

# 图示均衡器的设计考虑

国营八三四厂 聂 飞

**摘要:** 本文探讨了图示均衡器的作用, 从回转器理论出发扼要地介绍了由分立元器件和集成运算放大器构成的图示均衡器, 着重分析了用专用集成电路构成的新颖的图示均衡器

电子技术的发展, 使得愈来愈多的专业音响技术应用于家电消费品收录机上。多频补偿技术作为当代盒式收录音机的五大先进技术之一, 以图示均衡器(graphic equalizer)的形式在中高档收录机、扩音机中得到推广普及。

在收录机中图示均衡器(或称多频音调控制器)通常接在前置均衡放大器与功率放大器之间。

以往在图示均衡器的位置是接高低音调控制器, 其电路实际上由一个带通滤波器和一个带阻滤波器组合而成的。它存在缺点: (1) 不能在整个音频范围内对多频率进行需要的修饰加工, 仅是以某参考点(一般为1 kHz)对高、低音频进行调节。(2) 降低了整机信噪比的指标。因高低音调控制器不仅对整机频响以内的频率进行了提升, 而且对整机频响外的频率也提升了。

图示均衡器能够根据不同的声学特性以及不同听者的听感要求修饰音色。它与高低音调控制器相比有突出的优点: (1) 提高音质。能够在整个音频范围内分段调节能机的频率特性, 以改善不同节目源的还原效果。(2) 改善信噪比。如盒式磁带经过反复拷贝之后, 噪声大为增加, 放音时明显听到“啞啞”声, 使用图示均衡器衰减10 kHz频率, 即可减轻这种噪声。(3) 弥补听音环境的声学缺陷。放音时声波会在房间内多次反射, 由于各人房间内家俱的摆设不同, 会使不同频率的声波形成驻波。形成驻波的声音在房间内的某些点上出现峰点或谷点, 峰点处声压增高, 谷点处声压降低, 破坏了房间内音响效果的均匀性。驻波频率一般在100~300 Hz之间。这种由于驻波而引起的声波峰、谷点, 使用高低音调控制器是无法补救的, 图示均衡器则可以弥补这种欠缺, 尽可能减少驻波, 使听音效果达到最佳。

图1是图示均衡器的控制特性曲线(图中为五段频率补偿)。由图可见图示均衡器是将音频频带分割为若干个频段, 然后对各个频段分别进行电平提升或衰减的频响校正装置。实质上为一种具有谐振特性的带通滤波器。它由多个不同谐振频率(或称中心频率)的谐振式带通滤波电路组合而成。

众所周知: 一个电感和一个电容就可以组成串联或并联谐振电路。但是电感和电容均能使信号产生相位失真, 而且电

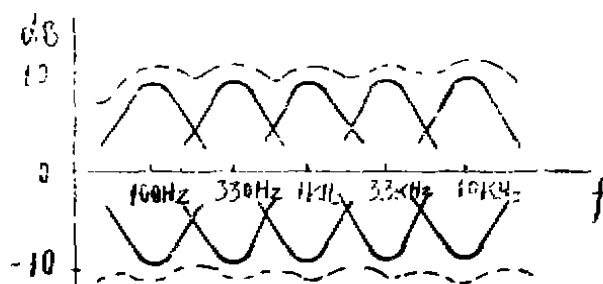


图1 图示均衡器的控制特性曲线

感、电容对信号的瞬态响应也不佳。当电感量要求较大时,线圈的体积就很大,为减小体积给线圈加铁芯又容易在大信号时产生磁饱和,导致动态范围变小,谐波失真增大,并且容易拾取外界电磁场干扰,降低信噪比。因此,设计图示均衡器时,应尽量避免使用电感元件,采用模拟电感(Simulated Inductors)。模拟电感的导出要涉及回转器(Gyrator)的概念。

回转器的概念于1948年由特勒根(Tellegan)提出,他认为这是除了R、L、C和变量器以外的第五个理想元件。但直到六十年代才由休斯曼(Huelsman)、谢诺依(Shenoi)等人用运算放大器、晶体管电路来实现。回转器的一个重要的性质就是可以把电容元件“回转”成电感元件。因此,可用回转器和电容组成模拟电感来代替图示均衡器中所需的电感。近年来,图示均衡器正是基于此思想发展。

