

多普勒计程仪用换能器匹配技术的研究

陈 婷, 梁 懿, 刘建国, 李庆洪

(中国电子科技集团公司第26研究所, 重庆 400060)

摘 要:介绍了多普勒计程仪中使用的压电陶瓷换能器和发射组件之间匹配的重要性, 分析了压电陶瓷换能器的电学模型, 研究了压电陶瓷换能器的电学匹配方式, 给出了多普勒计程仪中发射器与换能器匹配的电路图, 并给出了调谐元件所需值的计算公式。通过多次调试匹配后的换能器可工作在最佳工作状态, 提高了激励功放的工作效率。

关键词:压电陶瓷换能器; 电路模型; 匹配; 多普勒计程仪

中图分类号: TB565.1

文献标识码: A

Research on the Transducer-matching Technology Using in Doppler Logs

CHEN Ting, LIANG Yi, LIU Jianguo, LI Qinghong

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The article describes the importance of the transducer-matching between the piezoelectric ceramic transducer and the transmitting module in Doppler logs. The circuit model of the piezoelectric transducer was analyzed and the electric matching method of piezoelectric transducer was also studied in this paper. The matching circuit diagram of the transmitter and the transducer in Doppler logs was given. The calculation expressions of the tuning elements were also given. By using this method, the transducer can work on its best status. The efficiency of the power amplifier increases too.

Key words: piezoelectric transducer; circuit model; matching; Doppler log

0 引言

近年来, 多普勒计程仪这种自主式声计程仪以其精度高, 可测量绝对速度的特点在计量船舶航速和船舶累计航程的航海仪器中得到广泛应用^[1]。多普勒计程仪主要由发射组件、换能器和接收组件3部分构成, 其中若换能器与电路系统不匹配, 由于能量的衰减和反射, 换能器就得不到最大功率, 因此也就不能保证足够的探测精度和探测距离。匹配良好的换能器能避免发射组件产生大量的热耗, 并在良好的状态下长时间稳定工作。

1 压电陶瓷换能器的动态特性分析

多普勒计程仪中使用的换能器为压电陶瓷水声换能器。压电陶瓷换能器是一种将电能转变为机械振动的器件, 对于单一振动模式压电换能器, 其等效电路图如图1所示^[2-3]。图中, C_0 为换能器的静态电容, R_0 为换能器介质损耗的并联电阻, L_1 、 C_1 、

R_1 、 R_L 分别为动态电感、动态电容、动态电阻和负载阻抗。利用这个等效电路, 可分析并得到换能器的工作频率、阻抗变化等特点, 通常, 因为 $R_0 \gg R_1$, 则可将 R_0 忽略。

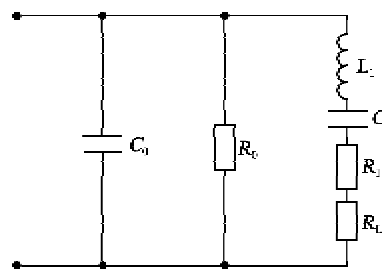


图1 压电换能器的等效电路图

2 压电陶瓷换能器的电学匹配

根据电路原理可知, 图1可简化为 $Z = R + jX$, Z 为一个实数和一个虚数的和, 如图2所示, 即一个电抗和一个电阻的串联。 X 为换能器的等效电抗, R 为换能器的等效电阻。

收稿日期: 2012-10-12

基金项目: 国际科技合作计划基金资助项目(2010DFR10690)

作者简介: 陈婷(1982-), 女, 重庆市璧山县人, 工程师, 学士, 主要从事控制与通信的研究。

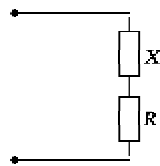


图2 等效阻抗示意图

由图2可知,加在换能器上的电压实际是加在了 X 和 R 上,加在 R 上的电压只占输入电压的一部分,甚至是一小部分。因此换能器获得功率只是输入功率的一小部分。对电路进行改造,加入一个阻抗为 $-X$ 的元件,使其电抗刚好抵消换能器的等效电抗,输入电压也就全部加到 R 上,这种就是串联调谐匹配方式,如图3所示。

