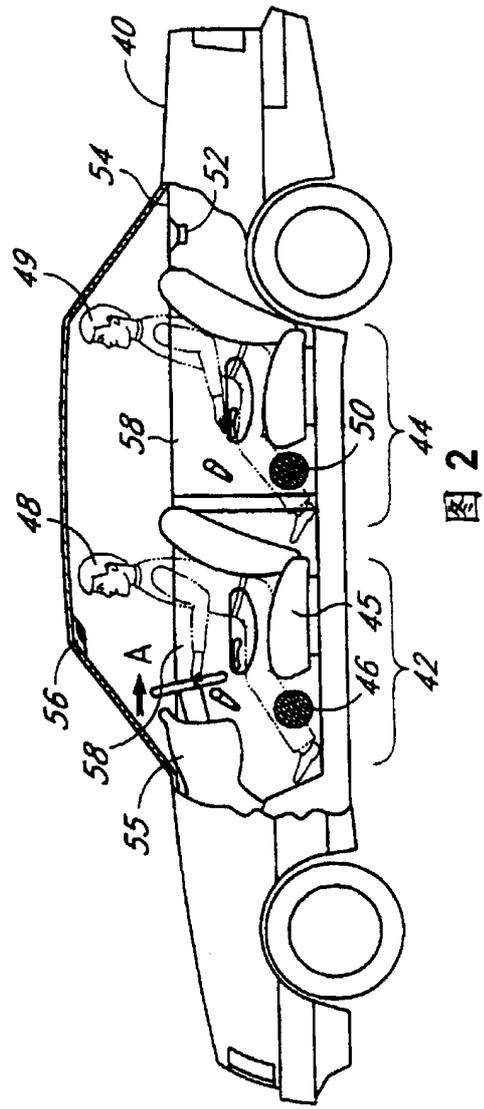


图 2

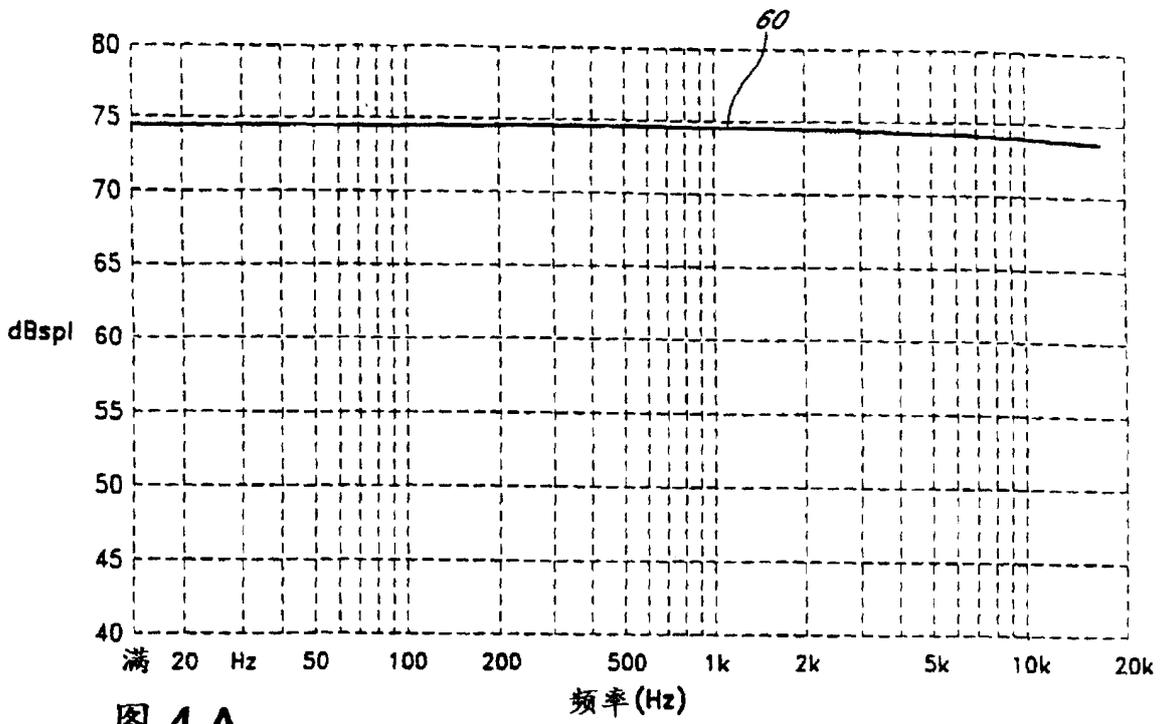


图 4 A