回转器的符号如图2所示,由文献[2]知理想回转器的电流、电压关系应满足下列方程,

$$i_1 = G_0 U_2 \quad i_2 = -G_0 U_1$$

式中 $G_0$ 为回转电导。

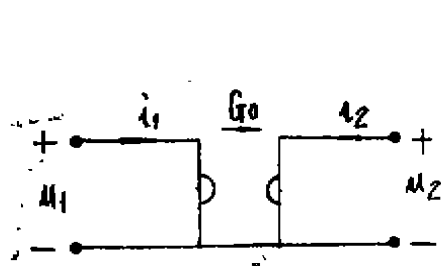


图2 回转器的符号

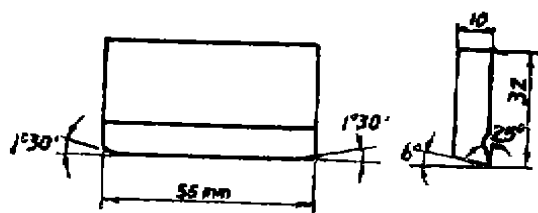


图3 理想回转器模型

理想回转器可用图3所示的模型表示。如把电容C与回转器的一对端钮相接,则另一端钮的输入阻抗应为:

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{-\frac{1}{G_0} I_2}{G_0 U_2} = -\frac{1}{G_0^2} \cdot \frac{I_2}{U_2}$$

由于 $\frac{U_2}{I_2} = -Z_C = -j \frac{1}{\omega C}$ , 故得

$$\frac{U_1}{I_1} = \frac{1}{G_0^2} j \omega C = j \omega \frac{C}{G_0^2} = j \omega L$$

上式表明:从另一个端钮来看,整个电路相当于一个电感,其值为

$$L = C / G_0^2$$

例如:若 $G_0 = 1 \text{ ms}$ ,  $C = 1 \mu\text{F}$ 则

$$L = 1 \times 10^{-6} / (1 \times 10^{-3})^2 = 1 \text{ H}$$

式中回转器电导的单位为西门子S, mS为毫西门子。

用回转器和电容器可以组成模拟电感,它可用电子管、场效应管、晶体管(单个或多个)

