

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl⁷
H04R 11/02



[12] 发 明 专 利 说 明 书

[21] ZL 专利号 97110804.8

[45] 授权公告日 2003 年 11 月 12 日

[11] 授权公告号 CN 1127883C

[22] 申请日 1997.4.24 [21] 申请号 97110804.8

[30] 优先权

[32] 1996.4.24 [33] JP [31] 102390/1996

[71] 专利权人 松下电器产业株式会社

地址 日本国大阪府

[72] 发明人 田中祥司 饭村胜彦

审查员 冯于迎

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

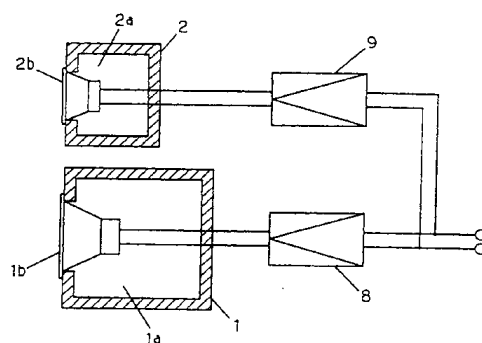
代理人 赵国华

权利要求书 2 页 说明书 16 页 附图 15 页

[54] 发明名称 扬声器系统

[57] 摘要

本发明的扬声器系统，包括在第一空腔中配置第一扬声器单元的第一扬声器和同样的第二扬声器，当令第一、第二扬声器的最低共振频率为 f_1 、 f_2 ，第一扬声器共振尖锐度为 Q ，第一和第二扬声器的分频频率为 f_{cr} 时，满足下列条件： $1.4 \leq Q \leq 10$ ， $f_1 < f_2$ ， $f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{ (Q^2 + 1.2 \times Q) / (Q^2 - 2.5) \}^{0.5} \times K$ ， $1 \leq K \leq \{ Q / (Q - 1.4) \}^{2.5}$ 。



I S S N 1 0 0 8 - 4 2 7 4

1. 一种扬声器系统，其特征在于包括：

5 第一空腔中包含第一扬声器单元的第一扬声器；和

第二空腔中包含第二扬声器单元的第二扬声器；

其特征在于，令第一扬声器最低共振频率为 f_1 ，共振尖锐度为 Q_1 ，第二扬声器最低共振频率为 f_2 ，第一扬声器与所述第二扬声器的分频频率为 f_{cr} 时，满足下列条件：

10 $1.4 \leq Q_1 \leq 10$

$f_1 \leq f_2$

$f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k$

$1 \leq k \leq \{Q_1 / (Q_1 - 1.4)\}^{2.5}$ 。

15 2. 如权利要求 1 所述的扬声器系统，其特征在于，还包括：一至少包含第二扬声器低频信号衰减装置的网路，

其中，输入端子一侧看去的第二扬声器的直流电阻高于第一扬声器直流电阻，

第一扬声器和第二扬声器互相电气并联且反相连接，

20 第一扬声器和第二扬声器形成为一体。

3. 如权利要求 2 所述的扬声器系统，其特征在于，共用第一空腔和第二空腔。

4. 如权利要求 1 所述的扬声器系统，其特征在于，共用第一空腔和第二空腔。

25

5. 一种扬声器系统，其特征在于包括：

第一空腔中包含第一扬声器单元的第一扬声器；

第二空腔中包含第二扬声器单元、与第一扬声器一同被驱动的第二扬声器；

和

30 一至少作为第一扬声器高频衰减装置的电路滤波器，

其中，令第一扬声器最低共振频率为 f_1 ，共振尖锐度为 Q_1 ，第二扬声器最低共振频率为 f_2 ，第一扬声器与第二扬声器的分频频率为 f_{cr} ，所述电路滤波器的共振频率为 f_L ，共振尖锐度为 Q_L 时，满足下列条件：

$1.4 \leq Q_1 \leq 10$

35 $f_1 \leq f_2$

$$\begin{aligned} f_l &\leq f_{cr} \leq f_l \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k \\ 1 &\leq k \leq \{Q_1 / (Q_1 - 1.4)\}^{2.5} \\ 0.7 &\leq Q_L < 5. \end{aligned}$$

- 5 6. 如权利要求 5 所述的扬声器系统，其特征在于，还包括：
一至少包含第二扬声器低频信号衰减装置的网路，
其中，输入端子一侧看去的第二扬声器的直流电阻高于第一扬声器直流电
阻，

- 10 第一扬声器和第二扬声器互相电气并联且反相连接，
第一扬声器和第二扬声器形成为一体。

7. 如权利要求 6 所述的扬声器系统，其特征在于，共用第一空腔和第二空腔。

- 15 8. 如权利要求 5 所述的扬声器系统，其特征在于，共用第一空腔和第二空腔。

9. 如权利要求 1 至 8 中任一项所述的扬声器系统，其特征在于，令第二扬声器最低共振频率的共振尖锐度为 Q_2 ，第一扬声器在相同输入电压时的输出声压电平为 L_1 ，所述第二扬声器的输出声压电平 L_2 时，满足下列条件：

- 20 $Q_1 \times 0.5 \leq Q_2 \leq Q_1$
 $L_2 = L_1 \pm 5\text{dB}$ 。

扬声器系统

5

技术领域

本发明涉及扬声器系统。

背景技术

- 10 近年随着数字化 AV 器材高音质化、小型化和低价格化,可望有成本低、体积小并且低频重放能力高的扬声器系统或亚低音扬声器与之适应,就这些 AV 器材而言,不限于单个扬声器系统和系统立体声音响,还包括汽车用立体声音响、电视、电子乐器和 PA 装置等。

- 15 所谓提高低频重放能力,是指在保持一定的音箱容积、一定的低频重放临界频率(也称为截止频率,指其电平相对于声压平坦的频带下降 3dB 的频率)的条件下,提高输出声压电平(效率)。而且指在保持一定的音箱容积、一定的输出声压电平的条件下扩展其低频重放临界频率。此外也指维持一定的输出声压电平、一定的低频重放临界频率的同时减小音箱容积。

- 20 为此,除密闭式扬声器之外还提出过低音反射式,音响迷宫式,共鸣管式等各种低音重放扬声器方式(低音重放音箱方式)。但不论哪一种方式都各有利弊,综合来考察,低频重放能力差不多,最终大多采用的是成本上升较少的低音反射式扬声器系统。

- 25 尽管对于低音反射扬声器系统不参照文献也众所周知,以下还是参照附图说明现有低音反射式最典型的扬声器系统。图 12 是一例现有低音反射式扬声器系统的结构图,图 13 是其频率特性图。

如图 12 所示,设有空气口 53c 的低音反射式音箱 53 配置有低音喇叭 56 和高音喇叭 57。从输入端子 55 加上的电信号由网路 54 作频带分割,分配给低音喇叭 56 和高音喇叭 57。

- 30 如图 13 所示,低音喇叭 56 从低频重放临界频率 f_c 重放至分频频率 f_{cr} ,而高音喇叭 57 则重放 f_{cr} 以上的频带。通常分频频率 f_{cr} 在本例这种 2 路扬声器系统中为 1KHz 左右 ~ 几 KHz,在 3 路扬声器系统中为几百 Hz ~ 3KHz 左右和几 KHz。

- 35 而且,在图 12 中产生由音箱 53 中空气等效声顺性和空气口 53c 空气等效质量所引起的低音反射式固有的共振(也称为反共振),在该共振频率(一般称为反共振频率)附近主要是从空气口 53c 高效地发射低音。一般来说,反共振频率可设定得

比相同容积的密闭式音箱配置有相同扬声器单元时的最低共振频率要低。

按上述构成,通过利用空气口 53c 的反共振,一般可比相同容积的密闭式扬声器系统使低频重放临界频率下降 5~15%。反之,保持低频重放临界频率相同时,一般可将输出声压电平比密闭式扬声器系统提高 1dB。

- 5 但上述现有扬声器系统构成中存在低频重放能力有限制,而且无法降低成本这种问题。以下就这些问题,参照附图说明其原因。

图 14 是低音反射式扬声器系统的频率特性图,示出的是作为低音喇叭的扬声器单元的 BL (B 为磁路中的磁通密度, L 为音圈有效导体长)变化时声压频率特性的变化。 BL 越大,意味着磁路越强。

- 10 如图 14 所示,存在给出平坦频率特性的最佳 BL 值。增大 BL 使之比它大的话,中高音区电平便变高,而低音区电平变低。反之减小 BL 的话,低音区电平便变高(不过在低音区产生峰值),而中高音区电平变低。

- 也就是说,无法使低音区和中音区以上音区的高效率相容。换言之,无法做到维持平台状频率特性的条件下在整个频带范围内使输出声压电平提高。究其原因,是因为驱动力和输出声压电平同 BL 成正比,另一方面 BL 变大的话,电磁制动电阻 $R_e = (BL)^2 / R_v$ (R_v 为音圈直流电阻)急剧增大,低频共振 Q 值就会下降。

- 这里,扬声器单元的支持系统的刚性与音箱内空气的等效刚性相比可考虑为足够小的理想状态。令扬声器单元的实际振动面积为 S ,实际振动质量为 m_0 ,输出声压电平与 $S \times BL / m_0$ 成正比,一定容积中最低共振频率 f_0 (低音反射式有共振频率和反共振频率,但该 f_0 频率高的是指共振频率)与 $(S/m_0)^{1/2}$ 成正比。而且,令扬声器振动系统的机械电阻为 R_m 的话,低频共振 Q 值则有 $Q = 2 \times \pi \times f_0 \times m_0 / (R_m + R_e)$,但 R_m 比电磁制动电阻 R_e 足够小,因而 Q 与 $f_0 \times m_0 / R_e$ 基本成正比。

- 使实际振动面积 S 为 N 倍的话,声压便为 N 倍,而 f_0 和共振 Q 值也为 N 倍。因此,首先为了使 f_0 回到原先的频率而使 m_0 为 N^2 倍的话,共振 Q 值便因此为 N^2 倍。接下来通过使 BL 为 N 倍,可以使共振 Q 值回到原先值。可是声压通过使 m_0 为 N^2 倍而变为 $1/N^2$ 倍,接着通过使 BL 为 N 倍而变为 N 倍,因而,最终即使使实际振动面积变为 N 倍,声压还是会回到原先的值。

- 因而对于一定容积而言,无法做到维持平坦频率特性却仍然在整个频带范围内使输出声压电平提高,存在界限值。反之,使输出声音压电平一定的话,低频重放临界频率便存在界限值。而且,若使输出声音电平、低频重放临界频率一定的话,容积便存在(无法比它更小的)界限值。也就是说,低频重放能力存在有限制,这种情况对于密闭式、低音反射式等在低音区按集中音响常数系动作的所有扬声器系统都适用。

- 图 15 示出了密闭式扬声器系统中扬声器单元的 BL 变化时声压频率特性的变化。密闭式扬声器系统中最低共振 Q 值为 0.7 时可获得最为平坦的特性。也就是说,可以发现与低音反射式扬声器系统相同的趋向。

现有的密闭式扬声器系统从听感面、特性面选择最低共振 Q 值为 0.5~1.0 左右, 再大 Q 值也不超过 1.1 大小。这是因为, Q 值较大的话, 在最低共振频率附近便会形成轰轰的音质。这是由于频率特性仅在最低共振频率附近隆起, 过渡特性变差的缘故。