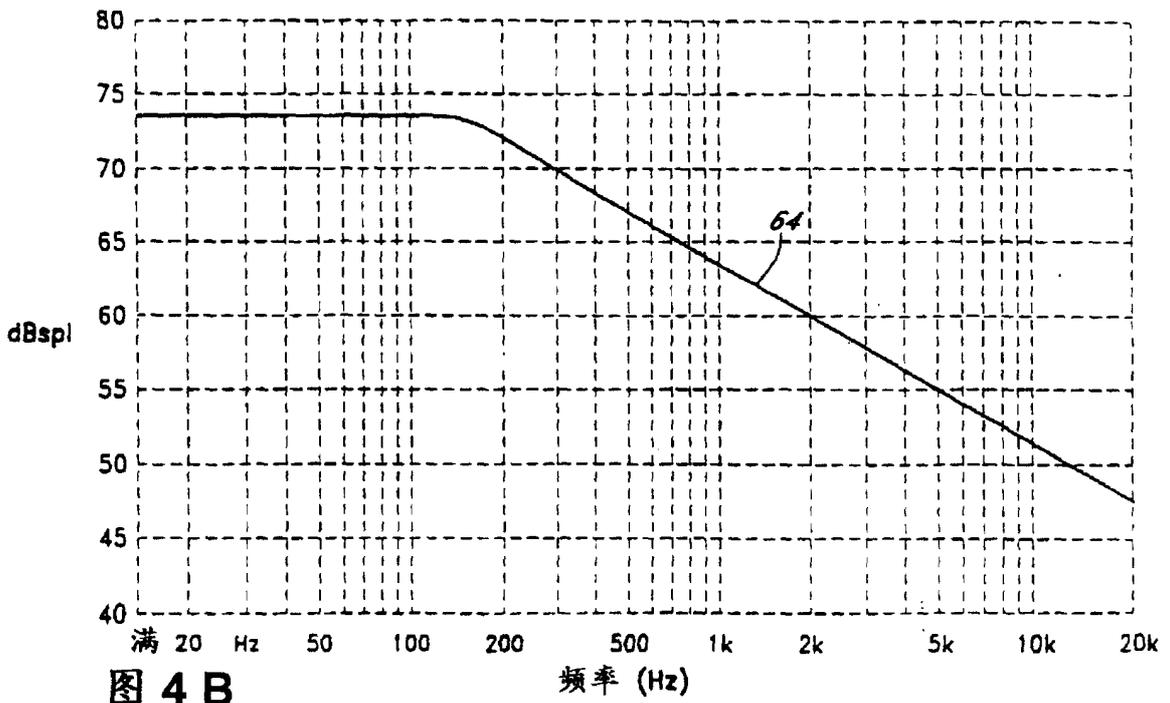
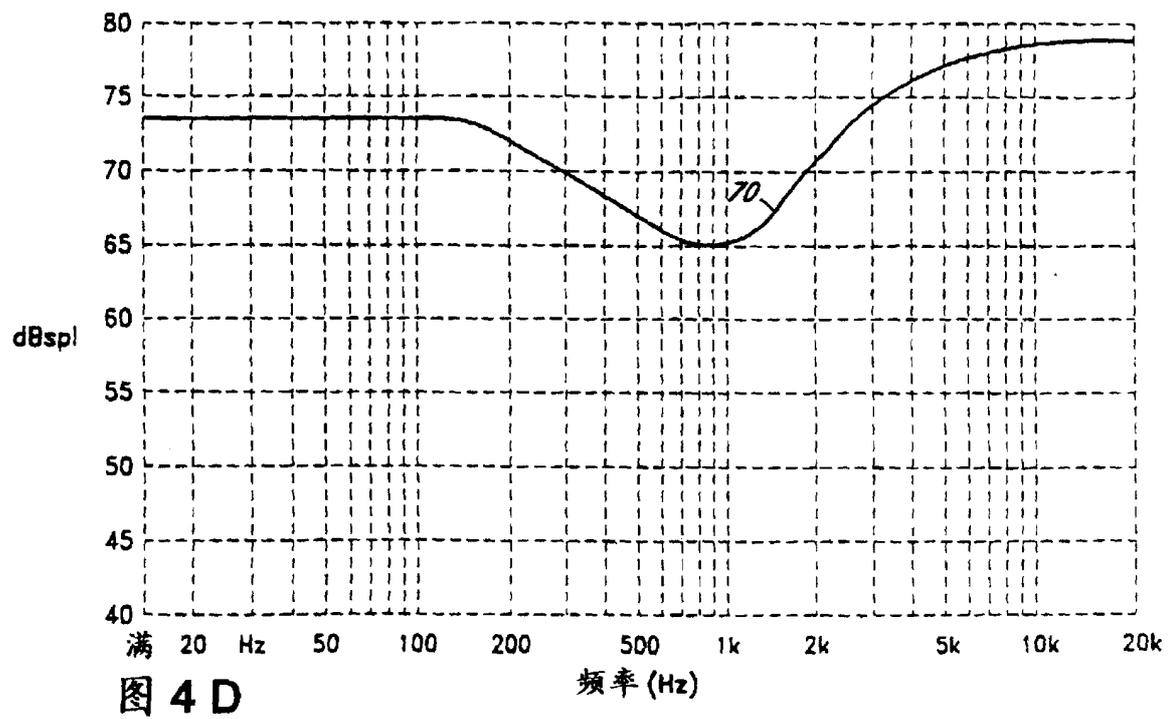
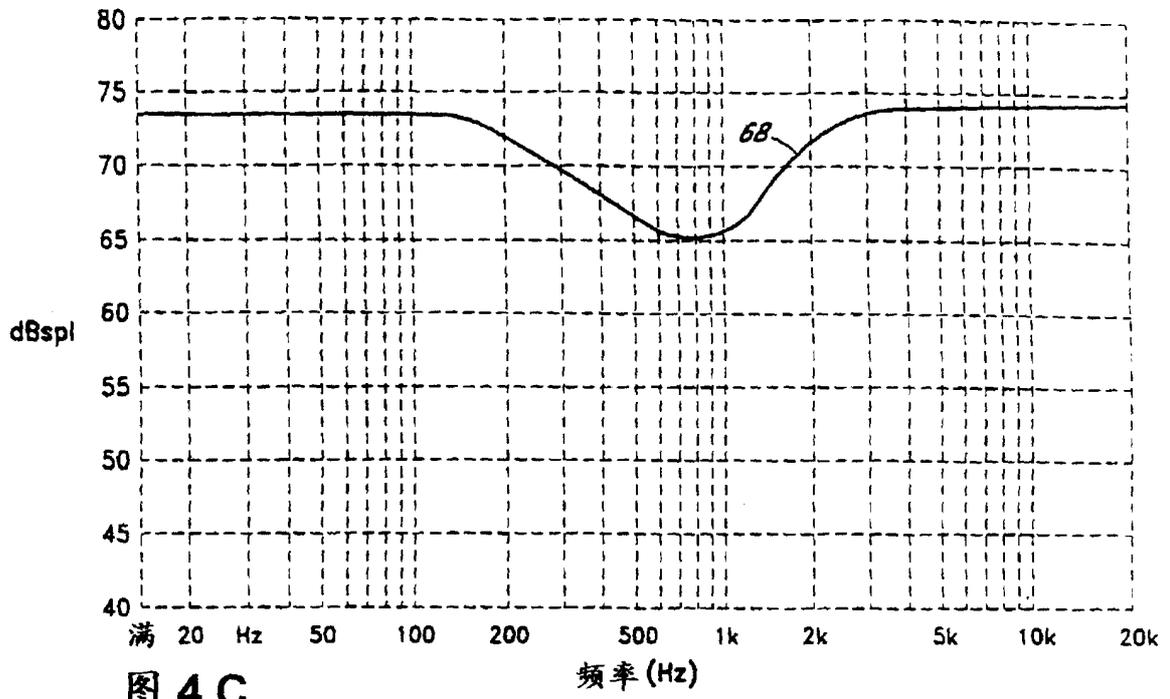