或集成运算放大器(单个或多个)来实现。以下就对常用单个晶体管和单个运算放大器实现模拟电感,从而构成的两种类型图示均衡器加以分析。

图4为TOSHIBA公司RT-SX85收录机的图示均衡器(只画100Hz控制部分),全部采用分立元器件,用晶体管实现模拟电感。

晶体管 $Q_{301}$ 为补偿放大器,晶体管 $Q_{303}$ 构成模拟电感,现将它等效成图5所示。

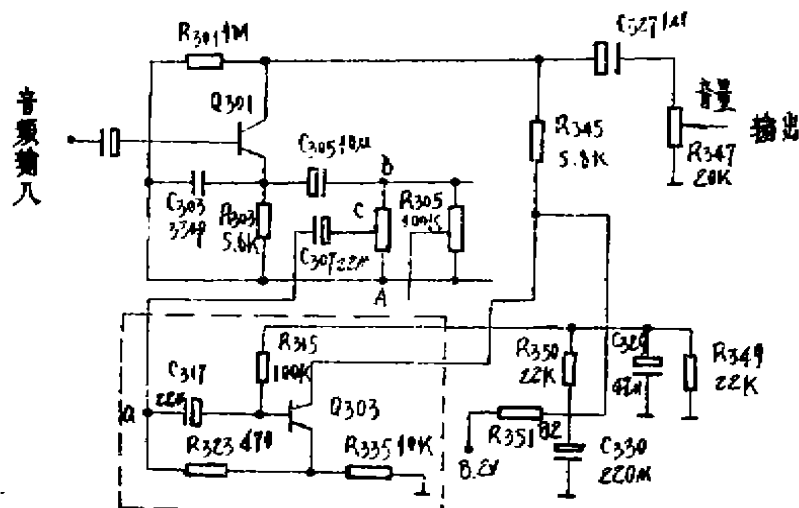


图4 TOSHIBA公司的RT-SX85收录机的图示均衡器

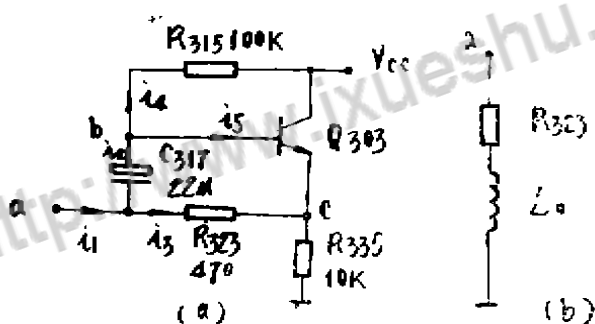


图5 等效图

按图5(a)列出下列方程:

$$U_a - U_b = i_2 Z_1$$

$$U_a - U_c = i_3 R_{323}$$

$$U_b = U_c \text{ (射极跟随器特性)}$$

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad i_2 = i_4 + i_5$$

$$i_4 = \frac{U_b}{R_{315}}$$

$$i_5 = \frac{U_b}{\beta R_{315}} \text{ (晶体管的输入阻}$$

抗可近似为 $\beta R_{315}$ )

由此解出a端的输入阻抗 $Z_{in}$ 为

$$Z_{in} = \frac{U_a}{i_1} = \frac{(\beta R_{315} R_{323} + R_{315} Z_1 + \beta R_{315} Z_1) R_{323}}{(\beta R_{315} + R_{315})(R_{323} + Z_1)}$$

$$\text{因为 } f = 100 \text{ Hz 时, } |Z_1| = \left| j \frac{1}{\omega C_{317}} \right| \gg R_{323}, \beta R_{315} \gg R_{315}$$

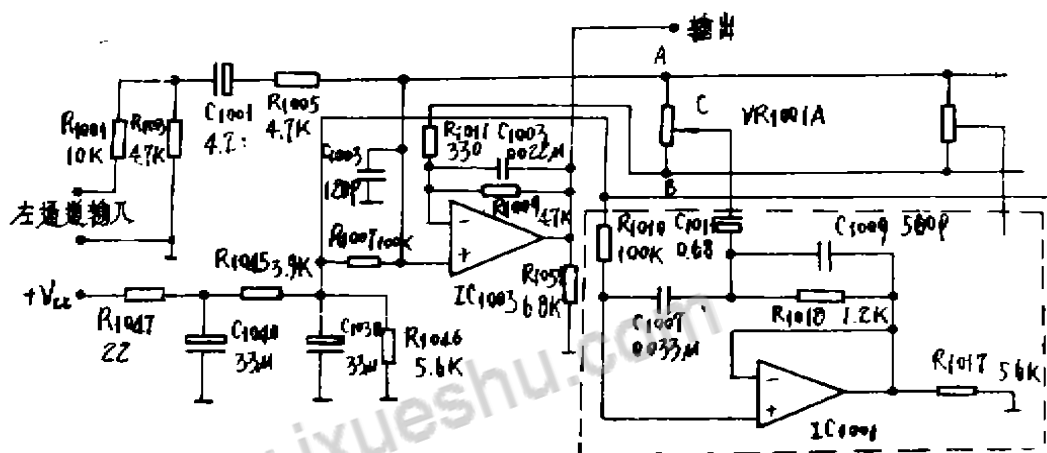
$$\text{所以 } \dot{Z}_{10} = R_{s23} + \frac{R_{s23} \cdot R_{s15}}{\dot{Z}_1} = R_{s23} + j\omega C_{s17} R_{s23} R_{s15}$$

上式说明图5(a)电路的阻抗相当于一个电阻值为 $R_{s23}$ ，电感量为 $L_0 = C_{s17} R_{s23} R_{s15}$ 的模拟电感器，如图5(b)所示。

因此，在图4中当电位器 $R_{s05}$ 的动臂C滑向B点时，晶体管 $Q_{s01}$ 射极对频率为100Hz信号的负反馈最小，此时为最大提升；当C滑向A点时，频率为100Hz输入信号被最大限度对地分流，此时为最大衰减。

