

有环绕声效果的超低音电路

张国华

(上海声学实验室 200032)

通常,便携式或小型分箱式收录机以及一般组合音响其输出功率有限,在聆听环境中也并非可将音量开得很大。一些比较高档的唱机或激光唱机虽然其低频重放频率可低达30Hz直至20Hz,但一般小型音响重现这些频段信息十分困难,小音量时频带窄,低频成份显著缺乏,声音不出来,必须增大音量才能使音色丰满厚实,突出有力,这是由于人耳本身生理特性所决定的。人耳听觉对声音的强弱变化的主观感觉(即响度)与声压、频率均有密切关系,这种关系即人耳等响度曲线效应,简言之,人耳对3~4kHz的感觉最灵敏,当频率在这频段向两边延伸时,听觉逐渐迟钝。响度水平越低,此迟钝度越显著。“SUPER BASS SYSTEM”即超低音系统已在音响系统中使用,可以弥补这一缺陷。

1 电路原理

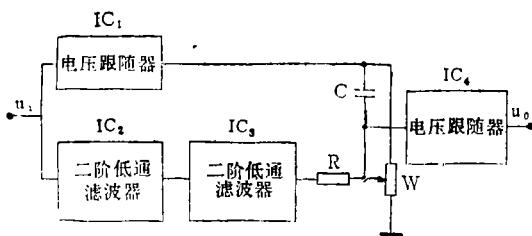


图1 超低音电路原理框图

图1是UBS即超低音电路的电原理框图。它具有等响度控制器的特点,在小音量时使高低音相对中音有一定的提升,使放音符合人耳听声的等响度曲线特点,但电路又明显优于以前流行的各种等响度控制器,还具有提升量及转折频率点可以设定的特点,并且在任何电路中可以插入使用,以增加高低音效果,尤其是低音。输入信号 u_i 经电压跟随器 IC_1 送至音量电位器 W 处,这里 IC_1 的输出阻抗极低。 IC_2 、 IC_3 各为二阶低通滤波器,其中 IC_3 具有20dB的增益,低通滤波器的转折频率为 f_L ,具有每倍频程24dB的衰减率,因此 u_i 信号中低于 f_L 的被放大,高于 f_L 的被衰减,放大后的低频信号经 R 加到 W 的中心触点上,当触点移动时,低音提

升量就能改变。若 W 的触点移至如图2位置,即 $W_{下} = \frac{1}{3}W$ 的小音量状态时,取 $W_{下} = R$,则输出信号电压经 R 与 $W_{下}$ 的分压,输出端获得较大的被放大后的低频信号。而 W 触点移至最大(即 $W_{上} = 0$)时,由于 IC_1 的极低输出阻抗,而使经过 R 的低频信号几乎对地短路,于是UBS电路不起作用。

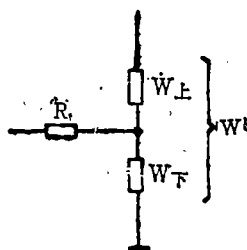


图2 小音量状态

由此可见,当 W 触点从“地”端慢慢上移时,放大的低频信号逐渐由大降到小,直至为零,即小音量时低频信号强,大音量时则弱,其输出特性十分接近等响度曲线。

2 实际电路

2.1 使用运算放大器的超低音电路

用高速低噪音运放与高频低噪超 β 管均可制作超低音电路,图3是用运放制作的电路。UBS电路首先要确定低音提升量,这与滤波器的增益有关,一般不超过20dB。其次则决定 R 与 W 的比值, R 值小固然低音提升量大,但太小时容易发生中大音量时超低音电路也起作用,使得效果与等响度曲线偏离过远。一般以 $R = \frac{1}{3}W$ 最为合适。另外电容 C 的接入使高音亦有所提升,其原理不难理解,经过低通滤波器被送到输出端的高频信号电压甚低,而高频信号可以经 IC_1 输出直接通过 C 到输出端,频率越高, C 的容抗越小,信号就相对大些。此 C 值选取与 W 有关,一般 W 为100K时, $C = 510P$, W 越小, C 越大,成反比关系,即 W 分别为47K与22K时, C 为1000P或2000P。本电路的转折频率点一般可在75~125Hz中选取,视自己音响的低频单