图 4 B



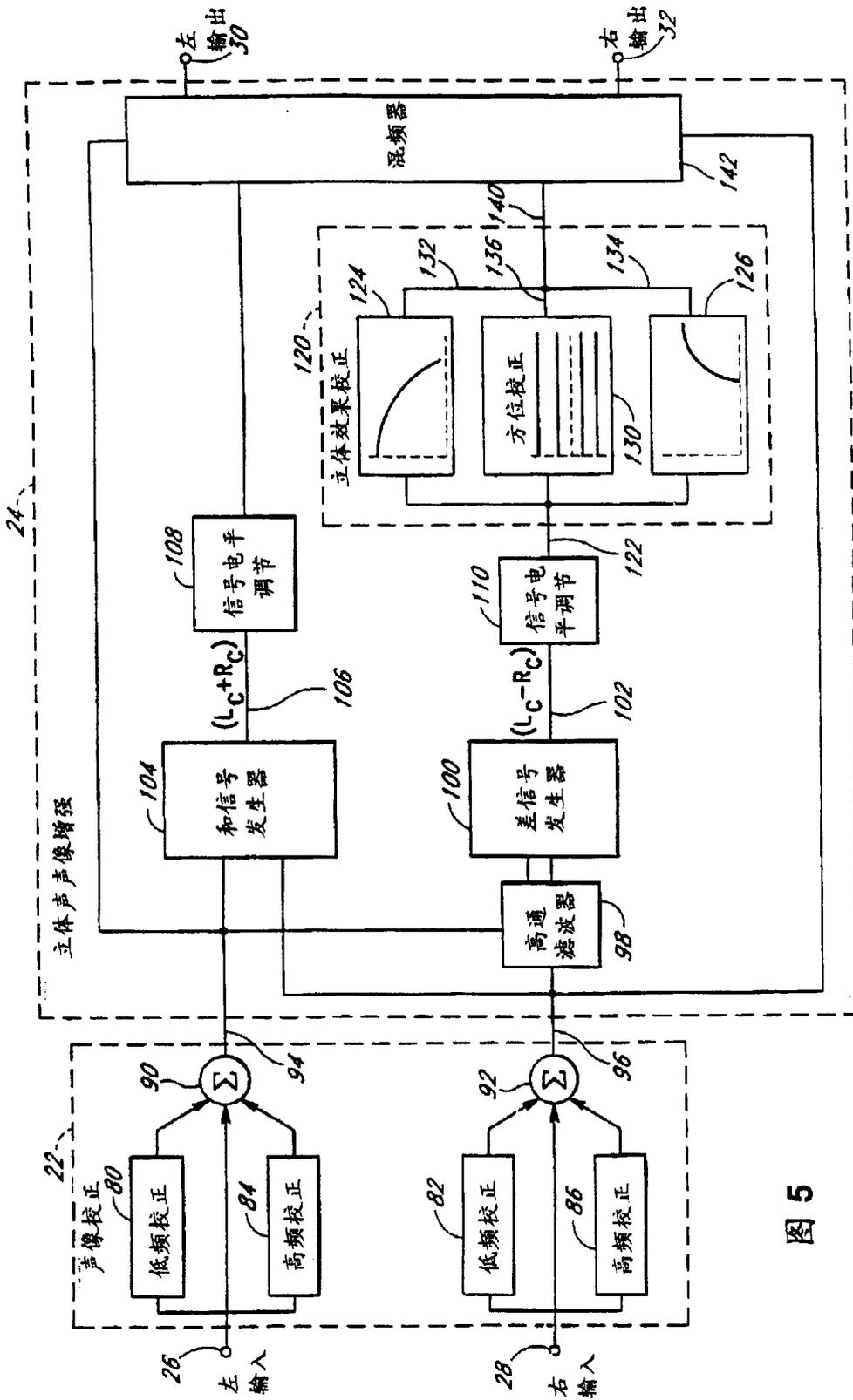
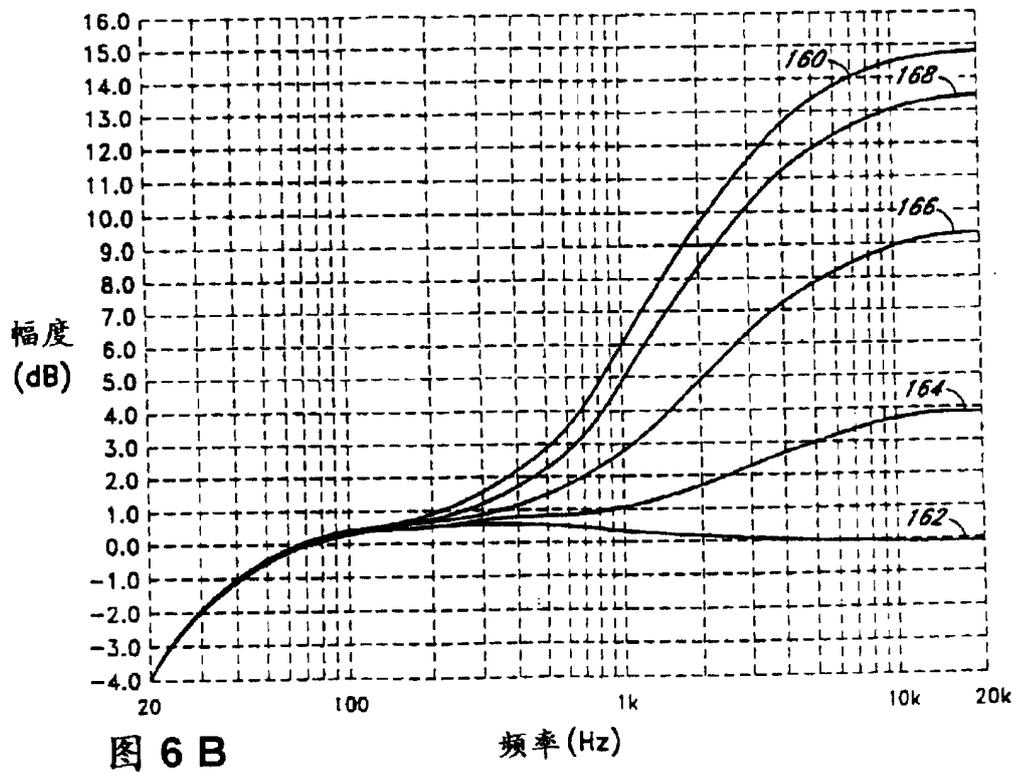
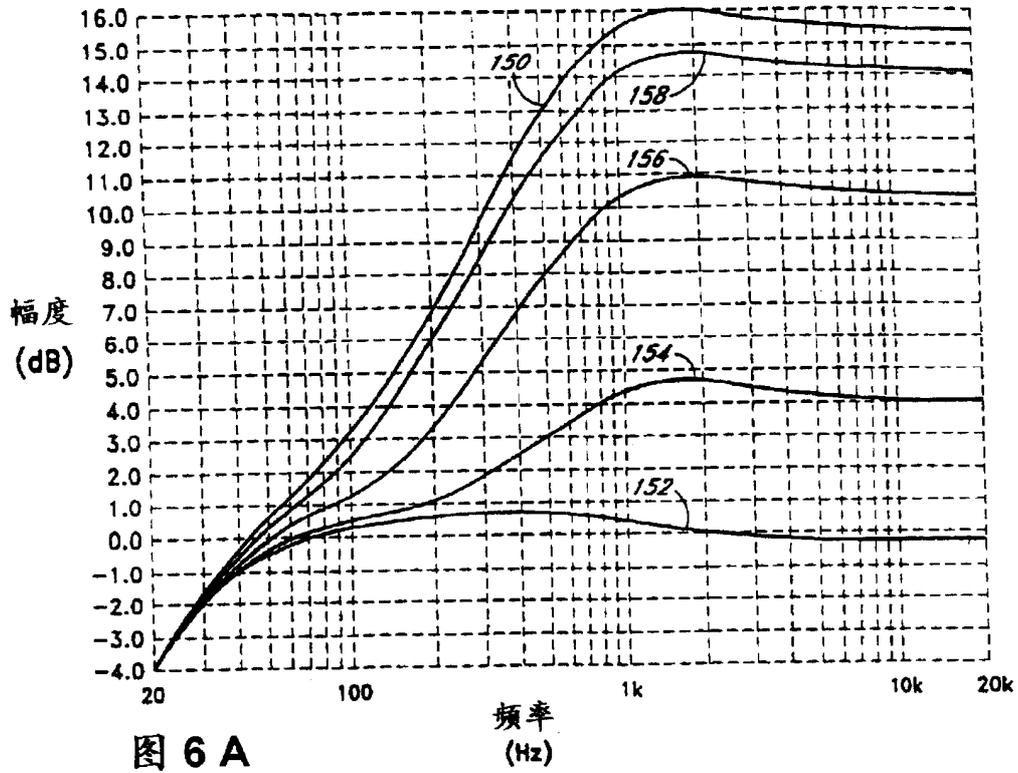