- 5 Q 值虽高但频率特性平坦的话, 过渡特性不太会变差(例如象截止特性很陡的电子滤波器一样)。但无法靠一个扬声器单元实现这种特性。

而且, 众所周知, 低音反射式扬声器系统比密闭式扬声器系统低频重放能力高, 但为了获得平坦的频率特性, 需要有比密闭式扬声器系统大的 BL 值。因而, 需要用较大励磁部以产生较强磁路, 故而引起成本上升。

10

发明内容

本发明正是解决上述现有问题, 其目的在于提供一种进一步使低频重放能力比现有限制提高, 而且成本较低的扬声器系统。

- 15 为了达到该目的, 本发明的扬声器系统包括: 第一空腔中配置第一扬声器单元的第一扬声器; 与所述第一扬声器一同被驱动, 第二空腔中配置第二扬声器单元的第二扬声器, 令所述第一扬声器的最低共振频率为 f_1 , 共振尖锐度为 Q_1 , 所述第二扬声器的最低共振频率为 f_2 , 所述第一扬声器和所述第二扬声器的分频频率为 f_{cr} 时, 满足以下条件:

- 20 $1.4 \leq Q_1 \leq 10$
 $f_1 < f_2$
 $f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k$
 $1 \leq K \leq \{Q_1 / (Q_1 - 1.4)\}^{2.5}$

- 25 根据此构成, 第一扬声器的低频共振 Q 值非常高, 因而在低音区可获得较高的输出声压电平, 而且采用的是与第一扬声器独立的第二扬声器, 因而即便是在中低音区以上也可获得较高的输出声压电平。而且, 由于以最佳条件使两个扬声器分频, 因而分频频率附近的频率特性变得平坦, 因此在整个音域内可按较高的输出声压电平获得平坦的频率特性。

而且, 第一扬声器由于使低频共振 Q 值非常的高, 因而最花钱的扬声器单元的励磁部可以做得非常小, 因而可以降低成本。

- 30 本发明第一方面的扬声器系统, 其特征在于包括:

第一空腔中包含第一扬声器单元的第一扬声器; 和
 第二空腔中包含第二扬声器单元的第二扬声器;

- 35 其特征在于, 令第一扬声器最低共振频率为 f_1 , 共振尖锐度为 Q_1 , 第二扬声器最低共振频率为 f_2 , 第一扬声器与所述第二扬声器的分频频率为 f_{cr} 时, 满足下列条件:

$$1.4 \leq Q_1 \leq 10$$

$$f_1 \leq f_2$$

$$f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k$$

$$1 \leq k \leq \{Q_1 / (Q_1 - 1.4)\}^{2.5}.$$

本发明第二方面的扬声器系统，其特征在于包括：

- 5 第一空腔中包含第一扬声器单元的第一扬声器；
 第二空腔中包含第二扬声器单元、与第一扬声器一同被驱动的第二扬声器；
 和

 一至少作为第一扬声器高频衰减装置的电路滤波器，

- 其中，令第一扬声器最低共振频率为 f_1 ，共振尖锐度为 Q_1 ，第二扬声器最低
 10 共振频率为 f_2 ，第一扬声器与第二扬声器的分频频率为 f_{cr} ，所述电路滤波器的
 共振频率为 f_L ，共振尖锐度为 Q_L 时，满足下列条件：

$$1.4 \leq Q_1 \leq 10$$

$$f_1 \leq f_2$$

$$f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k$$

15 $1 \leq k \leq \{Q_1 / (Q_1 - 1.4)\}^{2.5}$

$$0.7 \leq Q_L < 5.$$

附图说明

- 图 1 是本发明第一实施例(权项 1 实施例)中扬声器系统的构成图。
 20 图 2 是第一实施例中扬声器系统的频率特性图。
 图 3 是第二实施例中(权项 2 实施例)扬声器系统的构成图。
 图 4 是图 3 中第二实施例各电路滤波器的构成图。
 图 5 是第二实施例中扬声器系统的频率特性图。
 图 6 是第三实施例中(权项 3 实施例)扬声器系统的构成图。
 25 图 7 是第三实施例中扬声器系统的网路电路图。
 图 8 是第三实施例中扬声器系统的频率特性图。
 图 9 是第四实施例中(权项 4 实施例)扬声器系统的构成图。
 图 10 是第五实施例中(权项 5 实施例)扬声器系统的构成图。
 图 11 是第五实施例中扬声器系统的频率特性图。
 30 图 12 是现有低音反射式扬声器系统的构成图。
 图 13 是现有低音反射式扬声器系统的频率特性图。
 图 14 是现有低音反射式扬声器系统 BL 变化时的频率特性图。
 图 15 是现有密闭式扬声器系统 BL 变化时的频率特性图。

35 具体实施方式

以下参照附图说明本发明实施例。

第一示范实施例

图1是本发明第一实施例扬声器系统的构成图。图1中,第一扬声器1外形尺寸为宽度15cm×高度15cm×深度14cm,板厚为10mm。第一空腔1a为容积2.0升的密闭式。

- 5 第一扬声器单元1b是口径14cm的低音喇叭。其阻抗为 6Ω ,磁体尺寸为外径60mm×内径32mm×厚度9mm,BL为4.3,实际振动半径为47mm,实际振动质量为28g,单个最低共振频率为30Hz,机械共振尖锐度(Q_m)为8.0,音圈直流电阻为 4.8Ω 。音圈为直径25mm的八层绕组类型,阻抗非常大,以便使高频的声压电平衰减。

- 10 第一扬声器单元1b配置在第一空腔1a中构成第一扬声器1,第一扬声器1的最低共振频率 f_1 为62Hz,共振尖锐度 Q_1 为2.1。

第二扬声器2外形尺寸为宽度9cm×高度13cm×深度11.5cm,板厚为10mm。第二空腔2a为容积0.7升的密闭式。

- 15 第二扬声器单元2b是口径7cm的全音域喇叭(フルレンジ)。其阻抗为 4Ω ,输出声压电平80.5dB/1W, 6Ω 阻抗1W输入时可获得82dB的声压电平。

第二扬声器单元2b配置于第二空腔中2a中构成第二扬声器2,第二扬声器2的最低共振频率 f_2 约为140Hz。

- 20 本实施例中,第一扬声器1和第二扬声器2由各自的功率放大器8、9一同被驱动(双通道放大器方式)。各功率放大器8、9的频率特性平坦,输入灵敏度和最大输出功率也都相同,从音响效果来说完全等同于并联连接各扬声器由一台功率放大器驱动的情形。另外,本实施例中使第一扬声器1和第二扬声器2极性互逆。第一扬声器1和第二扬声器2的分频频率 f_{cr} 设定为约120Hz。

- 25 对于如上所述构成的本实施例扬声器系统,以下参照图2说明其作用和效果。图2是本实施例扬声器系统模拟得到的频率特性图,纵轴是声压电平SPL,横轴是频率 f 。

图2中,B是第一扬声器1的声压频率特性,C是第二扬声器2的声压频率特性,A是它们的总声压频率特性,输入电压当阻抗 6Ω 时相当于1W。而且,这些特性是配合无限大反射板给出的。

- 30 第一扬声器1的共振尖锐度 Q_1 较高为2.1,因而可以如图2中B所示在最低共振频率 f_1 的62Hz附近获得82dB左右较高的输出声音电平。现有扬声器系统容积为2.7升(第一与第二空腔的总容积),在该最低共振频率时输出声压电平限制在79dB左右。

- 35 另外,本实施例中利用音圈阻抗使第一扬声器单元1b的高频衰减,因而第一扬声器单元1b的高频特性即便紊乱,也不会与第二扬声器单元2b在高频引起干扰。

对于第一扬声器1的 Q_1 值来说,太小就没有提高输出声压电平的效果。由计

计算机模拟分析可以清楚, Q_1 需要大于 1.4 左右。相反, Q_1 大到极点的话, 过渡特性就变差, 在听感上有问题, 由实验可清楚, 10 左右是上限。

通过使第二扬声器 2 的最低共振频率 $f_2 > f_1$, 便不需要降低 f_2 , 因而可以容易地提高输出声压电平。本实施例如图 2C 所示, 此输出声压电平与 f_1 附近的输出声压电平基本对齐。

而且, 第二扬声器 2 不需要重放至低音区, 因而第二扬声器单元 2b 的口径可做得较小。因而第二空腔 2a 的容积也可做得较小, 不至使总容积大幅增加。因而, 提高输出声压电平的效果较为显著, 从而与上文所述总容积相同的现有扬声器系统相比可以获得高出 3dB 的输出声压电平。

10 本实施例中, 分频频率 f_{cr} 约为 120H, 设定为满足以下条件:

$$1.4 \leq Q_1 \leq 10$$

$$f_1 < f_2$$

$$f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k$$

$$1 \leq k \leq \{Q_1 / (Q_1 - 1.4)\}^{2.5}$$

15 因而如图 2 中 A 所示, 即便在分频频率附近也可获得平坦的频率特性。

上述分频频率的设定条件是本次初步分析导出的, 由该条件可获得平坦的频率特性是由本次开发的计算机模拟分析和测定实验等均得到确认的。

换言之, 初次发现, 将最低共振频率处有较高电平峰值这种一般观念上特性差得不能用的扬声器同具备通常低频特性的扬声器相组合, 可在总体上获得平坦的频率特性。以下稍稍增加篇幅说明可通过满足该条件获得平坦的频率特性的理由。

电子音响工程学上, 众所周知, 当令质量控制频带中比最低共振频率 f_1 足够高的频率(即平坦频带)处的输出声压为 P_0 时, 扬声器在低频频率 f 的输出声压 P 可由下式表示。

$$25 \quad P = P_0 \times \{(f/f_1) / [1/Q_1^2 + (f/f_1 - f_1/f)^2]^{0.5}\}$$

这里, 代入 $X = f/f_1$ (X 是归一化频率, 意味着与最低共振频率的比率)的话, 则成立

$$P = P_0 \times \{X / [1/Q_1^2 + (X - 1/X)^2]^{0.5}\}$$

但是, 一般来说, 各扬声器的输出声压电平在分频频率处比平坦区衰减几 dB 时, 可获得平坦特性。例如, 在各扬声器分频频率处, 相位完全一致时, 可在分别衰减 6dB(声压衰减为一半)时获得平坦特性, 而相位差 45° 时, 则可在分别衰减 3dB(功率衰减为一半)时获得平坦特性。

本实施例的扬声器系统中, 第一扬声器 1 最低共振频率 f_1 以上频率处输出声压电平的衰减特性斜率与第二扬声器 2 低频处输出声压电平的衰减特性斜率不相同, 在分频频率附近相位完全不一致(或反相)。计算机模拟分析结果即两者在分频频率附近的相位差, 通过使第一扬声器与第二扬声器的极性一致(或反相)的状

态清楚，为 $30^\circ \sim 45^\circ$ 大小。

由此可知，使各扬声器在分频频率 f_{cr} 的电平衰减 $4 \sim 5\text{dB}$ 大小的话，便可获得平坦的频率特性。但考虑到扬声器单元的音圈存在阻抗，并考虑到大多是与扼流线圈这种高频衰减装置一起使用的，因而即便是在分频频率 f_{cr} 附近，声压电平仍有若干下降。因而，若考虑不含音圈阻抗等的扬声器单元其本身的理论特性的话，在分频频率附近使电平衰减 4dB 左右是合适的。