这种分立元件的图示均衡器的优点是成本低，缺点是对晶体管的一致性要求较高，且可靠性较差。

图6为SHARP牌GF-700Z收录机的图示均衡器(仅画出100Hz控制部分)，使用了三块运算放大器集成块(型号为LA6323)和一些外围的阻容元件，其中用运算放大器实现模拟电感。



按图7(a)列方程如下

$$\frac{\dot{U}_s - \dot{U}_b}{Z_2} = \frac{\dot{U}_s - \dot{U}_b}{R_1 // Z_3} = I, \quad \frac{\dot{U}_b}{R_2} - \frac{\dot{U}_b - \dot{U}_a}{Z_3} = 0$$

在音频范围内  $Z_3 = \frac{1}{j\omega C_3} \gg R_1$ ,  $Z_3 = \frac{1}{j\omega C_3} \ll R_2$  可得

$$Z_3 = \frac{\dot{U}_a}{I} = R_1 + j\omega R_1 R_2 C_3$$

即  $L = R_1 R_2 C_3$

因此图6中, 当电位器VR1001A的动臂C滑向B点时, 放大器IC1003对100Hz输入信号的串联谐振阻抗最小, 于是电路负反馈量减少, 输出增大, 为提升位; 当C滑向A点时, 谐振阻抗最小, 100Hz输入信号被旁路, 输出减少, 为衰减位。

集成运算放大器构成的图示均衡器优点为: 稳定性和一致性较好。缺点是成本太高。

以上两种形式的图示均衡器优缺点是相互对立的, 专用集成电路的出现使得两者得到了和谐的统一。近年来国内外厂家推出了为图示均衡器专用的集成块, 使图示均衡器的成本下降, 电路形式简便。

TA7796为TOSHIBA公司生产的一款新颖的图示均衡器专用集成块。图8为其使用原理图, 图中A<sub>1</sub>为缓冲放大器, 用来补偿图示均衡器插入前置均衡器与功率放大器之间后, 对

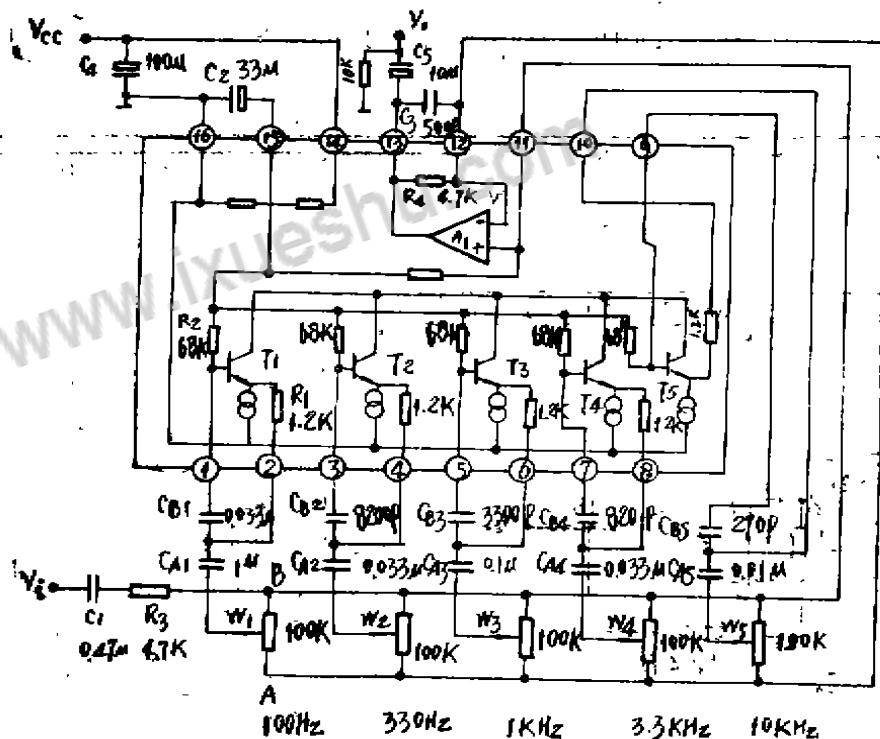
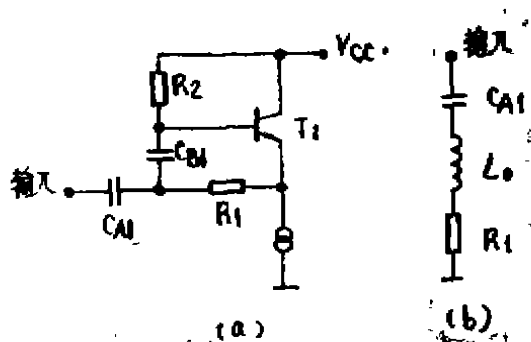


