

超声换能器的宽带阻抗匹配器研究**

朱昌平 陈兆华* 冯若* 黄金兰* 魏立升

(荆州师专物理系 湖北荆州·434100)

在功率超声领域,换能器的阻抗匹配占有相当重要的地位,但有关在较宽频带内都能适用的匹配方案尚少有报道。为满足实验室研究工作需要,我们研制了两套简易匹配装置,可分别对20~50kHz和0.2~2.0MHz频率范围内的超声换能器实现阻抗匹配。

关键词: 阻抗匹配, 超声换能器

Study on broad-band match for ultrasonic transducer

ZHU Changpin, CHEN Zhaohua*, FENG Ruo*, HUANG Jinglan*, WEI Lisheng

(Physics Department, Jinzhou Teachers College, Jinzhou·434100)

(*Institute of Acoustics, Nanjing University, Nanjing·210008)

Impedance match plays an important role in the range of power ultrasound. But design of impedance matcher suitable to rather broad band has been hardly reported. With request of research work we have studied two simple match equipments, which can well match ultrasonic transducers of frequency ranging from 20~50kHz and 0.2~2.0MHz, respectively.

Key words: impedance match, ultrasonic transducer

在功率超声领域,换能器的阻抗匹配占有相当重要的地位。若匹配不当,声功率常会达不到要求,还可能导致换能器损坏。我们为满足实验工作之需,研制成两套简易匹配装置,可使20~50kHz和0.2~2.0kHz两个频段内的超声换能器与美国ENI公司生产的2100L型功率放大器实现阻抗匹配。

1 基本原理

功率源与换能器的阻抗匹配中有两个问题要解决^[1]:一是调谐,即采用外加电抗性

元件调节换能器的输入电抗,使输入相角趋近于零,以减少功率传输中的无功分量。二是变阻,即改变换能器的有功电阻,使之与发射机(功放)的输出阻抗相接近,以达到最佳功率传输匹配。

(1)调谐 对压电换能器而言,在谐振频率附近,其等效电路如图1所示。图中 C_0 为静态电容, L 、 C 和 R 分别为换能器的

*南京大学声学所

**近代声学实验室及国家自然科学基金资助的课题

收稿日期:94-1-28

动态电感、动态电容和动态电阻。在机械谐振时，串联支路中只剩下电阻分量，等效电路如图2所示，可见此时的换能器为一容性负载，需要用一电感元件来与之调谐，从而“抵消” C_0 产生的容抗分量的影响。

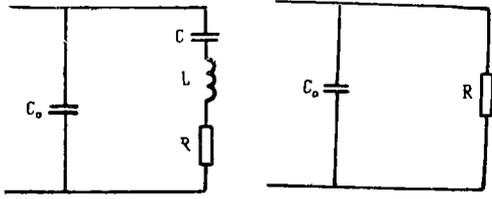


图 1

图 2

按照电抗元件接入的方式不同，调谐可分为串联调谐和并联调谐。图3表示这两种调谐方法^[2]。

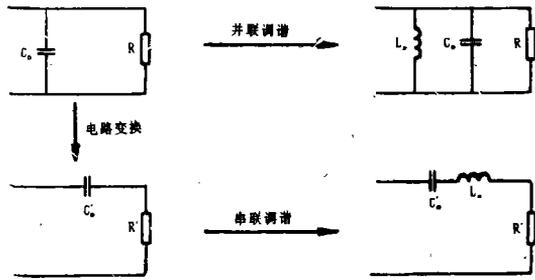


图 3

由图3可以看出，并联调谐的道理比较简单，即用一个电感 L_p 与换能器并联，使得 $L_p = 1/\omega_s^2 C_0$ ，式中 ω_s 为换能器的机械谐振圆频率。

对串联调谐，则要先将等效电路由并联形式变为串联形式，变换前后各元件值之间的关系为

$$R' = R / (1 + \omega_s^2 C_0^2 R^2)$$

$$C_0' = C_0 (1 + 1/\omega_s^2 C_0^2 R^2)$$

再将一个电感 L_s 与换能器串联，并使 $L_s = 1/\omega_s^2 C_0'$ 。这时，换能器与电感 L_s 合起来相当于一个电阻 R' 。

(2) 变阻 欲使一只按上述原理实现调谐的换能器从功放获得最大电功率，还必须通过变压器将换能器的有功电阻变至与功

放输出阻抗相接近。

一般来说变压器的初级绕组阻抗应接近或略大于功放的输出电阻为宜，但由于变压器初级阻抗在匝数确定后，其阻抗将随频率不同而不同，加上磁芯和分布参数均与频率有关，故要制作一个宽频带的阻抗变压器将是困难的。对此我们做了如下尝试，在0.2~2.0MHz频段内选用传输变压器来实现阻抗变换，由于传输变压器具有通频带宽的优点，则可实现0.2~2MHz超声换能器与功放的大致匹配。

传输变压器是一种特殊的变压器，它具有传输线和变压器的双重特性，由于采用双线并绕而成，两线中电流大小相等，而方向相反。故高频端不受两个绕组间漏感和分布电容的限制，也不受磁芯材料应用频率上限的限制，所以具有上限频率高、频率覆盖系数大的独特优点。传输变压器的 f_L 与 f_h 与绕组长度的关系是^[3]：