令第一扬声器在最低共振频率 f_1 处的输出声压(即峰值输出声压)为 P_1 的话，则有 $P_1 = P_0 \times Q_1$ 。通过使全频带的输出声压与 P_1 基本上对齐，可在总体上获得平坦的频率特性，因而可以根据前文所述将分频率设定为电平比峰值输出声压电平下降 4dB 左右(声压为 0.63 倍)的频率附近。也就是说，可以将分频率设定在 $P = P_1 \times 0.63$ 的频率附近。由下式

$$P = P_1 \times 0.63 = P_0 \times Q_1 \times 0.63$$

$$P = P_0 \times \{X/[1/Q_1^2 + (X - 1/X)^2]^{0.5}\}$$

可以求得满足下式的 X 。

$$\{X/[1/Q_1^2 + (X - 1/X)^2]^{0.5}\} = Q_1 \times 0.63$$

上式两边平方

$$Q_1^2[1/Q_1^2 + (X - 1/X)^2] = 2.5X^2$$

对此整理则

$$(Q_1^2 - 2.5)X^2 - (2 \times Q_1^2 - 1) + Q_1^2/X^2 = 0$$

接下来两边乘以 X^2 ，则

$$(Q_1^2 - 2.5)X^4 - (2 \times Q_1^2 - 1)X^2 + Q_1^2 = 0$$

用二次方程式根的公式(以 X^2 为未知数)求解整理便得到

$$X^2 = \{2 \times Q_1^2 - 1 + (6 \times Q_1^2 + 1)^{0.5}\} / 2 / (Q_1^2 - 2.5)$$

因为 $6 \times Q_1^2$ 比 1 大得多，所以作如下近似

$$(6 \times Q_1^2 + 1) \cong 6 \times Q_1^2$$

则

$$X^2 = \{2 \times Q_1^2 - 1 + 6^{0.5} \times Q_1\} / 2 / (Q_1^2 - 2.5)$$

接下来 $(2 \times Q_1^2 + 6^{0.5} \times Q_1)$ 比 1 大得多，故作如下近似

$$(2 \times Q_1^2 - 1 + 6^{0.5} \times Q_1) \cong (2 \times Q_1^2 + 6^{0.5} Q_1)$$

30 则

$$X^2 = (2 \times Q_1^2 + 6^{0.5} \times Q_1) / 2 / (Q_1^2 - 2.5) = (Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)$$

因而求得 X

$$X = \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5}$$

$X = f/f_1$ ；又 f 与分频频率 f_{cr} 相当，故

$$35 \quad f_{cr} = f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5}$$

f_{cr} 为这种频率的邻近值时，便可获得最平坦的频率特性。

接下来取分频频率 f_{cr} 的容许偏差系数 k 。一般要得到在听觉上不太有问题、实用的低频频率特性，需要使频率特性归于 $\pm 3\text{dB}$ 以内的偏差中。

- 考虑最大偏差出现场合，就如下所述。具体来说，对于平坦频带内的电平只存在波峰时，需要使之成为 6dB 以下，而对于平坦的频带内的电平只存在波谷时，需要使之成为 6dB 以下。

分频频率 f_{cr} 附近生成 6dB 峰值的是在 $f_{cr}=f_1$ ，而且在第一和第二扬声器的声压相位完全相同的情况下。因而，通过使 $f_{cr}>f_1$ ，便可以使 f_{cr} 的峰值低于 6dB 。

在 f_{cr} 附近有 6dB 谷底产生时，由计算机模拟和实验可知，是 f_{cr} 为 $\{(Q_1/(Q_1-1.4))^{2.5}\}$ 倍大小的时候。

- 而且，频率特性从平坦的频带电平在正与负之间起伏时，也可通过计算机模拟知道，满足 $f_{cr}>f_1$ 并且 f_{cr} 在 $\{(Q_1/(Q_1-1.4))^{2.5}\}$ 倍以内这两个条件的，便在 $\pm 3\text{dB}$ 偏差以内。

因而，通过使得

$$f_1 \leq f_{cr} \leq f_1 \times \{(Q_1^2 + 1.2 \times Q_1) / (Q_1^2 - 2.5)\}^{0.5} \times k$$

$$1 \leq k \leq \{(Q_1 / (Q_1 - 1.4))^{2.5}\}$$

可以获得 $\pm 3\text{dB}$ 以内偏差的频率特性。而且，使分频频率 f_{cr} 为 $k=1$ 大小的最佳值时，可获得特别平坦的频率特性图。

- 另外，在 $1.4 \leq Q_1 \leq 2.5^{0.5} (=1.58)$ 范围内 f_{cr} 条件式右边分母 $(Q_1^2 - 2.5)$ 为负，右边会变成虚数，故这时右边条件变为无效，因而只要使 $f_1 \leq f_{cr}$ 条件满足就可。换言之，意味着 Q_1 未大到极点时，即便稍稍提高分频频率，频率特性上也没有大的谷底发生。

- 本实施例的扬声器系统，通过满足如上文所述的分频频率条件，在整个频带内实现平坦的频率特性，总容积仅仅为 2.7 升，同时实现约 $55\text{Hz}/-3\text{dB}$ 这种非常低的低频重放临界频率和约 82dB 之高的输出声压电平。这是比现有界限高出 3dB 还高的值。而且，本实施例中 $k=1.1$ ，与 $k=1$ 的最佳条件接近，因而由图 2 可知，可获得声压电平偏差不超过 $\pm 1\text{dB}$ 极为平坦的频率特性。

- 本实施例的扬声器系统，将第一扬声器 1 做成密闭式，因而不致引起现有低音反射式扬声器系统那种在反共振频率以下振动板振幅过大这种问题，低音区即便加有大输入也能承受。而现有的低音反射式扬声器系统，在反共振频率以下，扬声器单元的声压同空气口的声压相互抵消，在超低音区急速衰减，但本实施例扬声器系统没有此类情况，可获优异的低音感。

- 现有通常的扬声器系统，为了以这种容积、扬声器单元口径，直到 55Hz 都可获得平坦的频率特性，需要有非常大的 BL 值，需要有外径 110mm 大小这种非常大尺寸的磁体。但本实施例中，第一扬声器 1 使低频共振 Q 值提高，因而第一扬声器单元 1b 的 BL 可以为较小值，可以使磁体尺寸非常得小，外径为 60 毫米。

如上所述，按照本实施例，第一扬声器 1 的共振尖锐度非常高，因而可以大

幅度提高低音区的输出声压电平。而且,第二扬声器2的最低共振频率 f_2 不需要降低,因而中高音区的输出声压电平也能很容易地提高,可以在低音区和中高音区内使高效率兼备。(若某种原因 $f_1 < f_2$ 条件不成立,为了满足前述分频频率 f_{cr} 的条件,必然使 f_2 相当高。

- 5 由于将分频频率设定在最佳条件,因而可以在包含分频频率附近在内的整个频带内获得平坦的频率特性。

而且,第二扬声器2不需要重放至低音区,因而第二扬声器单元2b的实际振动半径(口径)可以做得较小,第二空腔2a的容积做得较小。因而,总容积不至大幅增加。

- 10 因而,对于一定容积可以以较高的输出声压电平在整个频带内获得平坦的频率特性,可进一步使低频重放能力比现有限制高。

此外,第一扬声器1提高低频共振Q值,因而第一扬声器单元1b的BL可以为较小值,可以使磁体尺寸制得非常小。因而可谋求成本降低。

- 15 另外,本实施例中,第一扬声器1、第二扬声器2都用的是一个扬声器单元,但分别用多个扬声器单元也没关系。

本实施例中,第一扬声器1采取的是密闭式,但采取反共振频率相对于最低共振频率 f_1 足够低的低音反射式也行。而且,也可以采用凯莱顿式(ケルトン型)扬声器等。

- 20 此外,在象大型电视这种外形尺寸较大等场合,也可以采用后面述及的第四实施例所述的那种背面开放式等。这时,第一扬声器1的最低共振频率 f_1 和共振尖锐度 Q_1 同第一扬声器单元1b本身值基本相同,因而可以设计成扬声器1b本身的共振尖锐度 Q_m 较高。

- 25 本实施例中,第二扬声器2采取的是密闭式,但采取低音反射式也没关系。这时,将其反共振频率设计得比分频率 f_{cr} 低而且在第一扬声器最低共振频率附近的话,第二扬声器单元2b其振动板振幅在低音区减少,可以减小失真。

此外,在象大型电视这种外形尺寸较大等场合,也可以采用后面述及的第四实施例所述的那种背面开放式等。这时,第二扬声器2的最低共振频率 f_2 同第二扬声器单元2b本身的值基本相同。

- 30 而且,本实施例中,分别由功率放大器8、9驱动第一扬声器1和第二扬声器2,但功率放大器的负载阻抗允许的话,也可以并列连接两扬声器,由一台功率放大器驱动。

而且,使功率放大器8、9的输入灵敏度相同,但各扬声器单元的灵敏度有差异时,为了对此进行修正,也可以改变输入灵敏度。

- 35 而且,还可以使立体声L、R声道的合成低频信号所驱动的一个第一扬声器和各声道用的各一个(合计2个)第二扬声器与之组合这种所组合3D方式构成。声道数即便为3路以上,也可以如后面第四实施例所述的一个第一扬声器和同声道

数的第二扬声器组合构成。

而且，本实施例中使第一扬声器 1 与第二扬声器 2 的极性相反，但例如第一扬声器 1 与第二扬声器 2 之间存在较大距离差，相位在分频频率 f_{cr} 附近反相时，两扬声器极性相同可获得平坦的特性。

5 而且，本实施例中，是加大第一扬声器单元 1b 本身的音圈阻抗，专门使高频衰减的，但扬声器单元的高频特性较少紊乱等场合，不需要谋求专门使高频衰减的装置。之所以如此，是因为，第一扬声器 1 的低频共振 Q 值较高，第一扬声器 1 的中高频声压电平比该低频共振电平(即作为扬声器系统的全频带平坦部的电平)低得多的缘故。

10 要么衰减高频时，利用扼流线圈和覆盖在扬声器正面的冲孔网和格子网之类的网状结构这种音响高频截止滤波器，要么再在扬声器单元设置机械的高频截止滤波器，都没关系。而且，不用说，不在扬声器一侧进行高频衰减，由放大器和均衡器等使高频信号衰减也没关系。

本实施例中，未专门对第二扬声器 2 的低频信号进行衰减，但用扬声器的网
15 路和放大器和均衡器等使低频信号衰减，当然也没关系。

综上所述，按照本发明实施例 1，第一扬声器的共振尖锐度非常高，因而可以大幅提高低音区的输出声压电平。而且，第二扬声器的最低共振频率不需要降低，因而中高音区输出声压电平也可以较为容易地提高。而且，将分频频率设定为上文所述的最佳条件，因而可以在整个频带内按较高的输出声压电平获得平坦
20 的频率特性，达到可以使低频重放能力比现有限制还高这种效果。而且，第一扬声器为了提高低频共振 Q 值，因而第一扬声器单元 BL 以较小值为好，可以使磁体尺寸变得非常小，因而还可达到能够降低成本这种效果。

第二示范实施例

图 3 是本发明第二实施例扬声器的构成图。图 3 中，第一扬声器 61 外形尺寸
25 为宽度 15cm×高度 15cm×深度 14cm，板厚为 10mm。第一空腔 61a 是容积 2.0 升的密闭式。