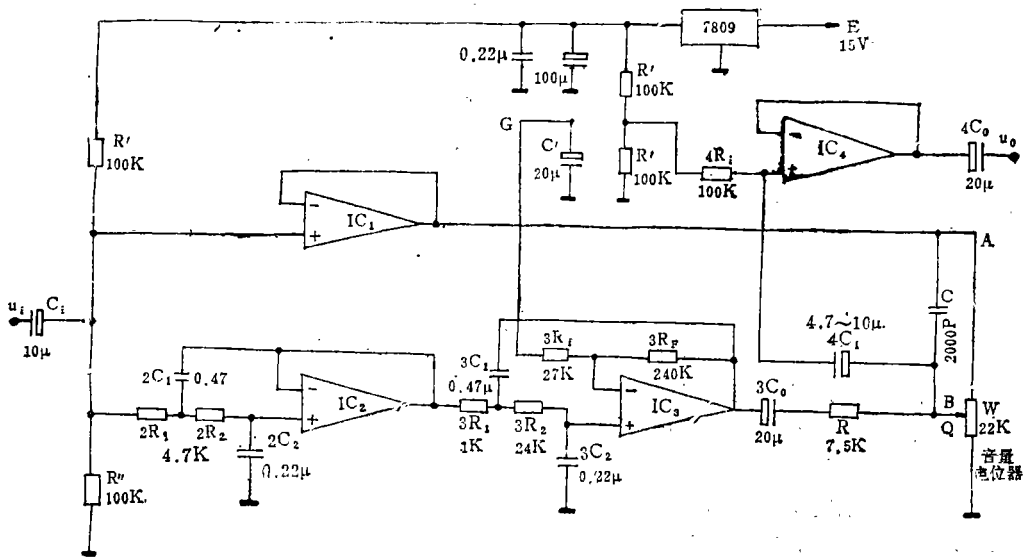


图3 使用运放的超低音电路

元优劣而异。由于本电路具有两级二阶低通滤波器，当选定一个转折频率 f_L 后，根据滤波器定义可知：转折频率点处的增益比通带内下降3dB。那么两级滤波器若都以 f_L 作为转折频率，势必在 f_L 频率点处增益要比通带内下跌6dB，真正的3dB点必然比 f_L 降低，达不到设计要求，故应取 f_L 点处比通带内增益下降1.5dB，那么两级共下降3dB，据二阶低通滤波器（阻尼系数为 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 时）的幅频特性 $K(f)$

$$= \frac{K}{\sqrt{1 + (\frac{f}{f_L})^4}}$$

取 $K(f) = -1.5\text{dB}$ ，可算出

$f = 0.8f_L$ 。所以在电路设计时，若取系统的 $f_L = 80\text{Hz}$ ，则计算时每级的 f'_L 应为100Hz处下降3dB，使80Hz处只跌1.5dB即可（即取频率 $f'_L = 1.25f_L$ ）。

下面给出一个 $f_L = 80\text{Hz}$ 的两级二阶低通滤波器的计算方法。在图3中的第一级二阶低通滤波器（ IC_2 ）中， C_1 按表1所给数据选取，因为电容的系列值比电阻少，所以先取电容。并取 $C_2 = \frac{1}{2}C_1$ ，

取 $R_1 = R_2 = \frac{1}{\sqrt{2}\pi f'_L C_1}$ ，（这里 $f'_L = 1.25f_L$ 要注意）。

表1 电容值初选表

f (Hz)	C
10~100	1~0.1μ
100~1K	0.1~0.01μ
1K~10K	0.01μ~1000p
10K~100K	1000p~100p

注：此表也可用于其他各种滤波器初选电容时使用

于是选 $C_1 = 0.47\mu$ $C_2 = 0.22\mu$ 用CBB型电容， $R_1 = R_2 = 4.7\text{K}$ ，用RJ电阻，经检验

$$f'_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} = 105\text{Hz}$$

基本符合要求。

在第二级低通滤波器（ IC_3 ）中，增益 $K = 20\text{dB}$ ，算得 $R_f = 240\text{K}$ ， $R_f = 27\text{K}$ ， $R_1 = 1\text{K}$ ， $R_2 = 24\text{K}$ 。

