

# 水声宽带换能器匹配技术研究

吴运发

(上海船舶电子设备研究所, 上海 200025)

**摘要:** 低频宽带大功率换能器是现代水声发展的一项关键技术。换能器与功放匹配是宽带大功率水声发射的关键技术之一。本文对一种宽带大功率匹配网络进行了设计分析, 通过该匹配网络可改善宽带匹配效果, 同时拓宽工作频带。文中还给出了一台功放驱动两只宽带换能器的匹配网络。

**关键词:** 水声; 宽带; 发射系统; 阻抗匹配

**中图分类号:** TB 565<sup>\*</sup> 1      **文献标识码:** A

## Technology research on match of wide band underwater acoustic transducer

WU Yun-fa

(Shanghai Marine Electronic Equipment Research Institute, Shanghai 200025, China)

**Abstract:** Low frequency, wide band, high power transducer is a key technology of modern underwater acoustics. Match between the transducer and the amplifier is a key technology for a wide band high power underwater acoustic transmit system. In this paper a kind of wide band matching network is discussed, through the matching network, we can improve the matching efficiency as well as the working band. The paper also gives a network used matching one amplifier with two wide band transduces.

**Key words:** underwater acoustic; wide band; transmit system; impedance matching

低频宽带水声发射声源是现代水声发展的方向, 也是水声技术的一个难点。要实现水声信号高保真、低频、宽带、大功率发射, 首先必须具有性能良好的换能器及线性功率放大器, 同时必须实现换能器与线性功率放大器良好匹配。

要使线性功率放大器与宽带水声换能器在较宽的工作频带内实现良好匹配是比较困难的。因为线性功率放大器的最大输出功率是一定的, 当它的输出电压确定后, 其输出阻抗也就确定了。如果负载阻抗比输出阻抗大或小, 都将影响功率放大器的输出功率及效率。一般宽带水声换能器随频率的改变其阻抗变化很大, 如果换能器不与功率放大器进行良好的阻抗匹配, 就可能引起输出阻抗严

重失配, 严重影响功率放大器输出功率, 同时可以引起功率放大器严重发热, 使功率放大器不能正常工作。

所以要提高宽带声发射系统的匹配效率, 就要使换能器作为负载通过匹配网络后对功率放大器的阻抗接近一个恒定值。

水声宽带换能器有多种形式, 其阻抗可以显容性和感性。其中最常见的是压电陶瓷水声换能器, 其负载在工作频带范围内一般都显容性, 它的等效电路见图 1, 其中  $C_0$  为换能器的静态电容, 为一个常数,  $C_s, L_s, R_s$  是频率的函数。它也可等效成一个电容和一个电

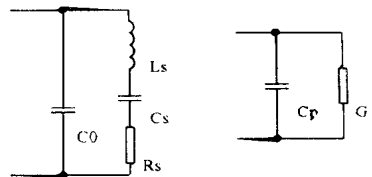


图 1 换能器等效电路及其  $C_p-G$  等效电路

收稿日期: 1999-10-24; 修订日期: 2000-02-28

作者简介: 吴运发(1957-), 男, 工程师。

导的并联形式, 此时  $C_p$ 、 $G$  的值都随频率的变化而变化。

现在在宽带声发射系统中, 有些在功率放大器前加入频率补偿电路(均衡电路), 通过提高或压低信号某些频率成份对换能器的发射响应进行补偿, 使整个声发射系统的发射响应曲线变得比较平坦, 但它无法改变功放与换能器的匹配状况, 不能提高系统的匹配效率, 也就不能实际拓宽声系统的工作频带。

在功率放大器与宽带换能器之间接入匹配网络, 可以改善负载阻抗特性, 同时可利用网络的传输特性, 对换能器发射电压峰值点和谷点进行适当的补偿, 改善换能器电压响应特性, 另外也可以利用匹配网络对声发射系统的工作频带进行拓宽。