图8 一款新颖的图示均衡器专用集成块使用原理图

信号造成的损失。T<sub>1</sub>~T<sub>5</sub>五个晶体管及有关元件构成五个模拟电感, 这五个模拟电感分



别与 $C_{A1} \sim C_{A5}$ 五个电容构成五个串联谐振网络, 谐振频率各为100Hz、330Hz、1kHz、3.3kHz、10kHz。每组谐振电路等效于LC串联谐振网络如图9所示(图中仅以100Hz谐振电路为例)。

图9(a)具有图5(a)相同的电路形式, 故图9(b)中的电感量为 $L_0 = R_1 R_2 C_{B1}$ 。因此,

图9 谐振电路等效于LC串联谐振网络图等效阻抗为

$$Z_0 = R_1 + j \left( \omega R_1 R_2 C_{B1} - \frac{1}{\omega C_{A1}} \right) \quad (1)$$

$$\text{谐振频率为 } f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_{A1} C_{B1} R_1 R_2}} \quad (2)$$

$$\text{品质因素为 } Q = \sqrt{R_2 C_{B1} / C_{A1} R_1} \quad (3)$$

对图8中由晶体管 $T_1$ 及有关元件构成的串联谐振网络的谐振频率及品质因素可计算出来, 结果如下:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_{A1} C_{B1} R_1 R_2}} = \frac{1}{2 \times 3.14 \times \sqrt{0.033 \times 10^{-8} \times 1 \times 10^{-8} \times 1.2 \times 10^{-3} \times 68 \times 10^{-3}}} \\ \approx 100 \text{ Hz}$$

$$Q = \sqrt{\frac{R_2 \cdot C_{B1}}{R_1 \cdot C_{A1}}} = \sqrt{\frac{68 \times 10^{-3} \times 0.033 \times 10^{-8}}{1.2 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-8}}} \approx 1.4$$

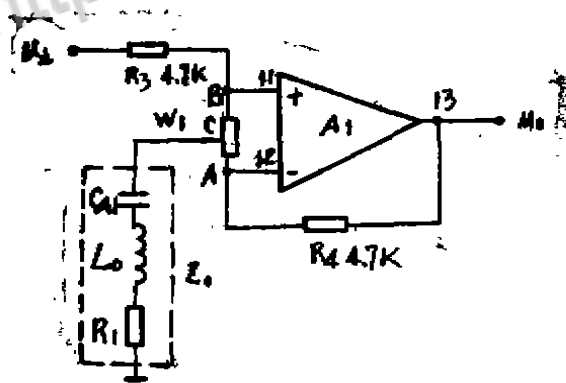


图10 图8的等效图

在(2)和(3)式中,  $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 68 \text{ k}\Omega$ 为TA7796P集成块内部电阻, 可通过改变 $C_{A1}$ 、 $C_{B1}$ ( $i=1, 2, 3, 4, 5$ )的数值来调整每个频段的中心频率 $f_0$ , 通过改变 $C_{A1}$ 、 $C_{B1}$ 的比值来改变每个频段的品质因素 $Q$ 。

为便于分析TA7796P集成块的均衡原理, 仅以100Hz谐振电路为例, 将图8等效为图10所示。图中 $R_3$ 为外接电阻,  $R_1$ 和 $R_4$ 均为集成块内部的电阻,  $W_1$ 为均衡控制电位器, 动臂C到A端电