第一扬声器单元 61b 是口径 14cm 的低音喇叭。其阻抗为 6Ω ，磁体尺寸为外径 60mm×内径 32mm×厚度 9mm，BL 为 4.3，实际振动半径为 47mm，实际振动质量为 28g，单个最低共振频率为 30Hz，机械共振尖锐度(Q_m)为 8.0，音圈直流电阻为 4.8Ω 。音圈为直径 25mm 的 8 层绕组类型，阻抗非常大，使高音区声压
30 电平衰减。

第一扬声器单元 61b 配置于第一空腔 61a 中构成第一扬声器 61，第一扬声器 61 的最低共振频率 f_1 为 62Hz，共振尖锐度 Q_1 为 2.1。

第二扬声器 62 外形尺寸为宽度 9cm×高度 13cm×深度 11.5cm，板厚为
35 10cm。第二空腔 62a 为容积 0.5 升的密闭式。

第二扬声器单元 62b 是口径 7cm 的全音域喇叭(フルレンジ)。其阻抗为 4Ω ，

输出声压电平为 80.5dB/1W, 6Ω阻抗 1W 输入时可获得 82dB 声压电平。

第二扬声器单元 62b 配置于第二空腔 62a 中构成第二扬声器 62, 第二扬声器 62 的最低共振频率 ffr 约为 150Hz。上述是与第一实施例中所说明内容相同的内容。

- 5 本实施例中, 第一扬声器 61 和第二扬声器 62 由各个前级包含电路滤波器 66、67 的功率放大器 68、69 一起驱动(双通道放大器方式)。这里, 图 4 示出各电路滤波器 66、67 的一构成例。一个是 10KΩ电阻 R1、R2, 电容 0.22μF 的电容器 C1, 电容 0.056μF 的电容器 C2 和运放 OP1 构成的低通滤波器电路 66, 另一个是 5.6KΩ电阻, 10 KΩ电阻 R4, 电容 0.22μF 的电容器 C3、C4 和运放 OP2 构成的高通滤波器电路 67, 低通滤波器电路 66 的输出端子 OUT(L)与功率放大器 68 连接, 高通滤波器电路 67 的输出端 OUT(H)与功率放大器 69 连接。按此构成, 低通滤波器电路 67 的共振频率 f2 就变为 150Hz, 共振尖锐度 Q2 为 1.3。本实施例中是在第二扬声器 62 中设置高通滤波器电路 67 对低音区信号进行衰减的, 但不专门进行当然也没关系。而且, 各功率放大器 68、69 的频特性平坦, 输入灵敏度和最大输出功率也相同, 在音响效果上与并联连接各扬声器由一台功率放大器驱动的情形完全相同。另外, 本实施例中第一扬声器 61 与第二扬声器 62 相性相反。第一扬声器 61 与第二扬声器 62 的分频频率 fcr 设定为约 150Hz。

以下就如上所述构成的本实施例扬声器系统参照图 5 说明其作用和效果。图 5 是本实施例扬声器系统的频率特性图。

- 20 图 5 中, B 是第一扬声器 61 的声压频率特性曲线 C 是第二扬声器 62 的声压频率特性曲线, A 是它们的总声压频率特性曲线, 输入电压与阻抗 6Ω时 1W 相当。而且, 这些特性在带有无限大反射板时的特性。

第一扬声器 61 的共振尖锐度 Q1 高达 2.1, 如 B 所示, 在最低共振频率 f1 的 62Hz 附近可以获得 83dB 左右高的输出声压电平。

- 25 对于 Q2 值, 由模拟分析和实验可知, 与第二扬声器分频当中, 频率特性为了避免出现谷底值, 需要超过 0.7, 反之大到极点便会在频率特性中出现峰值, 选取 5 左右为上限。

而且, 本实施例设定成满足下述条件:

- 1.4≤Q1≤10
30 0.7≤Q2≤5
f1<f2

因而, 可以通过第一扬声器 61 设置的低通滤波器电路 67, 在该共振频率 f2 140Hz 附近引起声压上升, 与不设低通滤波器电路的扬声器系统相比, 可获得约 3dB 的声压上升。

- 35 另一方面, 本实施例扬声器 61 与第一实施例的第一扬声器 1 相比, 可使重放频率扩大外 140Hz 以上, 因而不需要降低第二扬声器 62 的最低共振频率 ffr, 可

以较容易地提高输出声压电平, 可以将第一扬声器 61 与第二扬声器 62 的分频频率 fcr 设定为约 150Hz。第一实施例的扬声器系统, 分频频率设定为约 120Hz 的话, 就得不到平坦的特性。

另外, 本实施例中, 第一扬声器 61、第二扬声器 62 都是采用一个扬声器单元 5 元的, 但分别用多个扬声器单元也没关系。

本实施例中, 第二扬声器采取的是密闭式, 但采取低音反射式也没关系。这时, 将反共振频率设计得比分频频率 fcr 低而且在第一扬声器 61 最低共振频率 f1 的附近的话, 第二扬声器单元 62 其振动振幅在低音区减少, 可以减小失真。

而且, 还可以使来自立体声 L、R 声道的合成低频信号所驱动的一个第一扬声器 10 和各声道用的各一个(共计 2 个)第二扬声器与之组合这种所谓 3D 方式构成。声道数即便为 3 路以上, 也可以由一个第一扬声器和同声道数的第二扬声器组合构成。

而且, 本实施例中第一扬声器 61 与第二扬声器 62 的极性相反, 但例如第一扬声器 61 与第二扬声器 62 之间存在较大距离差, 相位在分频频率 fcr 附近反相 15 时, 两扬声器极性相同可获得平坦的特性。

本实施例中, 低通滤波器电路 66 和高通滤波器电路 67 是由电阻、电容器和运放构成的, 但不限于此。

综上所述, 本发明实施例 2 的效果与实施例 1 说明的实施方式完全相同, 可以获得如下效果, 可以进一步提高分频频率, 因而不需要降低第二扬声器的最低 20 共振频率, 因而第二扬声器单元其振动板振幅在低音区内减少, 可减小失真。

第三示范实施例

图 6 是本发明第三实施例扬声器系统的构成图。图 6 中, 第一空腔 11a 是容积 1 升的密闭式。第一扬声器单元 11b 是口径 10cm 的低音喇叭。

其阻抗为 4Ω, 磁体尺寸为外径 55mm×内径 26mm×厚度 9mm 这种小型号, 25 BL 为 3.0, 实际振动半径为 40mm 实际振动质量为 22g, 单个最低共振频率为 27Hz, 机械共振尖锐度为 10, 音圈为直径 19mm 的 6 层绕组类型, 音圈直流电阻为 3.2Ω。

第一扬声器单元 11b 配置于第一空腔 11a 中构成第一扬声器 11, 第一扬声器 11 的最低共振频率 f1 为 69Hz, 共振尖锐度 Q1 为 2.5。

30 第二空腔 12a 是容积 0.3 升的密闭式。第二扬声器单元 12b 是口径 6.5cm 的全音域喇叭。

其磁体尺寸与第一扬声器单元 11b 相同, 为外径 55M×内径 26mm×厚度 9mm。其 BL 为 4.7, 实际振动半径为 25mm, 实际振动质量为 1.8g, 单个最低共振频率为 80Hz, 输出声压电平为 85dB/W(4Ω时 1W 输入为 80dB)。机械共振尖锐 35 度为 5.0, 音圈为直径 19mm 的 2 层绕组类型。

第二扬声器单元 12b 配置于第二空腔 12a 中构成第二扬声器 12, 第二扬声器

12 的最低共振频率 f_2 为 175Hz。

第一扬声器 11 与第二扬声器 12 的分频频率 f_{cr} 设定为满足第一实施例提到条件的 $135\text{Hz}(k=1.25)$ 。以上是第一实施例中说明内容相同的内容。

本实施例中，第一扬声器 11 和第二扬声器 12 一体化形成在音箱 13 中。音箱 13 的外形尺寸为宽度 $14\text{cm} \times$ 高度 $20\text{cm} \times$ 深度 9cm 这种小型号，板厚为 10mm 。

本实施例中设有与输入端子 15 连接的网路 14，包括对第二扬声器 12 的低频信号衰减装置和对第一扬声器 11 的高频信号衰减装置。图 7 示出其细节。图 7 是本实施例扬声器系统网路的电路图。

图 7 中，作为低频信号衰减装置的电容器 24d 的电容为 $150\mu\text{F}$ 。作为高频信号衰减装置的扼流线圈 24a 的电感为 1mH ，电容器 24c 的电容为 $33\mu\text{F}$ ，电阻 24b 为 3.3Ω 。

而且，本实施例中，第二扬声器单元 12b 的阻抗为 12Ω ，直流电阻(最低阻抗)为 10Ω ，为比第一扬声器 11b 的直流电阻大的值。本实施例中，如图 7 所示第一扬声器单元 11b 与第二扬声器单元 12b 并列反相连接。

如上所述构成的本实施例扬声器系统的基本作用和效果完全与第一实施例相同。

具体来说，图 8 是本实施例扬声器模拟得到的频率特性图(带无限大反射板，输入电压与阻抗 4Ω 时的 1W 相当)，如这里 A 所示，总容积仅为 1.3 升却能够获得 60Hz 左右之低的低频重放临界频率，此外可获得 80dB 的输出声压电平。(现有扬声器系统中其限度为 76dB 左右)再者可以获得在 $\pm 1.5\text{dB}$ 偏差内基本上平坦的频率特性。

成本上与现有扬声器系统相比也可以有大幅下降，这是因为：本实施例所用的低音和全音域扬声器单元的合计磁体重量表小于现有扬声器系统所需的低音喇叭和高音喇叭的合计磁体重量的缘故。

本实施例设有一具备对第二扬声器 12 的低频信号衰减装置的网路 14，并使第二扬声器 12 的直流电阻大于第一扬声器 11 的直流电阻，因而第二扬声器 12 的阻抗不至于下降。

图 8 中 E 表示第一扬声器 11 阻抗 Z 的特性，F 表示第二扬声器 12 阻抗 Z 的特性，D 表示它们的总阻抗 Z 的特性，但第二扬声器 12 的阻抗较高，因而如图 8 中 D 所示，总阻抗 Z 不至过于下降。具体来说，阻抗不会过低而对放大器造成无用负担。

而且，使第一扬声器 11 和第二扬声器 12 成本一体，因而可以比第一和第二实施例进一步小型化。因而，可以成为一种当单个使用时不会对放大器造成无用的负担，低频重放能力提高，低成本并且非常实用的高性能的扬声器系统。

另外，使第二扬声器 12 的极性相对于第一扬声器 11 反相，这是因为，第二扬声器 12 的相位通过使低频衰减而超前，在分频频率 f_{cr} 附近两者的相位差接近

180°, 因而需要反相位连接。

另外, 本实施例中, 由网络 14 使第一扬声器 11 的高频衰减, 但在例如由扬声器单元 11b 本身衰减高频的场合, 未必是一定需要的。

本实施例中, 使第二扬声器 12 的阻抗为 12Ω , 但即便是例如第二扬声器单元 12b 的阻抗比第一扬声器 11 的直流电阻低, 网路 14 中例如是串联接入电阻后从端子 15 看去的阻抗大于第一扬声器 11 的直流电阻, 也没关系。

本实施例中, 是低音喇叭和全音域喇叭形成的两路构成, 当然也可以用全音域喇叭作为中音喇叭, 并在此上加一高音喇叭这种 3 路构成等。

综上所述, 本发明实施例 3 的效果与实施例 1 说明的实施方式完全相同, 但通过设置一具备对第二扬声器的低频衰减装置的网路, 使第二扬声器的直流电阻大于第一扬声器的直流电阻, 使第一扬声器与第二扬声器成为一体, 可具有下述效果, 对放大器不造成无用负担, 第一和第二扬声器做成一体形状, 可以使机型更小、低频重放能力提高、且较低成本又非常实用的高性能的扬声器系统。