图 5



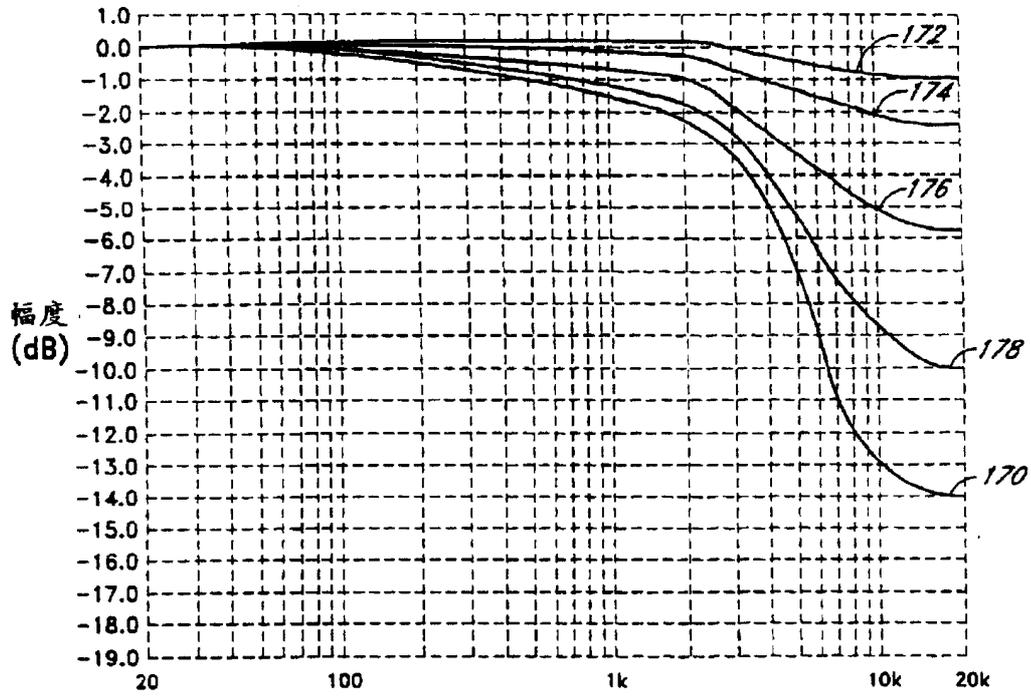


图 6 C 频率 (Hz)

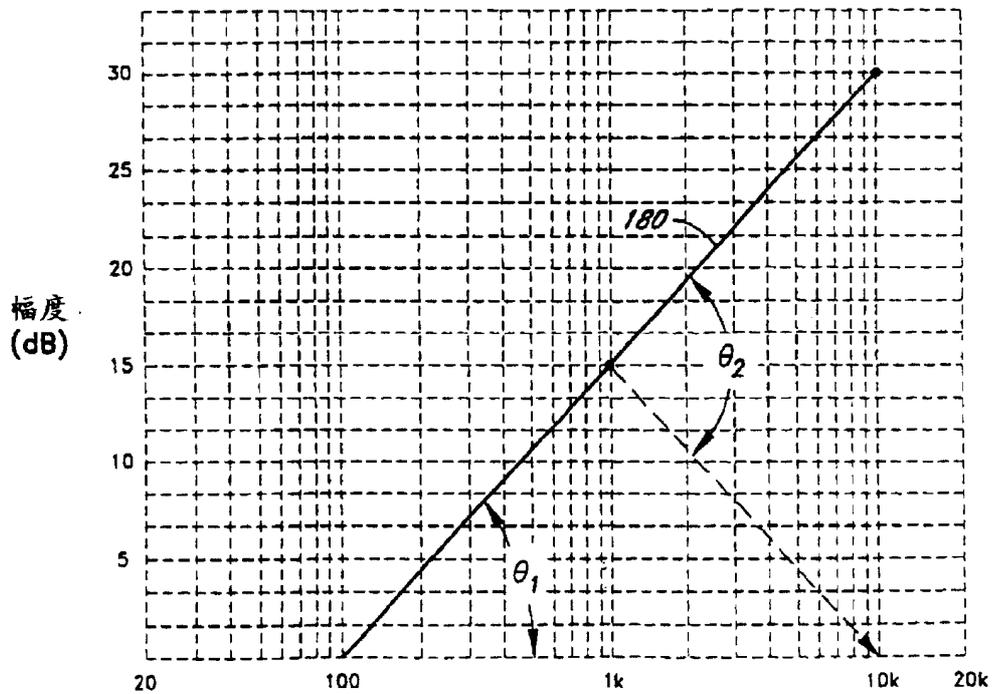


图 6 D 频率 (Hz)