阻为 $R_A$ ，到B端电阻为 $R_B$ 。则放大器 $A_1$ 的增益 $K_1$ 可由下式描述：

$$K_1 = \frac{U_o}{U_i} = \frac{(R_4 + R_A + Z_o)(R_B + Z_o)}{(R_A + Z_o)(R_B + R_B + Z_o)}$$

当电位器 $W_1$ 的动臂C在中间位置时， $R_A = R_B$ ，而 $R_3 = R_4 = 4.7k\Omega$ ，故 $K_1 = 1$ 即 $20\lg k_1 = 0\text{dB}$ 。因此放大器 $A_1$ 的增益具有平坦的输出特性曲线，且在整个频段内基本上不随频率变化而受影响。

当电位器 $W_1$ 的动臂C在A端时， $R_A = 0$ ， $R_3 \ll R_B$ ，故 $K_1 = \frac{R_4 + Z_o}{Z_o}$ 。对于谐振频率 $f_o$ 时， $Z_o = R_1$ ，放大器 $A_1$ 的增益 $K_1 = \frac{R_4 + R_1}{R_1} > 1$ ，即输入信号频率 $f_i$ 与谐振频率 $f_o$ 相等时，输出信号被提升了，提升量为 $20\lg\left(\frac{R_4 + R_1}{R_1}\right) = 13.8\text{dB}$ 。在输入信号频率 $f_i$ 远离谐振频率 $f_o$ 时， $Z_o \gg R_1$ ，则放大器 $A_1$ 增益 $K_1 = \frac{R_4 + Z_o}{Z_o} \approx 1$ ，即输出信号与输入信号基本一样。

当电位器 $W_1$ 的动臂C在B端时， $R_A = 0$ ， $R_4 \ll R_B$ ，故 $K_1 = \frac{Z_o}{R_3 + Z_o}$ 。对于谐振频率 $f_o$ ， $Z_o = R_1$ ，放大器 $A_1$ 的增益 $K_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_3} < 1$ ，即输入信号 $f_i$ 与谐振频率 $f_o$ 相等时，输出信号被衰减了，衰减量为 $20\lg\left(\frac{R_1}{R_1 + R_3}\right) = -13.8\text{dB}$ 。在输入信号频率 $f_i$ 远离谐振频率 $f_o$ 时， $Z_o \gg R_3$ ，则放大器 $A_1$ 增益 $K_1 = \frac{Z_o}{Z_o + R_3} \approx 1$ ，即输出信号与输入信号基本一样。

图11 是用TA7796P组成的五段图示均衡器的控制特性曲线。

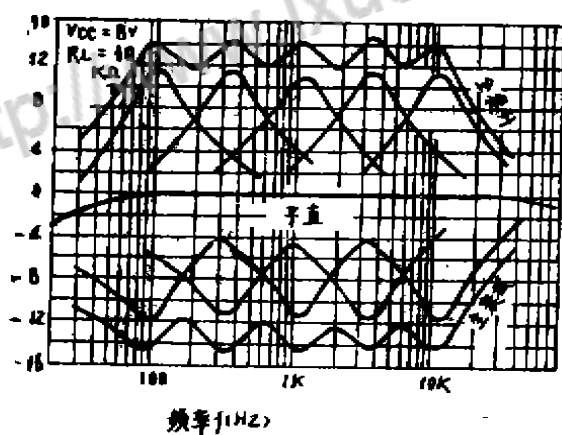


图11 用TA7796P组成的五段图示均衡器的控制特性曲线

TA7796P集成电路通过外接由晶体管或运放实现的模拟电感及有关阻容器件构成的谐振网络，可扩展成为多于五段频率的图示均衡器。图12为用晶体管实现模拟电感扩展成十段频