第四示范实施例

图 9 是本发明第四实施例扬声器的结构图。32 英寸电视的音箱 33 是背面开放型。本实施例中一个第一扬声器单元 31b 安装在音箱 33 的顶板上。而且, 三路三个第二扬声器单元 32b 安装在同一音箱 33 正面的左右二边以及下方。这样, 第一扬声器单元 31b 和第二扬声器单元 32b 共用同一音箱 33。

第一扬声器单元 31b 是口径 12cm 的低音喇叭。磁体尺寸是外径 45mm×内径 22mm×厚度 8mm, 加有防磁罩。扬声器单元 31b 单个最低共振频率为 100Hz, 共振尖锐度为 3.0。第二扬声器单元 32b 是 3cm×12cm 的椭圆形全音域喇叭, 具备阿莱尼考(商品名)磁体的内磁型励磁部, 最低共振频率为 180Hz。

第一扬声器单元 31b 与第二扬声器单元 32b 的分频频率约为 180Hz, 以满足第一实施例中提到的条件。而且, 各扬声器与第一实施例一样由各自的功率放大器(共计四台)驱动。

音箱 33 为背面开放型, 因而第一、第二扬声器单元 31b、32b 的最低共振频率几乎没有上升, 共振尖锐度也几乎不变。

如上所述构成的本实施例的扬声器, 其基本作用和功效与第一实施例完全相同, 而且, 在本实施例中, 第一扬声器单元和第二扬声器单元通过共用音箱(空腔), 装配和连线变得容易, 可以简化制造。

另外, 本实施例各扬声器单元全部由各自的功率放大器驱动, 但当然, 对 2 声道的电视机声音信号的各路声道分别采用一台功率放大器, 形成一个采用网路使第一扬声器 31b 和第二扬声器 32b 结合的如第三实施例述及的扬声器系统也没关系。

而且, 本实施例中, 空腔做成背面开放式, 但也可以将它做成密闭式。这时, 可设计成加大第二扬声器单元 32b 支持系统的刚性, 来缓和由第一扬声器单元 31b

发生的空腔内声压造成第二扬声器单元 32b 的振动板振动。

综上所述, 本发明效果与实施例 1 中提及的实施例完全相同, 但第一扬声器单元 31b 和第二扬声器单元 32b 通过共用音箱(空腔), 可以使机构简洁, 制造简化。

5 第五示范实施例

图 10 是本发明第五实施例扬声器系统的构成图。第一扬声器 41 将口径 17cm 的低音喇叭作为第一扬声器单元 41b 配置在容积 7.0 升的第一空腔 41a 中。

第二扬声器 42 是将口径 12cm 的低音喇叭作为第二扬声器单元 42b 配置在容积 1.0 升的空腔 42a 中。而且, 第一扬声器 41 和第二扬声器 42 一体形成在音箱 10 43 中。音箱 43 的外形尺寸是宽度 22cm×高度 37cm×深度 14cm, 板厚为 10mm。

第一扬声器单元 41b, 磁体尺寸为外径 65mm×内径 32mm×厚度 10mm, BL 为 5.1, 实际振动半径为 65mm, 实际振动质量为 16g, 单个最低共振频率为 45Hz, 机械共振尖锐度为 10, 音圈为直径 25mm 的 4 层绕组, 音圈直流电阻为 6.0Ω。

第二扬声器单元 42b, 磁体尺寸为外径 60mm×内径 32mm×厚度 9mm, BL 15 为 5.0, 实际振动半径为 45mm, 实际振动质量为 8g, 单个最低共振频率为 65Hz, 机械共振尖锐度为 4, 音圈为直径 25mm 的 4 层绕组, 音圈直流电阻为 7.2Ω。

第一扬声器 41 的阻抗为 6Ω, 最低共振频率 f_1 为 86Hz, 共振尖锐度 Q_1 为 1.7。第二扬声器 42 的阻抗为 8Ω, 最低共振频率 f_2 为 155Hz, 共振尖锐度 Q_2 为 1.35。这满足第二实施例中提及的阻抗条件。而且, 两扬声器分频频率为 190Hz, 20 满足第一实施例中提及的条件。

输入端子 45 上加有 2.83V 电压时第一扬声器输出声压电平约为 85dB, 第二扬声器输出声压电平 L_2 约为 84dB。

在第二扬声器 42 的输入端串联设有电容器 44 作为低频信号衰减装置, 其电容为 120μF。而且, 第一扬声器 41 和第二扬声器 42 相对于输入端子 45 反相并联 25 连接。

如上所述构成的本实施例扬声器系统的基本作用和效果同第一、第三实施例组合而成的完全相同。也就是说, 总容积 8 升却能够如图 11 频率特性曲线 A 所示在低临界频率 75Hz 处实现 91dB 的高效率, 也能够降低成本。

本实施例中, 通过使得 Q_2 为满足 $Q_1 \times 0.5 \leq Q_2 \leq Q_1$ 条件的值, 如图 11 频率特性曲线 C 所示, 第二扬声器 42 在最低共振频率 f_2 附近, 声压电平变得极大, 而且声压电平在高于最低共振频率 f_2 位置处变成为平缓衰减的趋势。

对各扬声器 41、42 相同输入电压处的输出声压电平 L_1 、 L_2 , 通过设法满足 $L_2 = L_1 \pm 5\text{dB}$ 条件, 两扬声器 41、42 的输出声压电平在中高音区变成接近的值。而且, 由于第一扬声器 41 与第二扬声器 42 反相位连接, 因而各扬声器声压在中 35 高音区相互抵消, 总声压电平从第二扬声器最低共振频率 f_2 以上开始衰减。

因而, 可以实现一种从第二扬声器 42 最低共振频率 f_2 附近以上衰减的具有

带通特性的低音重放专用扬声器系统。由图 11 频率特性曲线 A 可知，可以获得一种从第二扬声器 42 最低共振频率 f_2 155Hz 附近以上衰减的带通特性。

由于使 Q_1 , Q_2 都为较大值，因而第一扬声器单元 41b、第二扬声器单元 42b 都可做成较小的磁体，因而可以进一步降低成本。

5 另外，本实施例中两扬声器都未采用高频衰减装置，但在例如第一扬声器音圈电感较大时，为了使中高频声压电平对齐，也可以在第二扬声器一侧加入扼流线圈。

当然，对两扬声器并联连接的也可以加入扼流线圈等高频衰减装置。这样的话可以使高频进一步衰减。

10 而且，相同输入电压下第二扬声器单元 42b 本身的输出声压电平与第一扬声器单元 41b 本身的输出声压电平相比过高时，可以在输入端子和第二扬声器单元之间插入电阻等，使第二扬声器的输出声压电平下降。

综上所述，本发明第五实施例与实施例 1、3 中提及的实施例完全相同，但通过使 Q_2 为满足 $0.5 \leq Q_2 \leq Q_1$ 条件这么大的值，并使各扬声器输出声压电平为接近值，使第一扬声器与第二扬声器极性反相，可获得下述效果，可以实现一种各扬声器声压在中高音区从第二扬声器最低共振频率以上开始互相抵消，具有带通特性的高性能低成本低频重放专用扬声器系统。