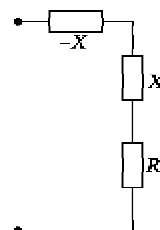


图3 串联调谐示意图

在实际工作中,大功率压电陶瓷换能器基本上都工作于谐振状态,根据压电换能器的谐振和动态理论可知,处于谐振状态的压电换能器对外呈现为一个容性器件,如果直接连接到发射组件中,信号发生器与换能器之间会出现相当大的无功损耗,不仅降低效率还会影响到发射器的正常工作,需在匹配电路中增加一个感性器件(见图4中 L_{ser})来补偿换能器的容性阻抗。另外,任何发射组件都存在一个最佳负载值,只有当实际的负载等于此值时,发射组件才能工作于最佳状态,并向负载输出最大的电功率,故匹配电路中,除了加入串联电感调谐,同时也使用变压器(见图4中 T)来实现电阻的匹配,匹配电路如图4所示。

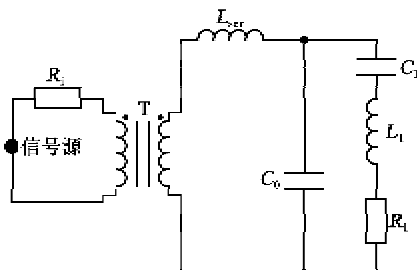


图4 多普勒计程仪换能器匹配图

3 调谐电感值的计算及匹配结果

多普勒计程仪用水声换能器为相控阵换能器,其振源由相同的8组相同振源组成,阻抗特性实验

测试时分组测试。表1为其中一组的部分测试频率数据,试件编号为HTH300-2-1,水温为 $16\text{ }^{\circ}\text{C}$,室温为 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$, G 为电导, B 为电纳。图5为该数据对应的曲线。

表1 水声换能器阻抗特性测试数据

f/kHz	G/ms	B/ms	f/kHz	G/ms	B/ms
250.4	0.74	3.45	329.6	3.40	-0.29
254.8	0.58	3.60	334.0	2.90	-0.33
259.2	0.73	3.77	336.2	2.69	-0.31
265.8	1.00	4.03	340.6	2.37	-0.24
270.2	1.25	4.20	347.2	2.01	-0.15
276.8	1.74	4.42	351.6	1.81	-0.09
283.4	2.37	4.52	358.2	1.54	-0.03
301.0	4.38	3.61	362.6	1.38	0.02
305.4	4.78	3.05	367.0	1.22	0.07
312.0	5.09	1.91	373.6	1.98	0.16
318.6	4.78	1.72	378.0	0.84	0.24
323.0	4.27	1.03	380.2	0.77	0.29

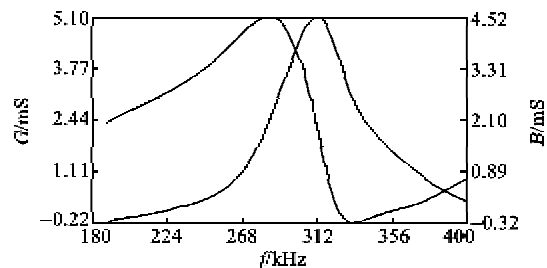


图5 水声换能器阻抗特性曲线

由各组振源的阻抗特性曲线图,采用最小二乘法逼近测试曲线,得到8组电路参数 C_1 、 L_1 、 R_1 、 C_0 ,如表2所示。再由这些参数计算得到串联调谐电感值,即

$$L_{ser} = \frac{R_1^2 C_0}{1 + \frac{R_1^2 C_0^2}{L_1 C_1}} \quad (1)$$

表2 换能器电路参数表

C_1/pF	$L_1/\mu\text{H}$	R_1/Ω	C_0/pF	$L_{ser}/\mu\text{H}$
440	567.5	250	1145	218.3780
465	535.0	250	1150	216.3254
465	535.0	245	1150	216.3254
445	560.0	250	1115	223.4970
460	547.5	235	1160	217.1114
495	507.5	235	1220	205.9113
445	562.5	255	1115	224.4948
440	572.5	250	1155	218.0946