率的图示均衡器。SHARP牌GF—800Z收录机的图示均衡器即采用图12的形式，使用的集成块为可直接同TA7796P互换的M5226P。

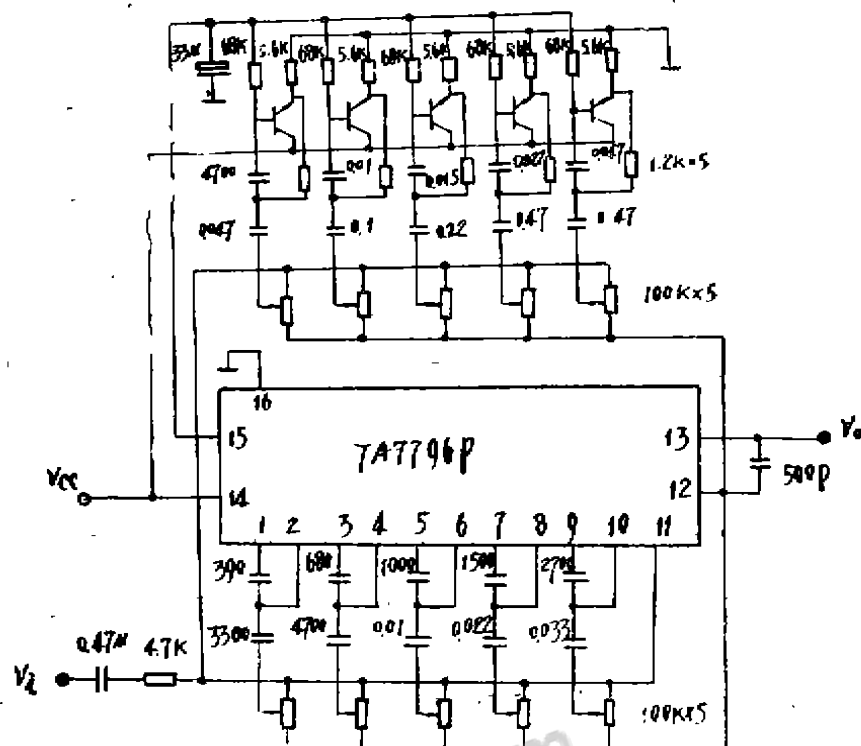


图12 用晶体管实现模拟电感扩展成十段频率的图示均衡器

图12中所用晶体管的 $\beta$ 值应大于250，每段的谐振频率点或称均衡点分别为：16kHz、10kHz、5.5kHz、3.1kHz、1.8kHz、1kHz、550Hz、310Hz、180Hz、100Hz。在重新设置均衡点时要注意：各均衡点的取值应为倍频关系，以保持各频率均衡曲线的中心频率到某一频率处的衰减量一致，谐振网络的品质因素Q取值应在1~3范围内，若Q值取得太高，会使控制特性曲线起伏太大，部分频段还无法覆盖，反之，各均衡频率点之间牵引较大。

国内外与TA7796P相类似的五段图示均衡器专用集成块有：D7796P、TA7796Z、LA3600、M5226P及BA3812L等。其中D7796P、LA3600、M5226P与TA7796P都为16脚双列直插结构，且引出脚功能完全相同，可直接互换，但外围阻容元件的数值需按推荐值作适当变化。TA7796Z为单列16条引线封装，BA3812L为18条引线封装，不能与TA7796P直接互换。

通过以上的讨论，可了解到图示均衡器的三种电路构造形式及其优、缺点。因此在设计收录机的电路时，可根据对整机的功能价格比、可靠性指标等要求，选择适宜的图示均衡器电路，追求好的均衡控制特性，以获得最佳的音质修饰加工能力。

(下转第6页)



$$m = 0.47 \times 0.4 = 0.188$$

即在加工R、F小齿轮时,刀具应由其标准位置离开轮坯中心向外移出0.188距离。

同理,在加工放音齿轮时,刀具应由其标准位置向轮坯中心进0.188距离。

#### 4. R、F大齿轮齿形修正问题

R、F大齿轮在快进时与过桥轮I啮合,倒带时与供带齿轮啮合,实现磁带的快卷。但按下快进或倒带键时,有时发生相应啮合的两齿轮卡死的现象。该现象在TN-21机芯快倒键按下时也有发生。笔者经综合分析,采用了修正R、F大齿轮齿形的方法,即将该齿轮齿形修瘦,齿顶高部分的渐开线用一段曲率半径较大的圆弧替代,使齿变尖。经实际使用,效果明显,根除了快进倒齿轮卡死的现象。这样做虽然降低传动的平稳性,但它不影响抖晃指标,保证了快进倒功能实现。因此在强度、噪声允许的条件下,这种方法是可行的,并且也可移用于TN-21机芯。