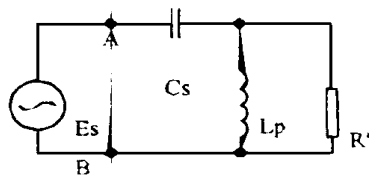


图3 匹配网络低频端等效电路

$$K_D = 1 / \sqrt{[1 - (1/X^2)]^2 + Q^2/X^2}$$

对阻抗和响应增益取导数可知, 当  $Q = 1.555$  时, 该网络有最平坦的阻抗特性; 当  $Q = 1.414$  时该网络有最平坦的电压响应增益。一般来讲, 在低频端换能器的阻抗比较大而发射电压响应比较小, 所以可适当选择较大的  $Q$  值, 使网络的等效阻抗减小而响应增益提高, 这样就可对换能器的低频端进行补偿。选定  $Q$  和  $f/f_0$  的值后, 可求出  $L_p$  和  $C_s$  的值:

$$L_p = QR^2 / 2\pi f_0$$

$$C_s = 1 / 4\pi^2 f_0^2 L_p$$

相对于高频端由于  $C_s$ 、 $L_p$  的值比较大,  $C_s$  相当于短路,  $L_p$  相当于开路, 网络高频端简化后的电路图见图4。

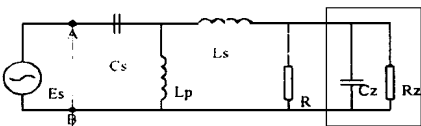


图2 一种匹配网络的电原理图

功放与换能器之间的匹配网络一般由  $R$ 、 $L$ 、 $C$  及宽带变压器等组成, 匹配网络的形式有很多, 下面我们对一种匹配网络进行分析探讨, 该网络的电路形式见图2, 它的目的是对宽带换能器的低频端和高端进行阻抗匹配和电压补偿。其中用  $C_s$ 、 $L_p$  在低频端对换能器进行补偿, 它们的值比较大; 用  $L_s$  与换能器本身的  $C_z$  对换能器的高频段进行补偿,  $L_s$  的值较小; 电阻  $R$  与换能器并联以减小负载电阻的变化范围。

相对于低频端, 由于  $L_s$ 、 $C_z$  的值比较小, 其作用可以忽略, 同时换能器与  $R$  并联后其电阻值在低频端的一定范围内可看作是一个定值。网络低频端简化后的电路图见图3。

该电路的  $AB$  端等效阻抗为:

$$|Z| = \sqrt{\frac{Q^2}{X^2} + \left[1 - \frac{1}{X^2}\right]^2} / \left[1 + \frac{1}{Q^2 \cdot X^2}\right] \times R$$

其中  $Q = 1/2\pi f_0 C_s R$ ,  $X = f/f_0$

电路的低频响应为:

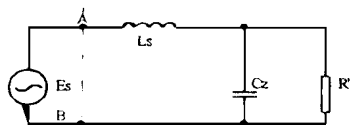


图4 匹配网络高频端等效电路

该电路的  $AB$  端等效阻抗为:

$$|Z| = \frac{Q^2 X^2 + (1 - X^2)^2}{1 + \frac{X^2}{Q^2}} \times R$$

其中,  $Q = 2\pi f_0 L_s / R$ ,  $X = f/f_0$

电路的高频响应为:

$$K_D = 1 / \sqrt{(1 - X^2)^2 + X^2 Q^2}$$

对阻抗和响应增益取导数可知, 当  $Q = 1.555$  时, 该网络由最平坦的阻抗特性, 当  $Q = 1.414$  时该网络有最平坦的电压响应增益。因为  $C_z$  为换能器的等效并联电容, 其值为一个随频率变化的变量, 在高频端可近似为一个变化不大的值, 选定  $Q$  和  $f/f_0$  的值后, 可求出  $L_s$  的值为:

$$L_s = QR' / 2\pi f_0$$

以上是在理论上对一种匹配网络进行分析计算,由于水声换能器的参数不为常数,其变化范围较大,而且同一种换能器之间的参数变化也较大,所以在实际匹配中应进行全面考虑,合理选择匹配网络各元件包括电阻  $R$  的值,并通过试验测量匹配效果,最终选择匹配效果最佳的方案及参数。

应当指出,由于匹配网络工作在大功率的情况下,所以采用的元器件必须满足功率要求,电容要选无极性电容,其耐压要大于网络可能的最大电压(可超过功放输出电压),电感元件的电流容量要足够,并且在最大工作电压下不产生磁饱和。