将计算出的 L_{ser} 代入图4的电路模型中,再仿真出匹配后整个网络的阻抗特性曲线图如图6所

示。图中,曲线1~4分别为匹配后电纳曲线、匹配前电纳曲线、匹配后电导曲线及匹配前电导曲线。观察匹配前后的电纳曲线可见,匹配后电纳曲线在谐振频率318.5 kHz处的值被匹配到0,整个匹配后的网络在谐振频率处呈纯阻特性。

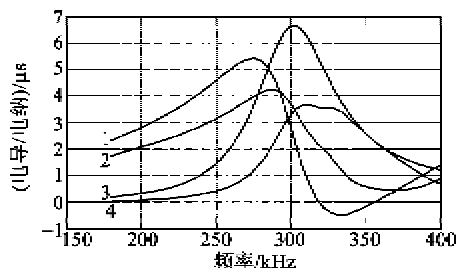


图6 匹配前、后换能器阻抗特性曲线

4 结束语

为确定换能器的外加串联或并联电感,必须先知道换能器的等效电路参数和机械共振频率,而这一过程较复杂,尤其是处于大功率工作状态的水声换能器。截至目前为止,大功率换能器的等效参

数决定仍是一个难题。因此,在实际的调谐过程中,基本是采用多次试用方法,通过调整换能器的激励频率和匹配电感,使换能器处于最佳工作状态。通过这种方法实现匹配调谐后,换能器的实际工作频率并不一定就是换能器的机械共振频率。

参考文献:

- [1] 林书玉. 超声换能器的原理及设计[M]. 北京: 科学出版社, 2004: 238-258.
- [2] 吴运发. 水声宽带换能器匹配技术研究[J]. 声学技术, 2000, 19(2): 87-89.
WU Yunfa. Technology research on match of wide band underwater acoustic transducer[J]. Technical Acoustics, 2000, 19(2): 87-89.
- [3] 翁洁知, 惠晶. 动态匹配超声波换能器谐振电感的方法与实现[J]. 电力电子技术, 2007, 41(12): 96-97.
WENG Jiezhi, HUI Jin. Method and realization for dynamic matching a resonant inductance of ultrasonic transducer[J]. Power Electronics, 2007, 41(12): 96-97.

(上接第214页)

- [2] KUEPPERS H, LEUERER T, SCHNAKENBERG U, et al. PZT thin films for piezoelectric microactuator applications[J]. Sens Actuators A, 2002, 97/98(1): 680-684.
- [3] HIDEKI K, HIROKAZU U, YUKO O, et al. Manufacturing process of piezoelectric thick film dual-stage actuator and its reliability for HDD[J]. IEEE Trans Magn, 2002, 38(5): 2156-2158.
- [4] 胡晓冰, 李龙土, 左如忠, 等. 银掺杂对低温烧结四元系陶瓷压电性能的影响[J]. 压电与声光, 2003, 25(1):

33-35.

- HU Xiaobing, LI Longtu, Zuo Ruzhong, et al. Effect of silver doping on piezoelectric properties of PMN-PNN-PZT based ceramics[J]. Piezoelectrics & Acousto-optics, 2003, 25(1): 33-35.
- [5] 朱宏亮, 孙清池, 刘海燕, 等. 低温烧结 PZT-0.5%PbO·WO₃ 压电陶瓷[J]. 硅酸盐学报, 2006, 34(4): 476-478.
- [6] 张福学, 王丽坤. 现代压电学(中册)[M]. 北京: 科学出版社, 2002.

《压电与声光》广告免费咨询卡

姓名: _____ 职务: _____ 职称: _____ 单位: _____

地址: _____ 邮编: _____ 电话: _____

您对本刊 _____ 年 _____ 期的 ☐ 彩色 ☐ 黑白 ☐ 刊花广告

_____ 公司(厂家) _____ 产品/技术感兴趣

希望: ☐ 索取公司资料 ☐ 索取产品资料 ☐ 询问价格 ☐ 建立业务联系 ☐ 其他 _____

请将卡片寄往(或传真):《压电与声光》编辑部 读者服务部

通讯地址: 重庆南坪 2513 信箱(400060) 电话: 023-62919570 传真: 023-62805284

复印有效