#### 参 考 资 料

[1] 严增祥:“静电植绒在SX1-V型录音机机芯中的应用”,常州继电器厂《技术通讯》,1984。

[2] 黄锡恺、郑文纬:《机械原理》,高第教育出版社,1981。

---

(上接第14页)

#### 主 要 参 考 文 献

[1] 周建康:“盒式录音机五大先进技术”《电声技术》 1986年第二期

[2] 李翰荪:《电路分析基础》下册 人民教育出版社 1979年

[3] 《音响集成电路手册》国营天光集成电路厂绍兴分厂 1987年



论文写作，论文降重，  
论文格式排版，论文发表，  
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，  
英文翻译，提供全流程发表支持  
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：[http://www.paperyy.com/reduce\\_repetition](http://www.paperyy.com/reduce_repetition)

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>

---

### 阅读此文的还阅读了：

- [1. 关于人力资本作为企业制度要素的考虑](#)
- [2. 好宝宝,别吵闹](#)
- [3. 加强劳动定额管理工作的思考](#)
- [4. 对学生实验“验证力的平行四边形定则”的改进意见](#)
- [5. 系统架构设计考虑](#)
- [6. 实践性——亚里士多德德性伦理的主要特征](#)
- [7. 图示均衡器的使用技巧](#)
- [8. 数字转转乐](#)
- [9. 体检巨头饕餮京城40亿](#)
- [10. 离婚10年还能要求做亲子鉴定吗](#)
- [11. 公允价值的合理运用](#)
- [12. 浅谈马山县农村客运站的规划建设](#)
- [13. 关于制定我院《环境工程》\(本科\)教学计划的几点考虑](#)
- [14. 从语义范畴的角度看“想”与“考虑”的差异——基于对外汉语教学的词语辨析](#)
- [15. 爱情小测试](#)
- [16. 北京新东安商场图示符号的应用分析](#)

- [17. 浅说分频器](#)
- [18. 重视视图 提高析图能力](#)
- [19. 浅议网络中的笑](#)
- [20. 思维导图在高职英语阅读课堂中的应用](#)
- [21. 台湾推出三种新型图示均衡器](#)
- [22. 安置过去:历史空间理论的基础](#)
- [23. 企业产品定价中对现金流的考虑](#)
- [24. 低价位的七段图示均衡器](#)
- [25. 高考完形填空题答题攻略](#)
- [26. 图示理论在英诗阅读中的应用 ——以英诗《一朵红红的玫瑰》为例\(英文\)](#)
- [27. 体育教学准备活动的几点考虑](#)
- [28. 例谈图示记录的运用](#)
- [29. 用图示和列表的方法找规律](#)
- [30. 合成词“となると”的语意及功能](#)
- [31. 实践性:亚里士多德德性伦理的主要特征](#)
- [32. 怎样通过图示来判断细胞分裂的各个时期](#)
- [33. 高性能的双31段数字图示均衡器DS231](#)
- [34. 我写我](#)
- [35. 从文化图示解析语用失误及对外语教学的启示](#)
- [36. 图示频率均衡器的调整技巧](#)
- [37. 巧用图示辨词析义](#)
- [38. 图示均衡器的计算分析及改进与集成化的设想](#)
- [39. i7600 30段数字图示均衡器](#)
- [40. 图示在报纸版面中的运用 ——以2010-2011年《南方周末》为例](#)
- [41. 浅谈历史教学图示导入的类型与设计](#)
- [42. 浅议企业管理者在融资决策中应重点考虑的事项](#)
- [43. 当代青年在选择职业时的考虑——读《马克思画传》有感](#)
- [44. 道路设计、改造中对景观环境的考虑](#)
- [45. 图示隐喻:广告人的“字谜”游戏](#)
- [46. DFR11EQ数字自动反馈抑制、图示均衡器及应用](#)
- [47. 多频段图示均衡器实践](#)
- [48. 利用记忆原理指导俄语语音教学](#)
- [49. 浅谈企业实验室认证后的监督与管理工作](#)
- [50. 仔细考虑厉害](#)