由于一般收录机都使用单电源供电，所以运放的同相或反相端必须接电源电压的中点即 $\frac{1}{2}E$ 处，

运放才能正常工作,图3中 R'' 与 R' 均为为运放提供中点电压的, C' 的接入则为运放提供交流接地。假如超低音电路由双电源供电,则 R' 与 C' 全部去除, G 点处必须接地, R'' 则要保留。运放要选用高速低噪的LF353、LF356等,用NE5532、NE5534更好,TL084、TL072也可以,但用LM324则逊色多了。

最好用三端稳压器直接为整个电路供电,使本电路不受机内共用电源的影响。

若能用有源伺服电路,则电源的效果胜过蓄电池,这是装在组合音响中超低音电路的供电方法的最好选择。

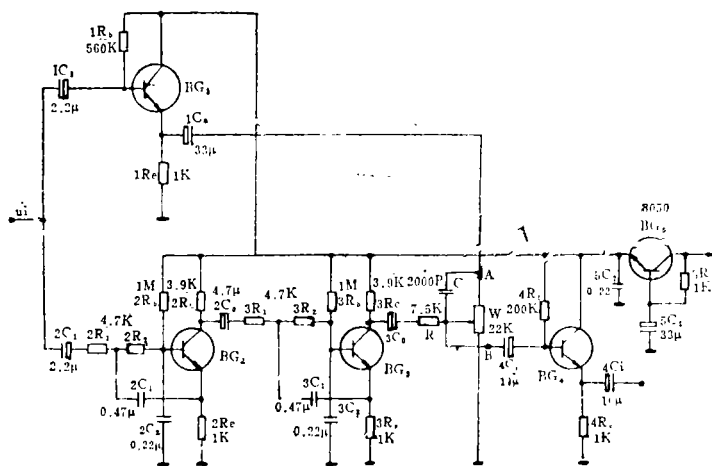


图4 晶体管超低音电路

BG_4 的 β 宜大于100, BG_5 为电子滤波器, β 宜高。

若将分立元件制作的超低音电路用于“随身听”中,由于机内体积小,则可将 BG_4 与其外围元件去除,电子滤波器也不用,在B处直接输出,另外,为使电容体积缩小,滤波网络中将电容值缩为原取值的1/10,而电阻值加大至原值的10倍。

要注意有些“随身听”所使用的集成电路如:AN7108、BA3506、TA8119、CX8008P、CX \bar{A} 1034与CX1005等,其音量电位器并非控制音频电压的分压比,而是以V/I转换形式控制IC内电路,从而达到双声道音量控制的目的,它们使用的是单连电位器,不能加装超低音电路。

2.3 电子环绕声电路的制作

一般的环绕声放音系统,除了正面用两个扬声器声学技术

2.2 使用晶体管分立元件的超低音电路

图4是用晶体管分立元件制作的超低音电路,滤波器的设计取值与用运放制作的一样,晶体管除 BG_4 、 BG_5 外都要使用低噪高频超 β 管,可供选择的型号有2SC458、BC239、2SC1571、2SC1222、LM9014、3DG239C、2G212、2G213等小电流时 $\beta > 500$ 的管子。图中 BG_1 、 BG_4 为射极跟随器,同样, BG_1 为低阻抗输出,使W的触点在向上移时,达到R上的信号有对地短路的设计要求, BG_2 、 BG_3 分别与阻容元件组成二阶低通滤波器,每级有10dB的增益,滤波器的阻容网络数值与图3的一样,这是因为晶体管 β 极大,使其对网络的影响可以忽略。

器放声外,还需要加两个装于后方的环绕声专用音箱 高频信号需要加工处理,比较复杂。

如果对放声信号的相位进行处理后,即可省略复杂的音频处理手段与添加两个音箱的麻烦。

原理是:在音响电路的前置级与功放部分之间插入两个电压跟随器,将左声道输出的一部分信号反馈到右声道的反相输入端,右声道的一部分亦如此反馈到左声道,如此两声道的同相信号削弱,反相信号增强,于是右声道输出中有了左声道的反相信号,左声道中也有右边的反相信号,那么在听觉中会有左声道回声向右后方扩展,右声道回声向左后方扩展的感觉,即声场环绕现象的奇妙效果。