15 本发明的扬声器系统，不限于上述各种实施例中说明的例子，此外还可以有各种变形例。因而在本发明实质和范围内的变形例全部都包含于权利要求保护范围
20 内。

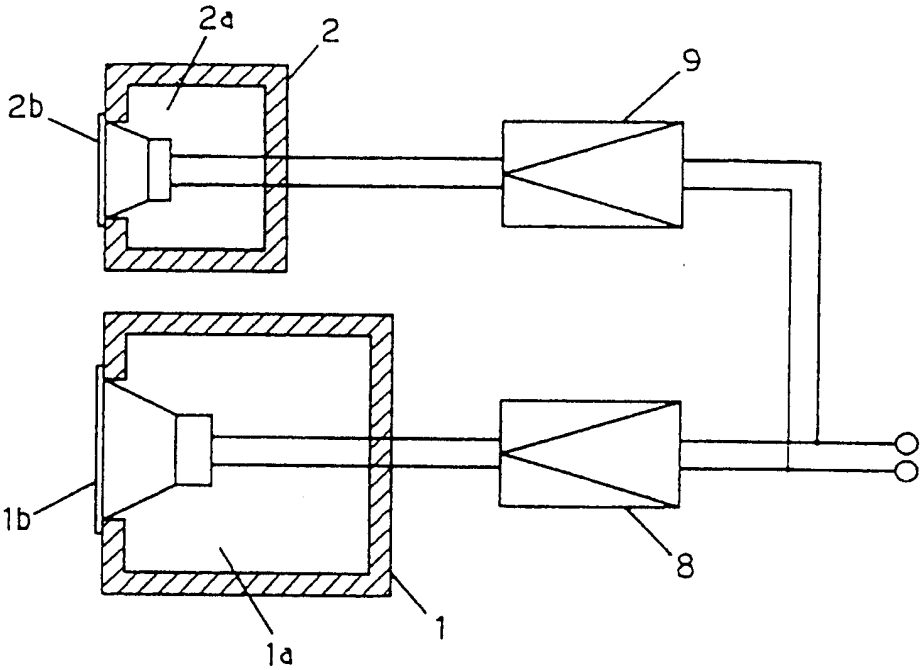


图 1

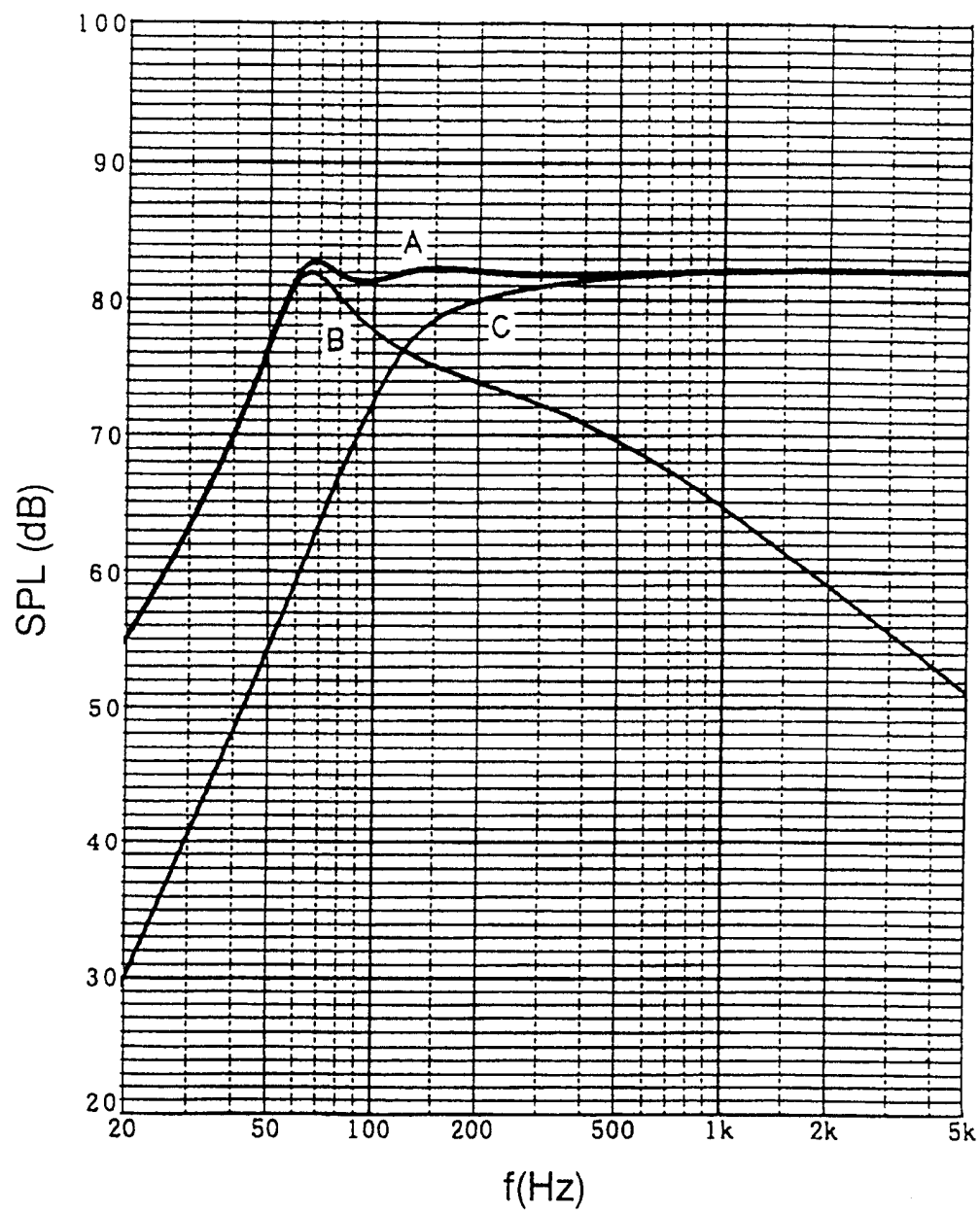


图 2

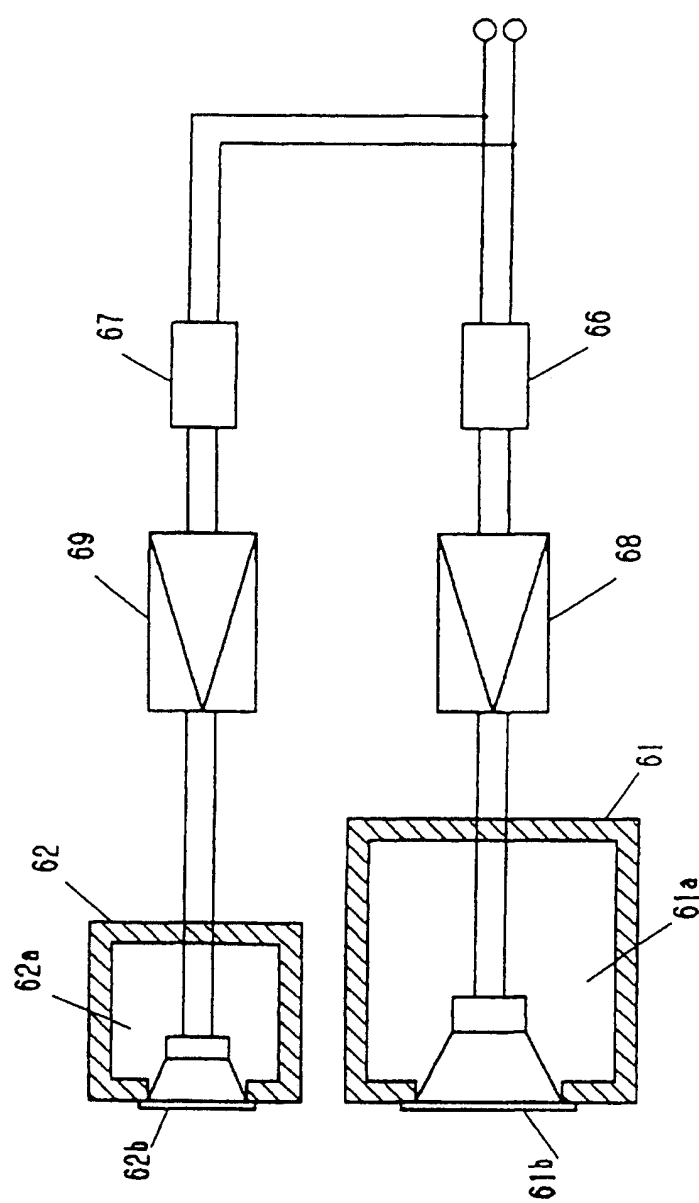


图 3

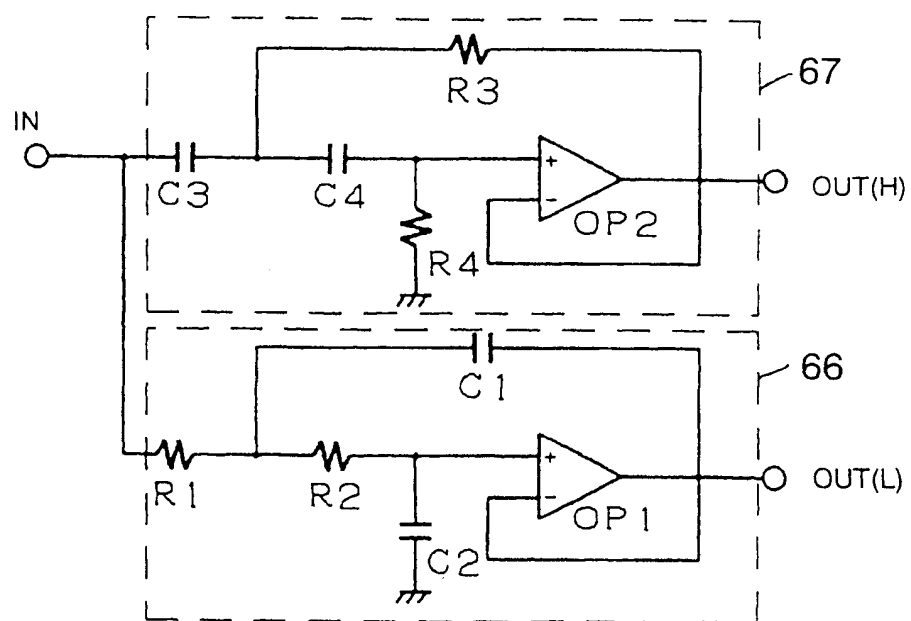