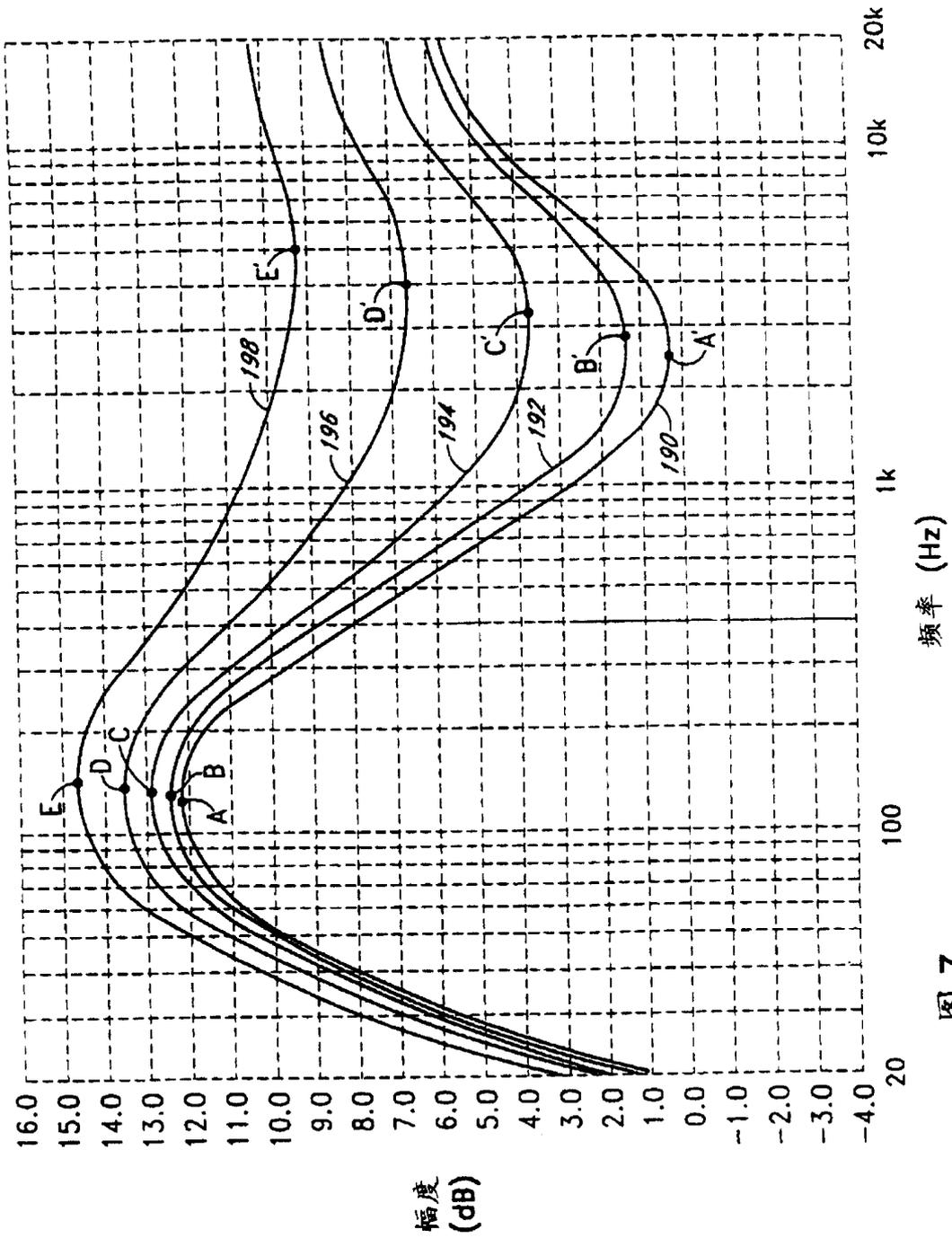


图 7

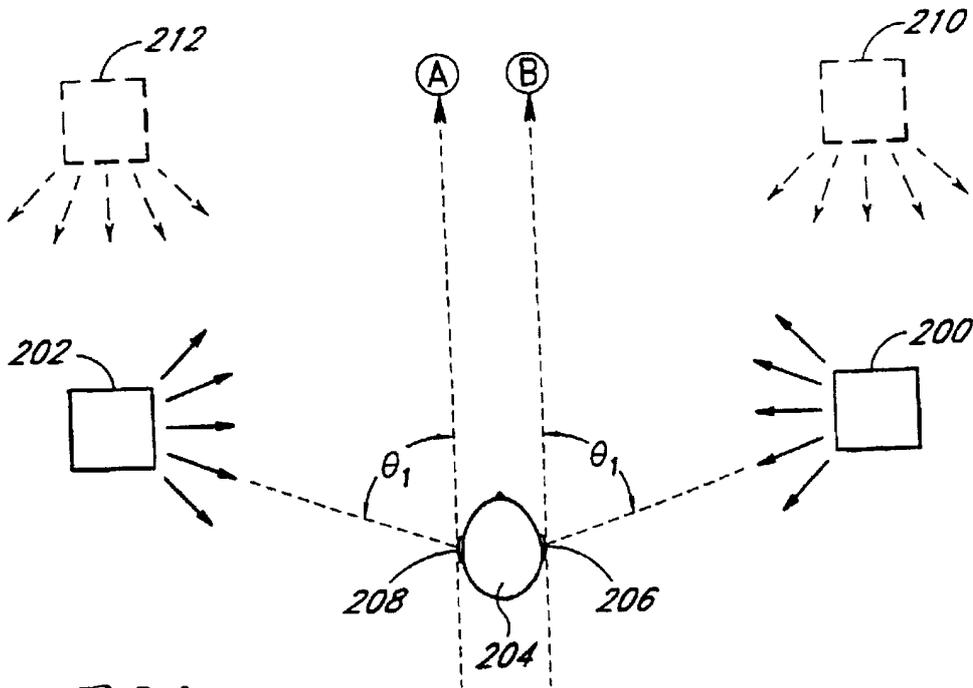


图 8 A