在高频端，绕组长度 $l_{max} \leq 18000n/f_h$ 在低频端，绕组长度 $l_{min} \geq 50R_l / (1 + \mu/\mu_0) f_L$

式中： f_L 、 f_h 的单位为MHz， n 为常数，一般取0.08， R_l 为负载电阻， μ/μ_0 为相对磁导率， l 的单位为cm。

传输变压器虽然具有通频带宽的优点。但由于受其结构的限制，它只能实现电压比为：1:1、1:2、1:3、1:4、1:5……等电压的变换，相应的阻抗比亦只能是一些特定的分立值：1:1、1:4、1:9、1:16、1:25……，而不能象普通变压器那样，依靠改变初、次级绕组的匝数比实现任何阻抗比的变换^[3-5]。对于功放的输出功率富裕量较大，不需要最佳匹配亦可满足要求的情况下，传输变压器可能是一种较为理想的简易宽频变阻技术。

2 实验与制作

(1) 调谐 我们选用串联调谐方式，为

计算待绕电感的电感量,使用美国 HP 公司生产的 4192F 阻抗分析仪对 0.88MHz、1MHz、1.7MHz 3 个换能器的 R 和 C₀ 进行了测量。并通过计算获得串联电感的电感量,由于其值仅在 1 μ H 左右,因此我们采用合理设计起机械固定压电片作用的弹簧的长度和圈数,起到了电调谐和机械固定两个方面的作用。对于几十 kHz 的换能器,需要串入 0.5~15mH 的电感方能达到调谐的目的,为此我们将 0.5mH、1mH、2mH、3mH、4mH、5mH 6 个电感装在一块胶木板上,在做调谐匹配时只需将板上某几个电感串联在换能器与变阻匹配变压器之间便可实现调谐匹配。

(2)变阻 换能器阻抗的测量一般用导线圆法来完成,但由于其测量过程复杂,在工程中一般都通过实验调试法来完成。实验调试法需要制作一个具有多种输出阻抗的变压器接在功放的输出端,然后将换能器试接于各种阻抗端并观察其输出声功率的大小,从而找到最佳的匹配方案。

对于 20~50kHz 的换能器我们采用普通变压器的绕制方法制作了一个次级具有多抽头的阻抗变换器,将此变压器与调谐电感组装在一块胶木板上,从而得到了低频段超声换能器的匹配装置。

对于 0.2~2.0MHz 的换能器我们采用 4 个相同的传输变压器来实现各种不同阻抗的大致匹配。例如 1 只 880kHz 的换能器的输入阻抗为 150 Ω ,我们采用了一个传输变压器即实现了输出阻抗为 50 Ω 的功放与该换能器的大致匹配,如图 4 所示。

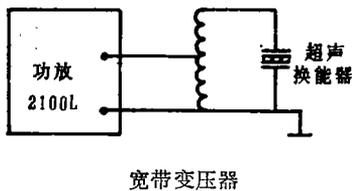


图 4 换能器阻抗为 150 Ω 的匹配示意图

又如一只 270kHz 的换能器,其输入阻抗为 1k Ω ,欲与输出阻抗为 50 Ω 的功放相匹配,需要选用 1:18 的变阻变压器,但传输变压器只能将 50 Ω 通过 1:16 或 1:25 两种变阻方案,变换为 800 Ω 或 1250 Ω ,由于 800 Ω 更接近 1k Ω ,故我们选取 1:16 的变阻方案。从理论上讲图 5 和图 6 所示两种联接方式均能实现 1:16 的阻抗变换。前者为 3 个变压器组合而成,后者为两个变压器组合而成。两种方式都进行了试验,从效果上看图 6 优于图 5。

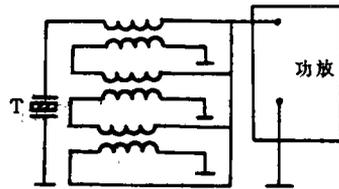


图 5 三个变压器组合匹配示意图

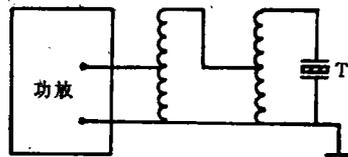


图 6 两个变压器组合匹配示意图

作者衷心感谢王玉泉、冯永芳、程存弟、鲍善惠等先生的帮助。并感谢荆州师专科研处对本工作的支持。

参考文献

- 1 袁易全. 超声换能器. 第 1 版, 南京大学出版社, 1992; 276~282
- 2 程存弟. 超声技术. 第 1 版, 陕西师范大学出版社, 1993; 86~88
- 3 张肃文, 高频电子线路上册. 第 2 版, 1984; 322~334
- 4 C.L. Ruthroff. Some broad-band transformers. Proc. IRE, Aug. 1959, 47 (8):1337~1342
- 5 V.O. Stokes. Radio transmitters—R.F. power Amplification. Van Nostrand Reinhold Company, 1970; 141~144