图 4

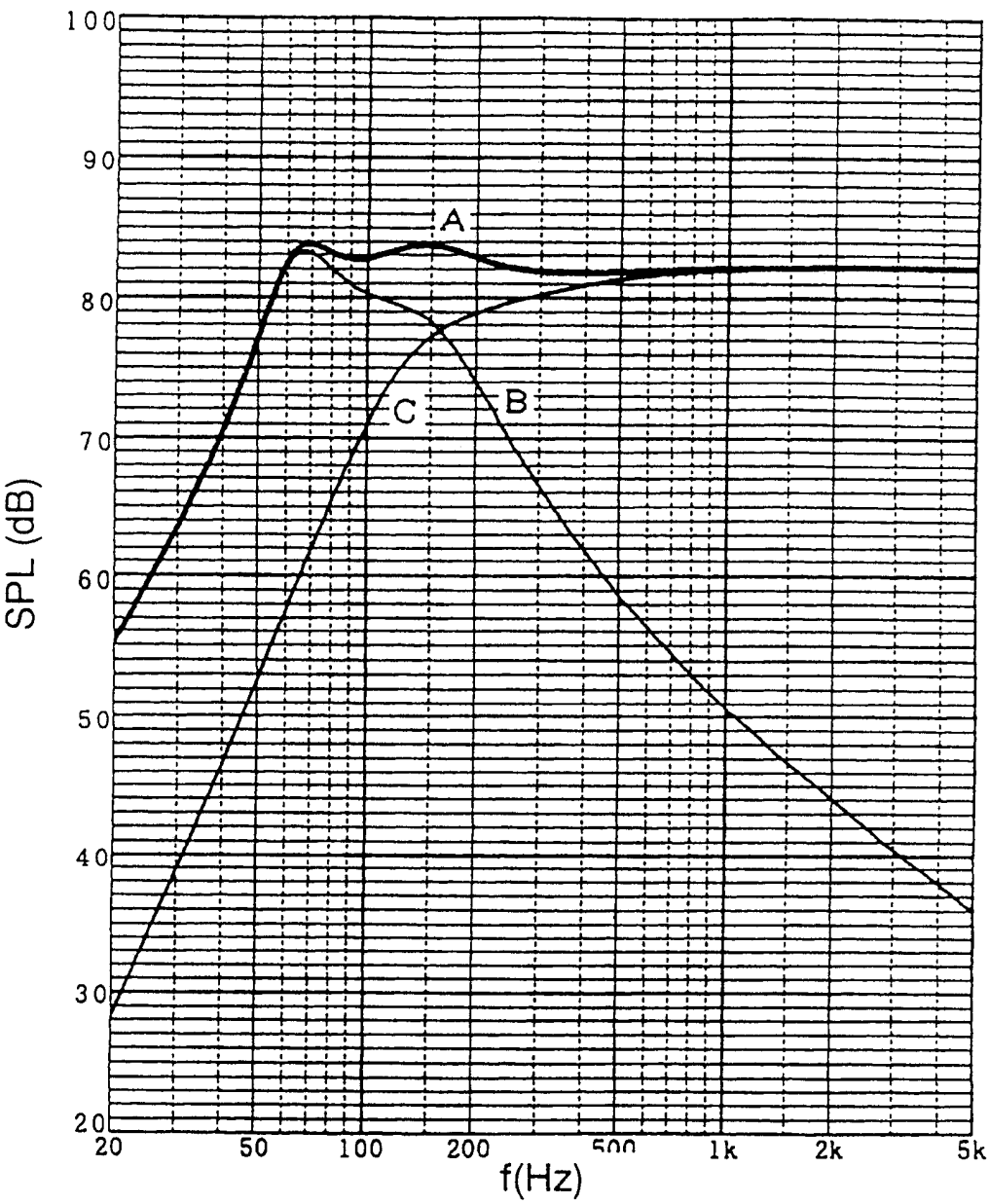


图 5

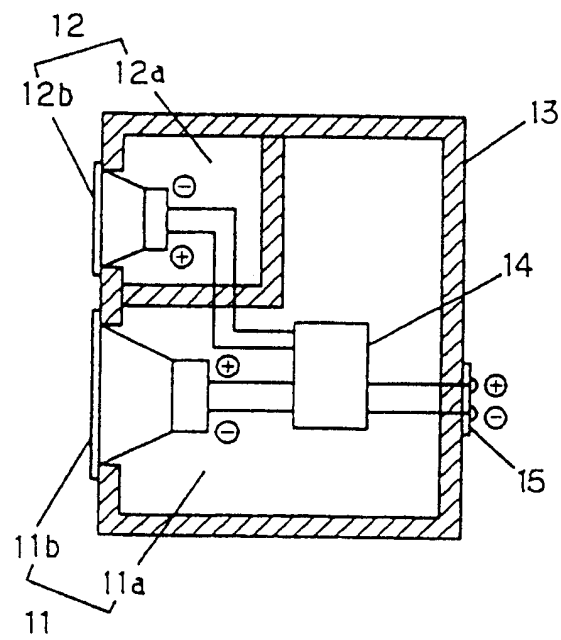


图 6

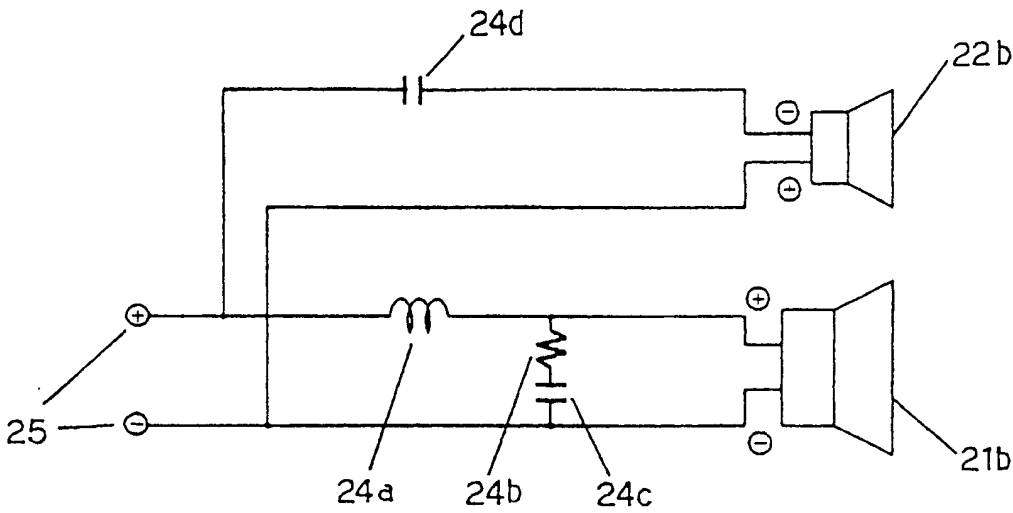


图 7

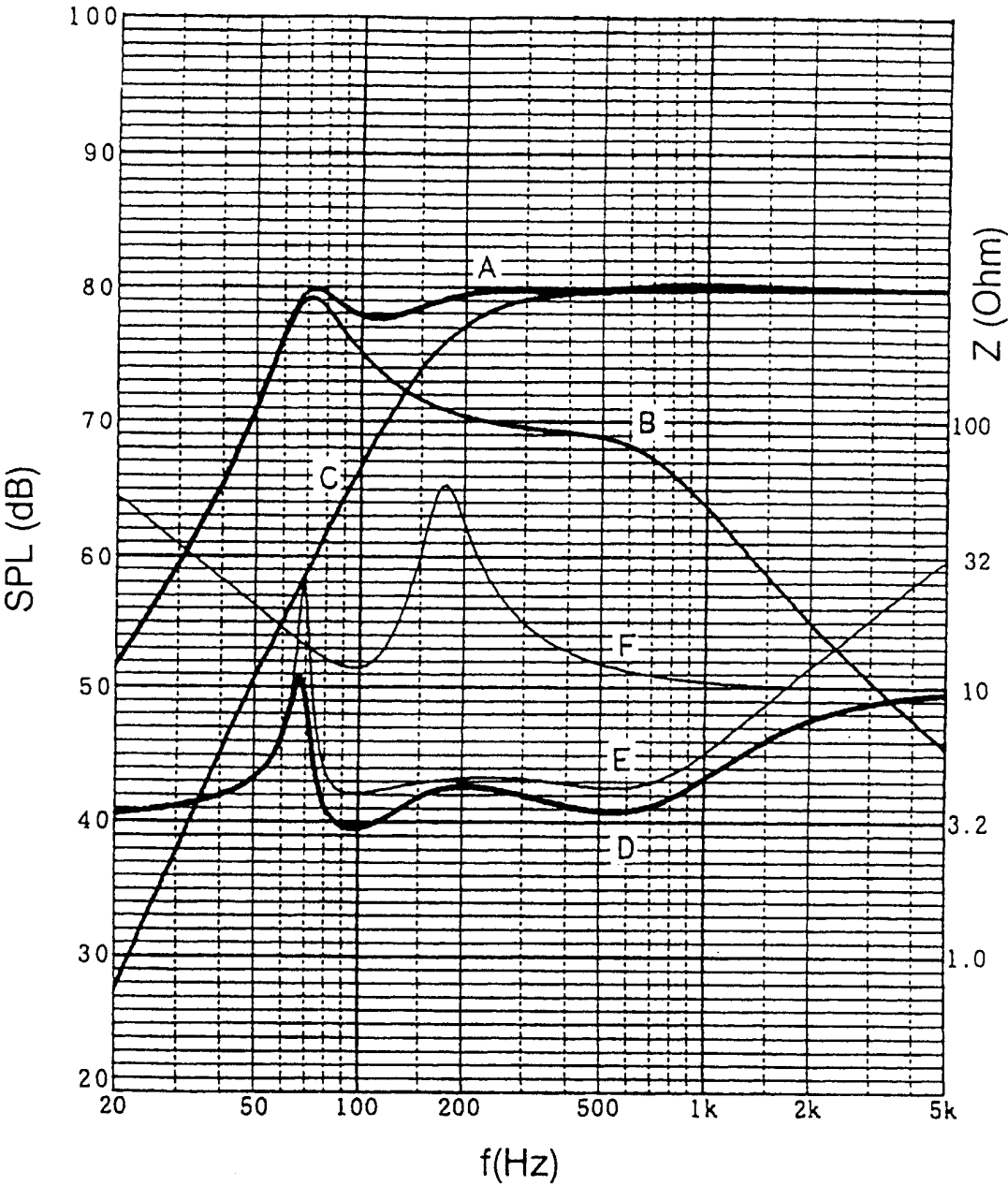


图 8

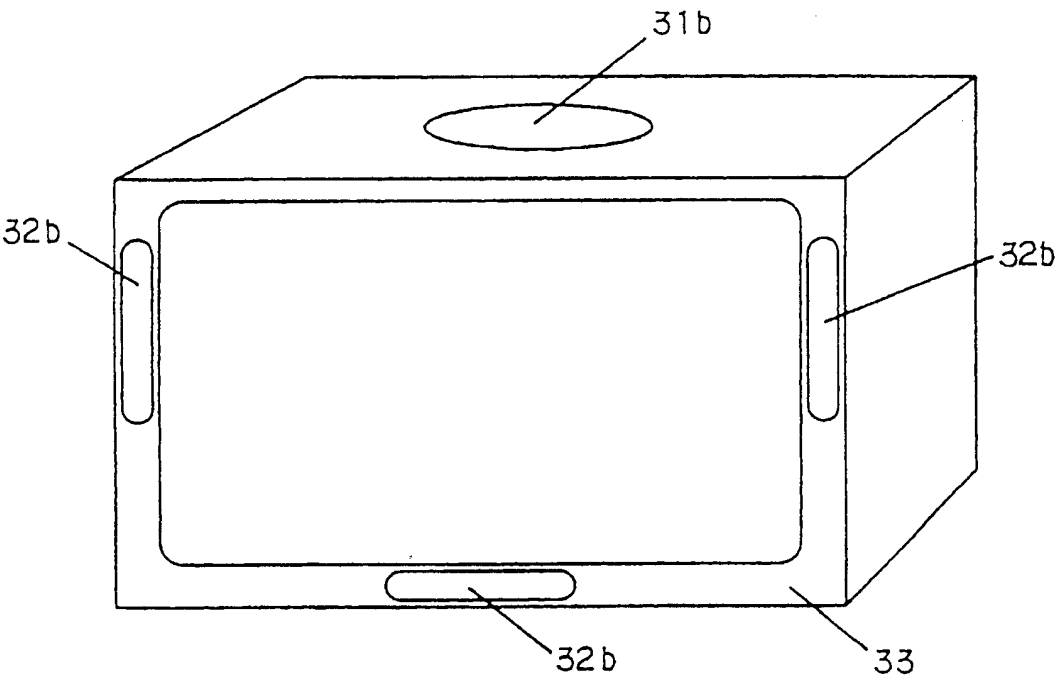


图 9

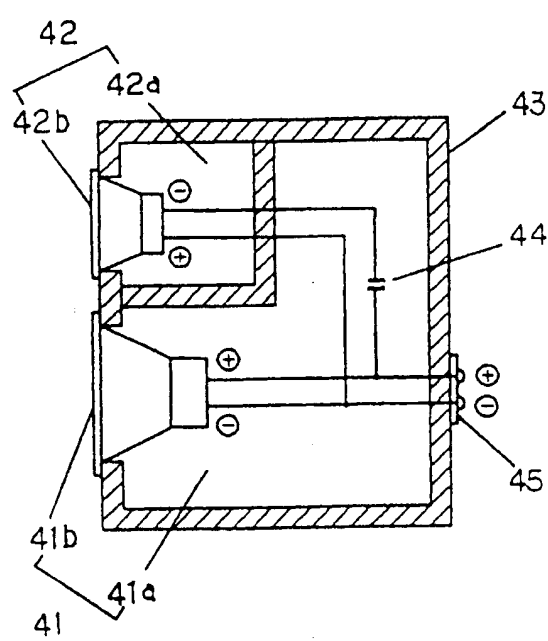