由于超低音电路必须插入低放与功放之间使用,且电路中有电压跟随器,使环绕声的实现变得

简单，只须在两个声道的电压跟随器中添上三只电阻，即可实现上述声环绕现象，见图 5， $R_{H1} \sim R_{H3}$ 即所添之电阻。

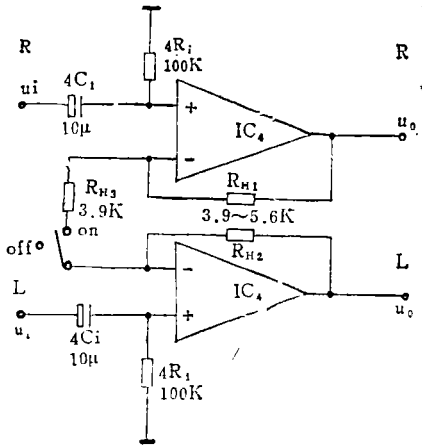


图 5 电子环绕声电路

图 6 给出了带环绕声的超低音电路在上海牌 L970 机中插入点，供读者使用时参考。

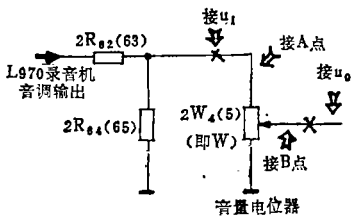


图 6

由于对 L970 进行了摩机，再插入本电路，该机的音响效果立即变佳。

2.4 注意事项

滤波网络的电容应选取介质损耗小的电容如聚苯乙烯 (CB 型)，聚四氟乙烯 (CF 型)、玻璃釉 (CI 型) 等，输入输出电容用钽铌 (CN 型) 电解电容，滤波电容用高频性能好的 CD-11B 电解，电阻选用金属膜 RJ14 等，集成电路用高速低噪的。

对于用分立元件装置的超低音电路，除了元件按上述要求外，最好为左右声道的对应晶体管作好 β 配对，使之放大低音提升量相同，滤波网络电阻电容亦测试一下，误差宜小为佳，这样可使左右声道的性能一致性好些，各管工作点宜调至输出端对地约 $1/2$ 电源电压为好。

欲装立体声放音机内的超低音电路则宜尽可能缩小体积为原则，元器件皆选体积小。

另外，可用立体声收录机中的差拍消除开关用作环绕声选择开关，只要将机内接线断开，互相绝缘后扎好，此开关按图 5 改接就行。

3 关于超低音电路集成化或薄膜化的设想

由于超低音电路对中低档音响的放声效果有“升级”作用，故建议有识之电子厂家生产这种集成电路。相信，这种新颖集成电路定会大有潜在市场，除了电容可外接以外，其余皆可集成在电路内，也可以将一些关键元件以薄膜形式制成一块，转折频率的改变仅取决于外接电容，所接电源形式以单、双两种形式分别出现，以适用于收录机或组合音响的不同应用场合。笔者愿与有意者合作，为这种新颖集成电路的问世而努力。

(上接 34 页)

但这是超声回声成象主要的信息来源。

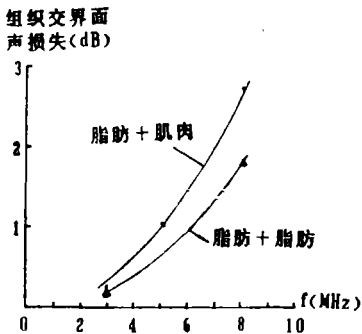


图 3 层组织界面声损失与频率的关系

参考文献

- 1 Mark E.L., et al. IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectric, and frequency control, 1988; 35 (4):511~521;
- 2 Wilson L. S., et al. Ultrasonic Imaging, 1987; 9:236~247;
- 3 Johan M. T. Medical progress through Technology, 1987; 13:29~46;
- 4 Bamber J.C., et al. Ultrasound in Med & Biol., 1981; 7:121~133.