另外我们还在某宽带大功率水声发射器材中,利用如图 5 所示的匹配网络实现了用一台功率放大器推动两只宽带水声换能器,

发射覆盖整个声纳工作频带的低频大功率声信号,有效地降低了器材的体积重量,同时改善了匹配状态,提高了整个器材的工作效率,也解决了器材电池容量不足的难题。

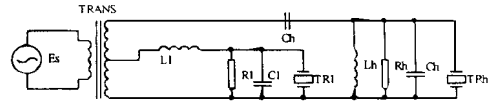


图 5 低频宽带匹配网络等效电路图

由于水声换能器的阻抗特性远比扬声器复杂,而且其连续功率也比音响设备大得多,所以网络元件的参数都必须仔细计算选取,并通过试验反复进行调整,才能达到预定效果。

#### 参考文献

- 1 尤立克. 水声原理[M]. 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990.
- 2 何祚镛. 声学原理[M]. 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1972.
- 3 李梁. 小型变压器设计[M]. 人民邮电出版社, 1975.

(上接第 86 页)

1MHz 和  $4.5W/cm^2$  不变,换能器  $T_1$  的频率为 0.75MHz 并依次从小到大改变其声强,每次取摩尔浓度为 0.2M 的 25ml 碘化钾溶液和 0.3ml 四氯化碳辐照 2min, 然后加入少量淀粉并用摩尔浓度为 0.01M 的硫代硫酸钠来滴定,测出相应的硫代硫酸钠用量,其结果如表 1 所示,表 1 中  $I_{p1}$  是  $T_1$  的声强,  $V_{T_1}$  和  $V_{T_1+T_2}$  分别表示  $T_1$  单独辐照及  $T_1$  与  $T_2$  共同辐照的结果,  $T_1$  与  $T_2$  单独作用的产额之和用  $V_{T_1} + V_{T_2}$  表示,  $V_{T_1}$  和  $V_{T_1+T_2}$  是  $V_{T_1}$  及  $V_{T_1+T_2}$  的标准差。

表 1 单束和双束辐照的实验结果

( $f_{T_1} = 0.75MHz$ ,  $I_{p1}$  变化;  $f_{T_2} = 1MHz$ ,  $I_{p2} = 4.5W/cm^2$ ,  $V_{T_2} = 0.16ml$ ,  $V_{T_2} = 0.09ml$ )

$I_{p1}(W/cm^2)$	$Na_2S_2O_3$ 滴定消耗量 $V(ml)$				
	$V_{T_1}$	$V_{T_1}$	$V_{T_1} + V_{T_2}$	$V_{T_1+r_2}$	$V_{T_1+r_2}$
1.2	0.1	0.06	0.26	0.26	0.10
2.0	0.12	0.06	0.28	0.35	0.15
3.4	0.12	0.08	0.28	0.60	0.17
5.0	0.13	0.07	0.29	1.04	0.20
6.3	0.14	0.08	0.30	2.20	0.40

### 3 讨论

由实验结果可见,两不同频率超声束水平

正交联合辐照的声化学产率显著地高于各单超声分别辐照的产额之和,从表 1 可看出,当  $T_1$  的声强足够大时,双超声联合正交辐照的产率高出单独分别作用产率之和近 8 倍,对于如此显著的增强效应,我们从下面两个方面来解释:一是双超声独立作用明显增大,这就使得更多的空气从样品表面进入样品,从而导致样品中空化核数量增强,为获得强超声空化提供了可能。其二,声化学产率的提高依赖于有较多的空化核能产生内爆,在双超声束同时作用时,各自产生空化过程,当各自空化泡内爆时,会产生许多新的空化核,这些空化核不仅可供该超声束的自身再空化,同时也会为另一束超声作用提供新的空化核,其结果是使该辐照系统的声化学产率大大增强。

#### 参考文献

- 1 冯若,朱昌平,赵逸云,等. 科学通报[J], 1997, 42(9): 925-928.
- 2 陈兆华,朱昌平,赵逸云,等. 声学技术[J], 1997, 16(4): 192-197.
- 3 A. Weissler, et al. [J]. Amer. Chem. Soc. J., 1950, 72: 1769-1775.