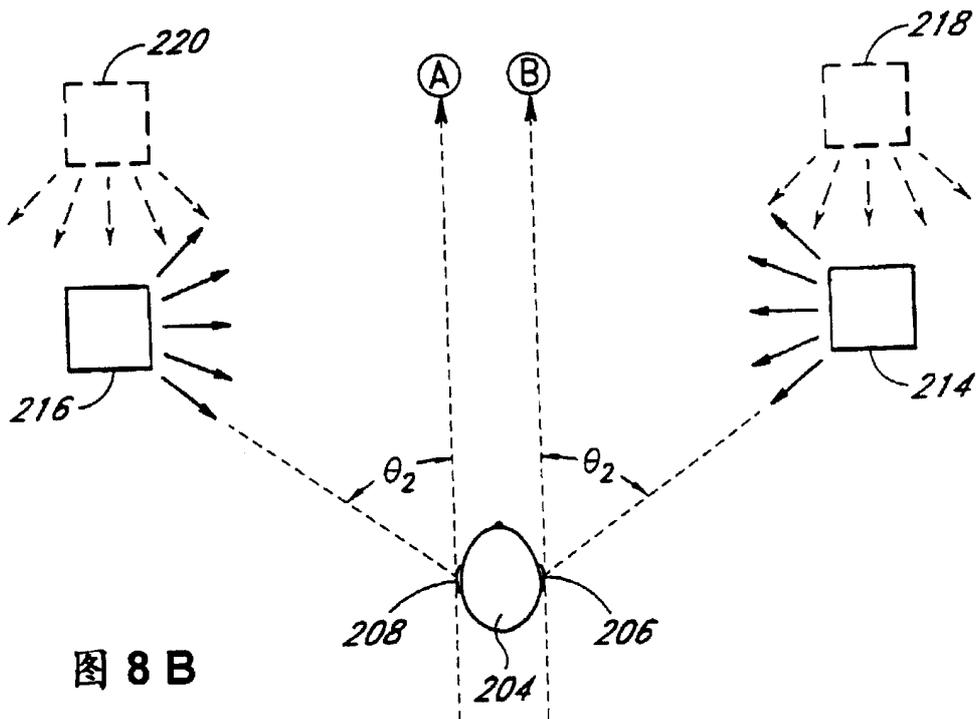


图 8 B

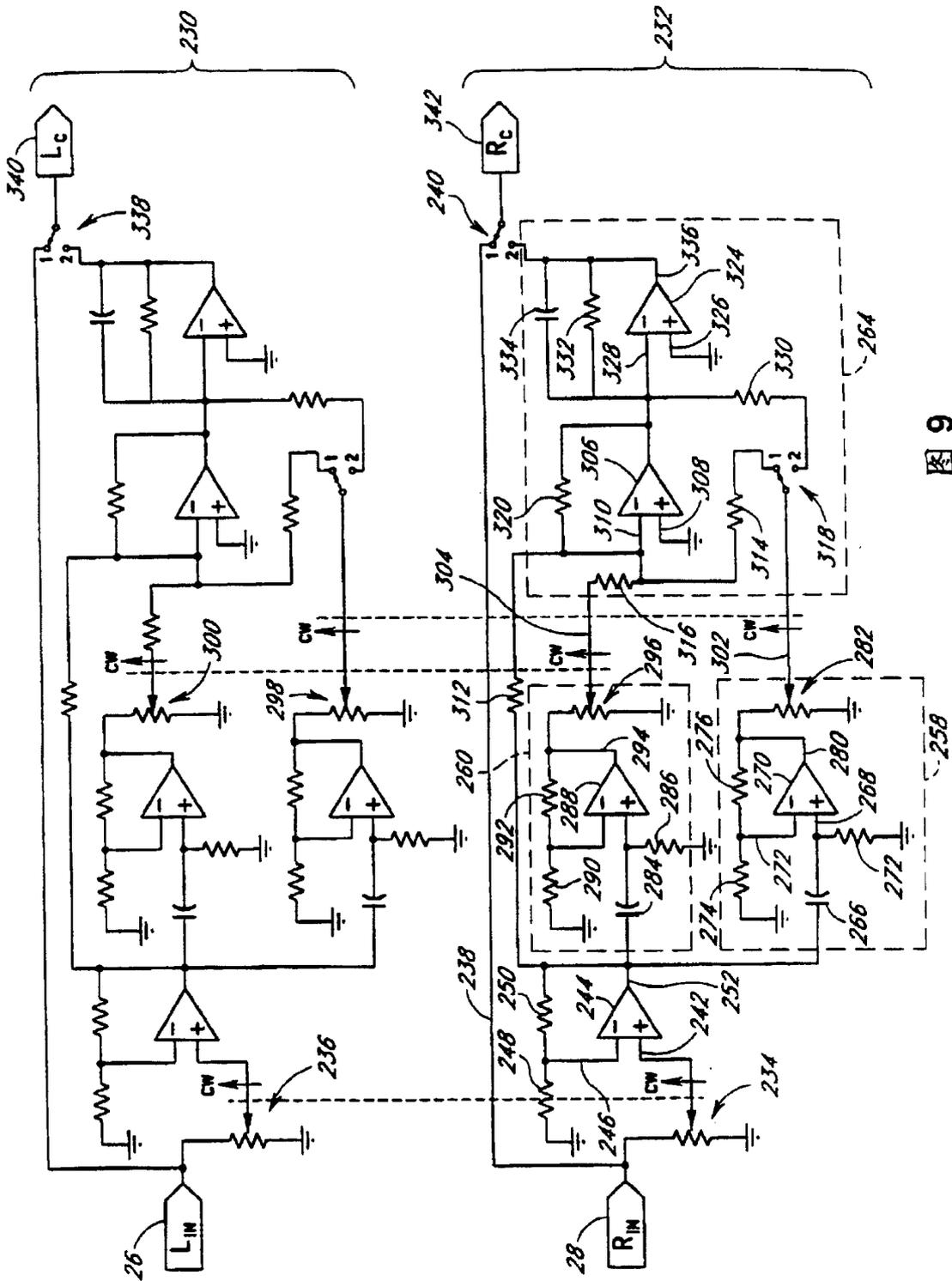


图 9

22

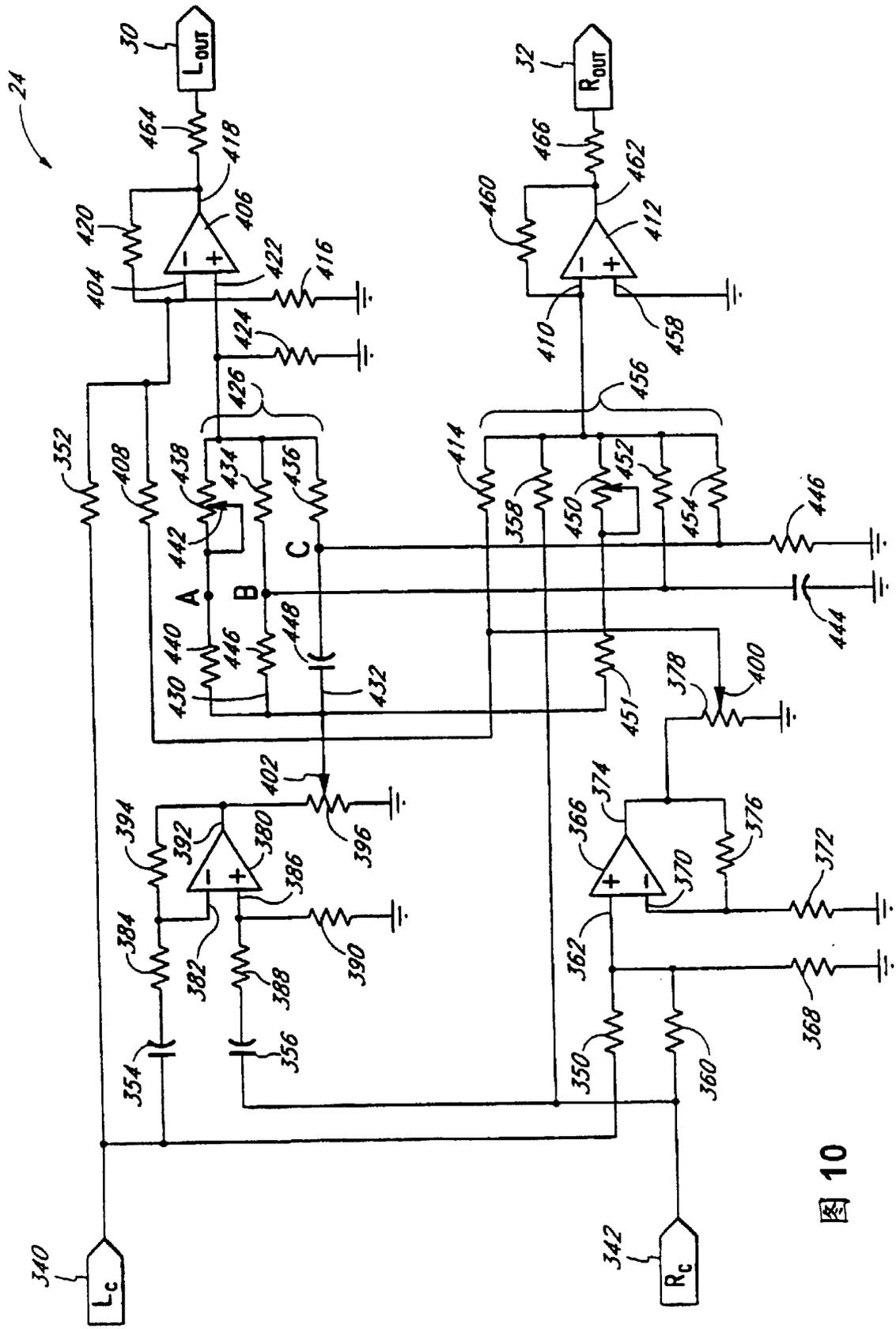