图 10

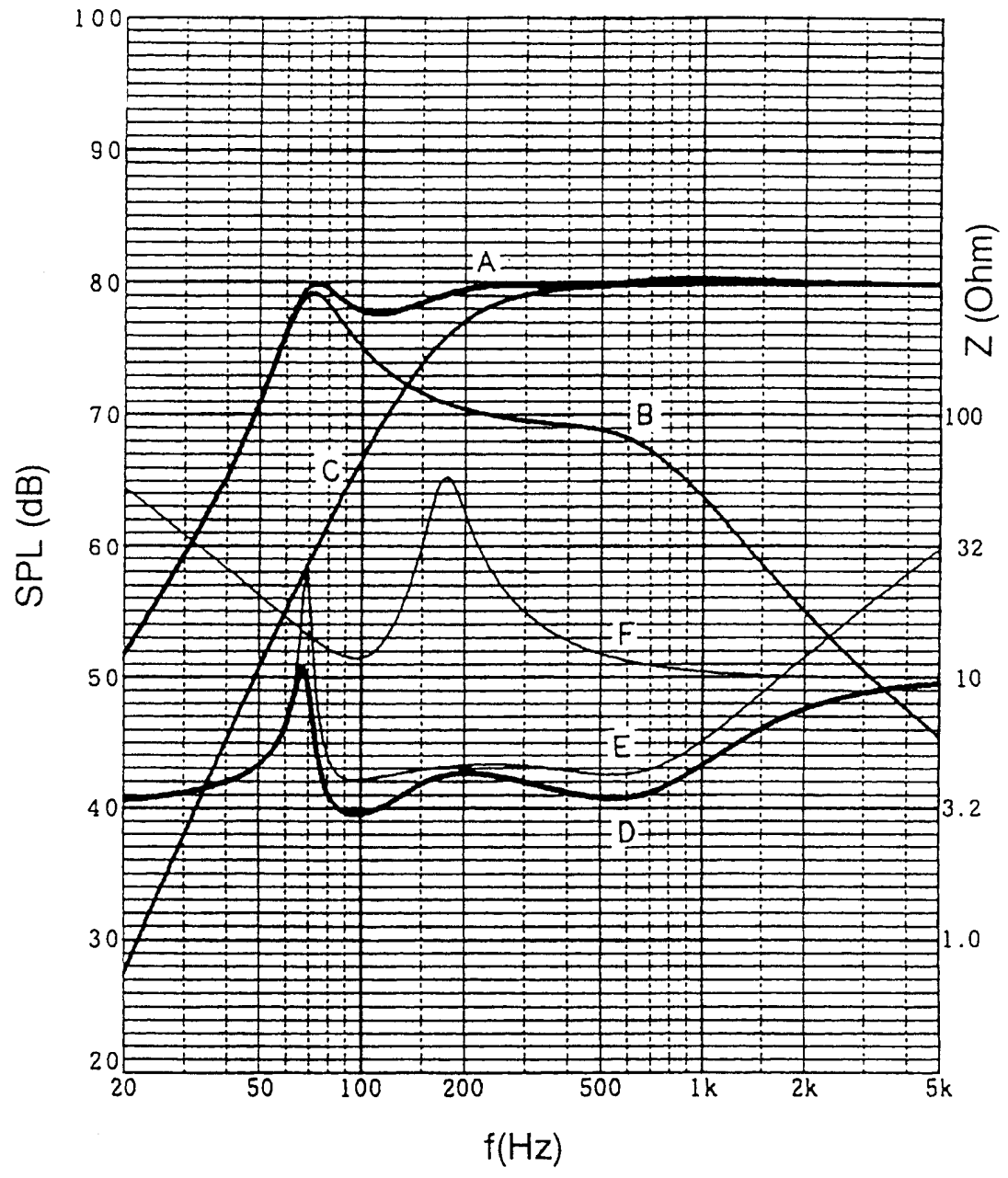


图 11

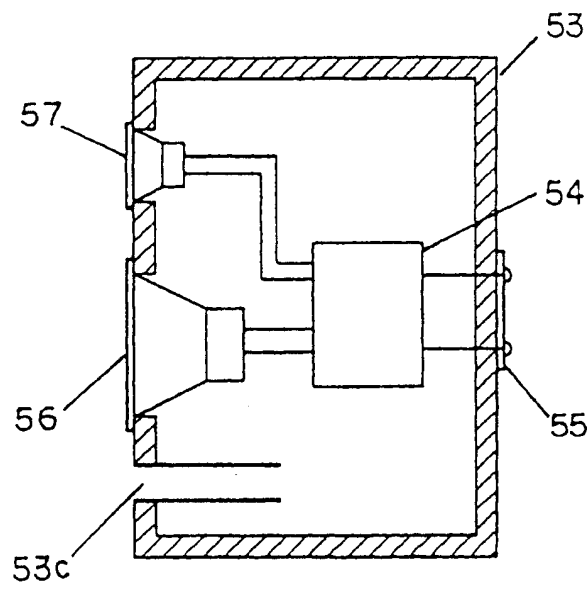


图 12

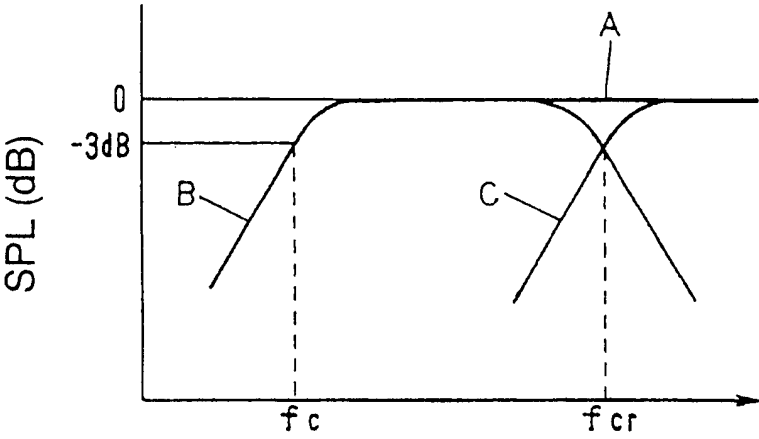


图 13

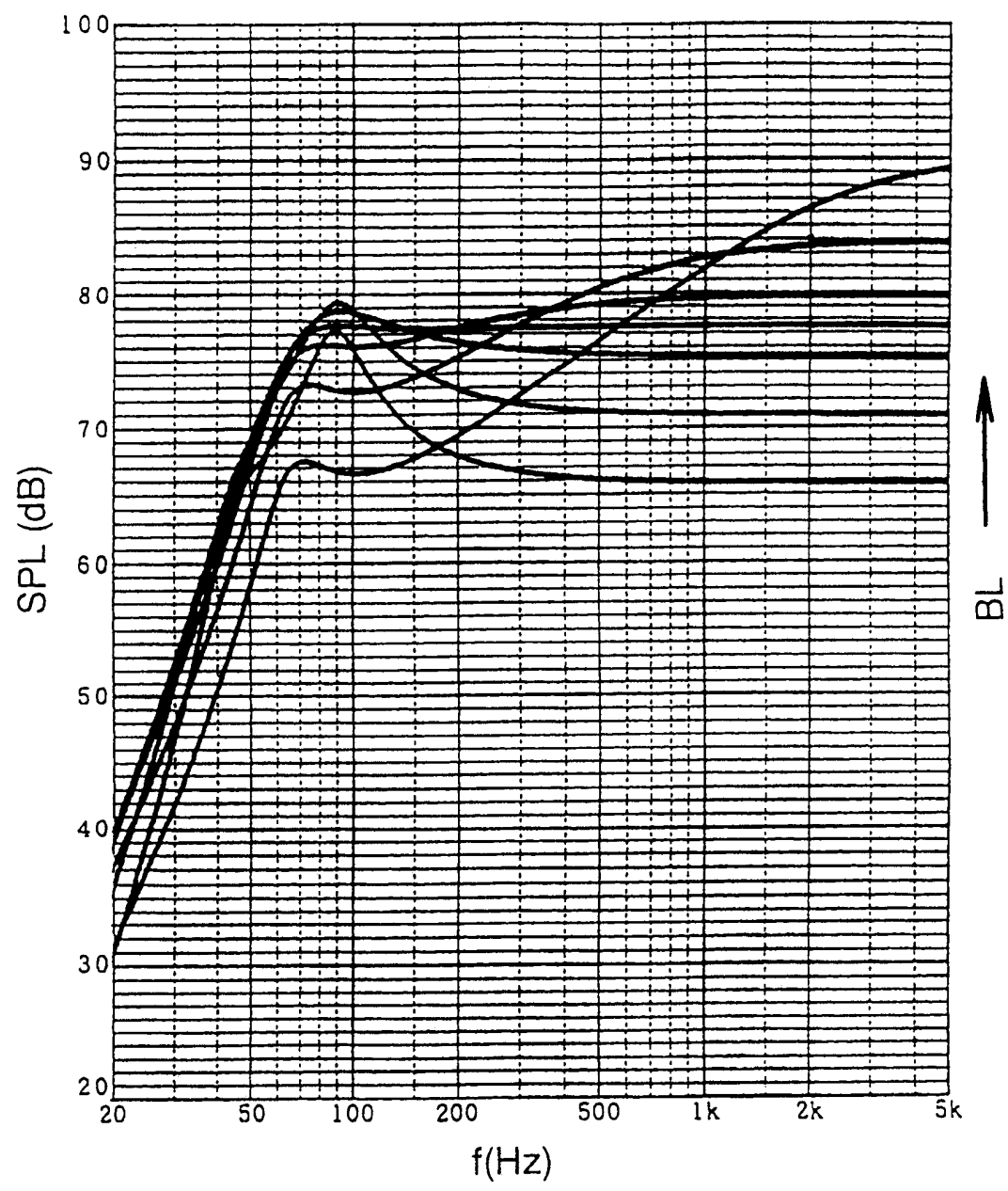


图 14

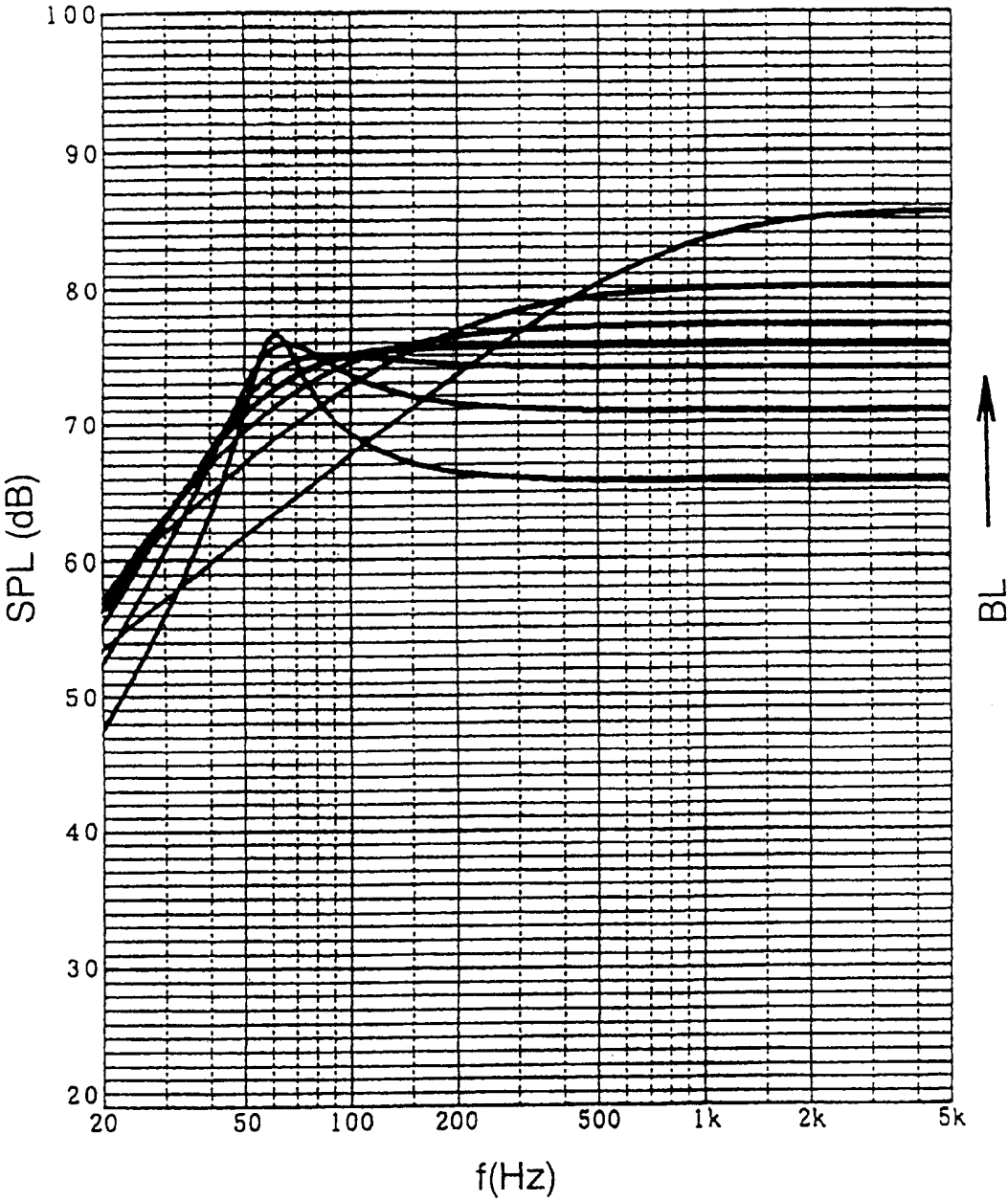


图 15