图 10

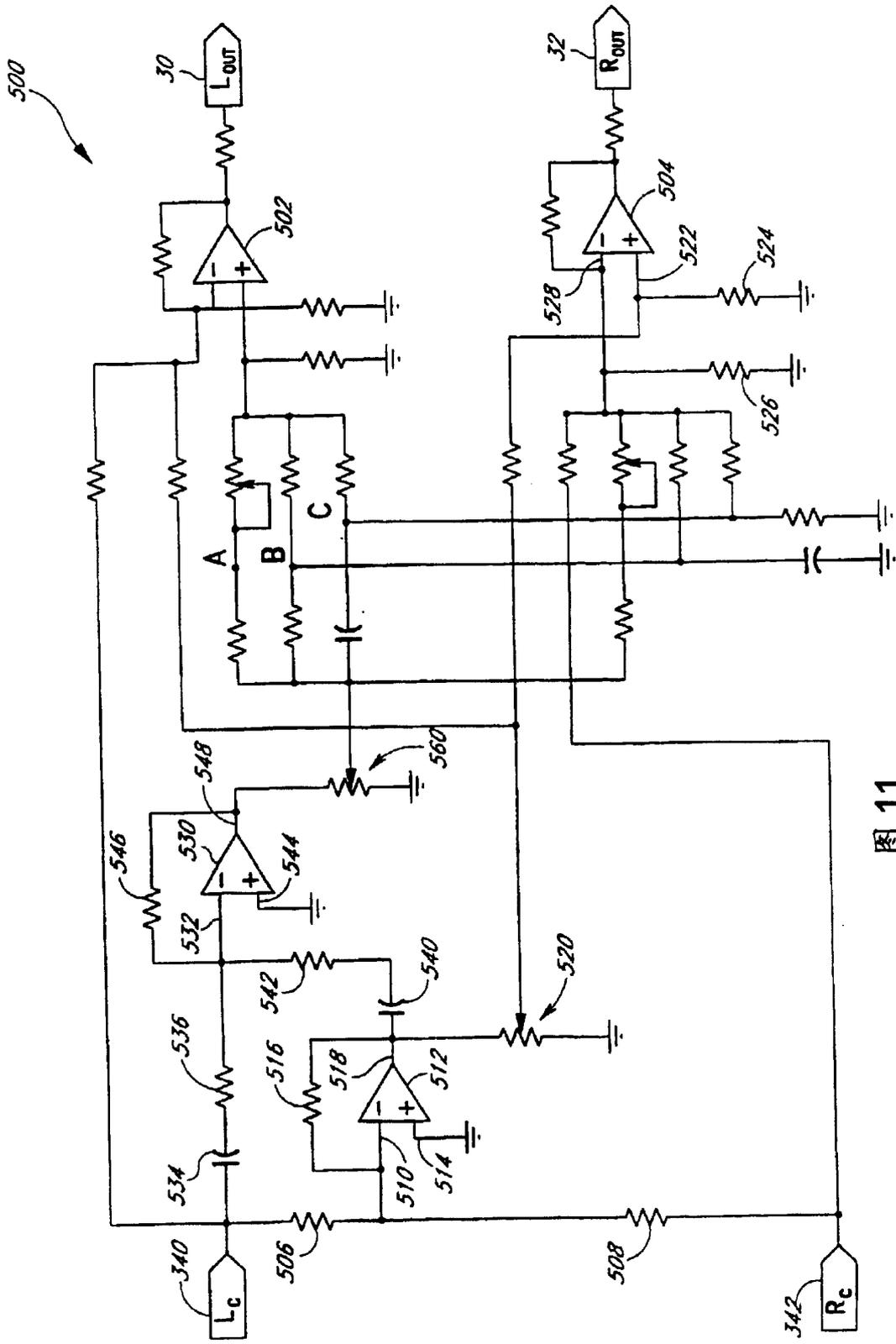


图 11

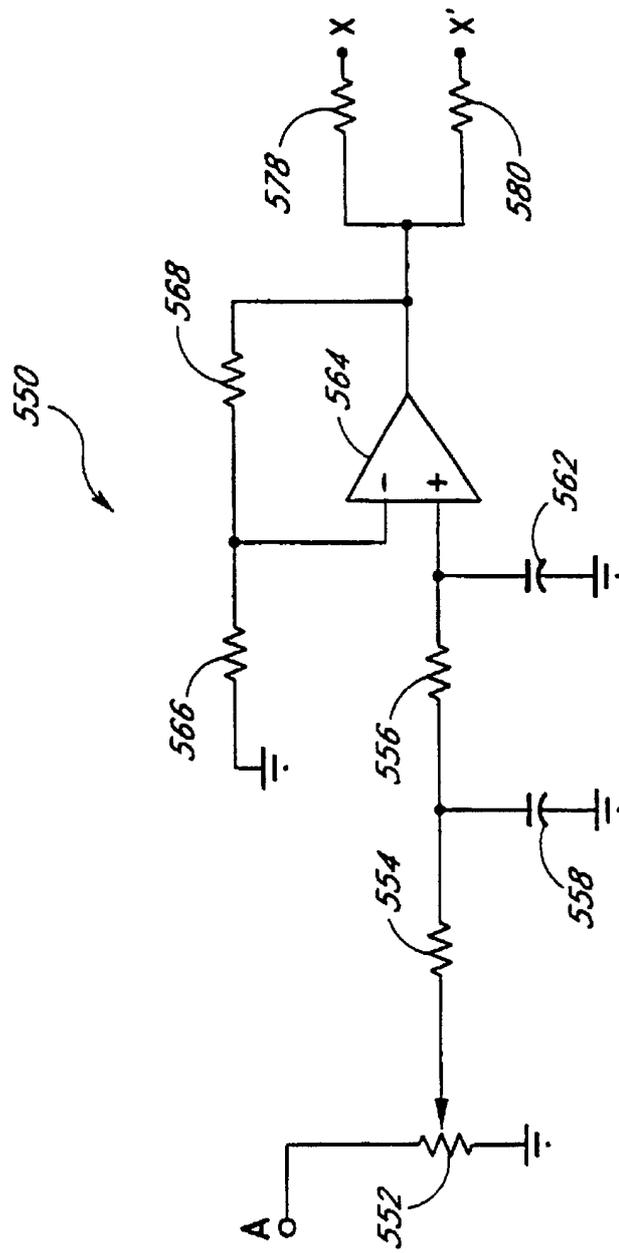


图 12

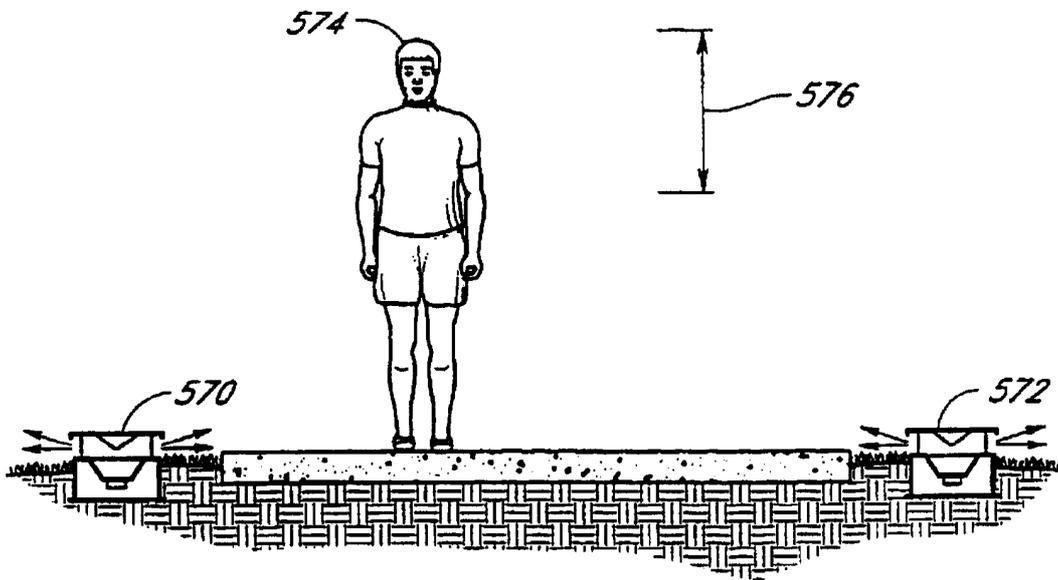


图 13

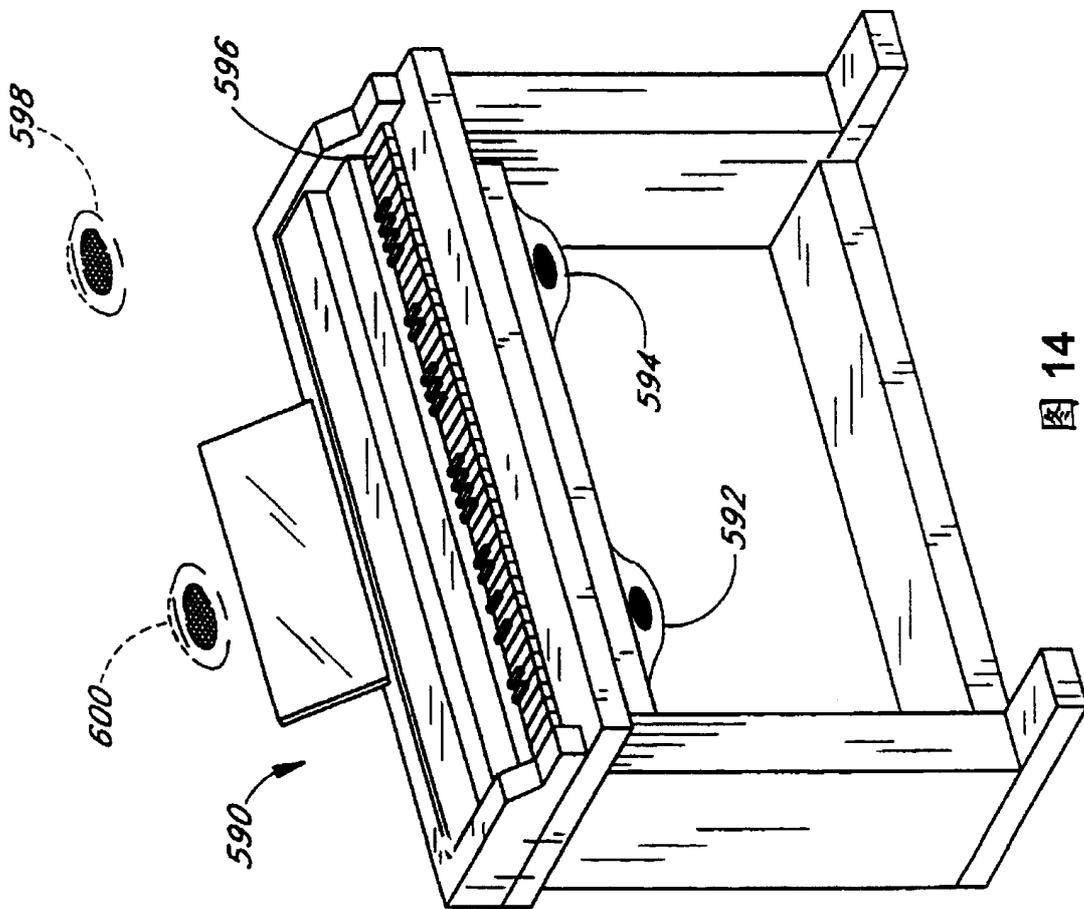


图 14