

基于小信号电桥法的换能器测试方法

侯春宝, 吉海鹏

(中国人民解放军 92956 部队, 辽宁大连, 116041)

摘要: 针对目前测深仪、声呐及多普勒计程仪保障维修过程中对换能器技术状态鉴定所面临的困境, 研制了基于小信号电桥法的换能器测量仪器, 通过单片机、信号发生器、电桥电路法、电压测量法测量换能器的动态等效电容、等效电阻、谐振频率等技术指标, 并通过软、硬件予以实现, 经实践检验, 有效地提高了对换能器技术状态鉴定的效率。在日常修理中有很强的实用性。该方法已在回声测深仪修理调试检测设备中得到应用。

关键词: 换能器; 电桥法; 谐振频率; 等效电容; 等效电阻

中图分类号: TB552

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2015)-02-0184-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2015.02.017

Transducer measurement based on small-signal bridge method

HOU Chun-bao, JI Hai-peng

(Army Unit 92956, PLA, Dalian 116041, Liaoning, China)

Abstract: The identification of transducers' technical conditions is difficult during the routine maintenance of echo sounder, sonar and DVL. A measurement based on small-signal bridge method is developed. By the single-chip microcomputer, signal generator, bridge circuit method and voltage measurement method, the transducer's dynamic equivalent capacitance, equivalent resistance and resonant frequency are measured, and this measurement could improve the efficiency of identifying transducers' technical conditions effectively.

Key words: transducer; bridge method; resonant frequency; equivalent capacitance; equivalent resistance

0 引言

舰船装备技术保障工作中, 对测深仪、声呐及多普勒计程仪的换能器技术状态的鉴定, 无论在舰艇临时检修还是在厂检修期间都非常重要。一方面, 临时检修中若能及时确定换能器故障, 便可尽早安排进坞维修或更换, 缩短修复时间; 另一方面, 厂修舰艇在坞期内, 若能及时确定换能器故障, 就能充分利用坞期进行器材采购及更换, 否则可能会影响在航舰艇执行任务, 或者延误舰艇厂修坞期, 造成二次进坞。

如何对换能器技术指标进行快速、全面、准确的测量, 进而确定换能器的技术状态, 在测深仪、声呐及多普勒计程仪的维修保障过程中显得尤为重要。

通常换能器的技术指标构成如下:

1、谐振频率; 2、电声效率; 3、水(空气)中等效电阻; 4、等效电容; 5、绝缘电阻。

前三项指标需要给换能器施加信号, 进行动态测量, 后两项指标可以用万用表、兆欧表进行静态测量。静态测量容易实现, 但动态测量需要使用信号发生器、毫伏表、电阻箱、电容箱、电桥等设备, 程序繁琐, 效率不高。

本文基于小信号电桥法对换能器的技术指标进行全面的动态测量, 方便快捷, 极大地促进了换能器技术状态的快速鉴定。本系统主要由单片机、键盘输入与显示、信号源发生器、电桥电路、电压测量电路几部分组成。

1 交流电桥

1.1 交流电桥的工作原理

交流电桥的工作原理如图 1 所示, $\dot{Z}_1$ 、 $\dot{Z}_2$ 为已知量, $\dot{Z}_x$ 为被测量, $\dot{Z}_3$ 可调, 当电压表显示为 0 时, 电桥达到平衡状态, 有下列关系成立:

$$\dot{I}_1 \dot{Z}_1 = \dot{I}_2 \dot{Z}_2, \quad \dot{I}_1 \dot{Z}_3 = \dot{I}_2 \dot{Z}_x, \quad \dot{I}_2 / \dot{I}_1 = \dot{Z}_1 / \dot{Z}_2 = \dot{Z}_3 / \dot{Z}_x$$

由此可知, 相对边的阻抗乘积相等, 如式(1)所示:

$$\dot{Z}_1 \dot{Z}_x = \dot{Z}_2 \dot{Z}_3 \quad (1)$$

利用电桥电路的平衡状态能够测量未知阻抗, 由式(1)可知, 未知阻抗 $\dot{Z}_x$ 的数值, 可由 $\dot{Z}_1$ 、 $\dot{Z}_2$ 、

收稿日期: 2014-08-19; 修回日期: 2014-12-15

作者简介: 侯春宝(1967—), 男, 辽宁北镇人, 满族, 高级工程师, 研究方向为航海装备技术保障。

通讯作者: 侯春宝, E-mail: houyu555666@163.com

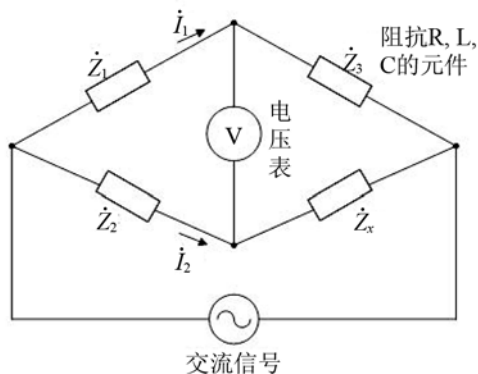


图1 交流电桥原理

Fig.1 Schematic diagram of A.C. bridge

$\dot{Z}_3$ 三个阻抗的数值求得：

$$\dot{Z}_x = \dot{Z}_2 \dot{Z}_3 / \dot{Z}_1 \quad (2)$$

通常在电路设计中，使 $\dot{Z}_1$ 、 $\dot{Z}_2$ 严格相等，那么在电桥平衡时，可调阻抗元件 $\dot{Z}_3$ 的值便是未知量 $\dot{Z}_x$ 的值。

1.2 电桥电路设计

依据电桥原理设计交流电桥电路如图2所示，信号源是由直接数字频率合成器AD9850产生的，其有效值电压为5V，频率为0~1MHz的交流正弦信号，最小步进为1Hz；变压器起隔离作用；R6是接地电阻；电桥四臂由R1、R2、换能器与Cx或Rx组成；C1、C2、C3、R3、R4、R5组成双T形滤波网络，可通过专用的高频交流电压测量电路去测量电桥电压的有效值。

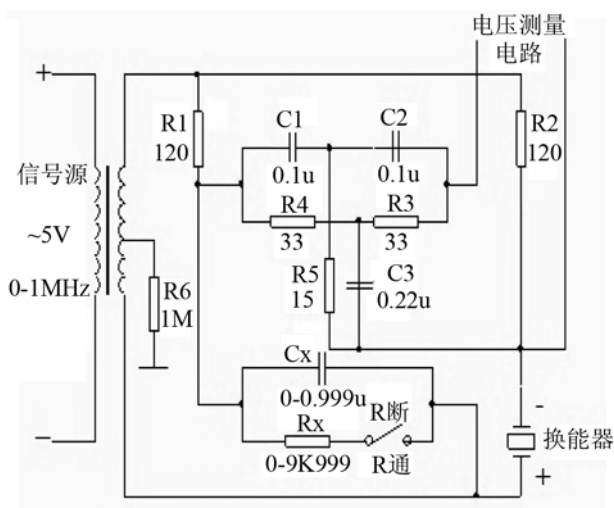


图2 交流电桥电路

Fig.2 Circuit diagram of A.C. bridge

图2电路中R1、R2相等，可变电容Cx取值在0~999nF，可变电阻Rx取值在0~9.999kΩ。那么由式(2)可知，可测换能器的等效电容与等效电阻范围分别为0~999nF和0~9.999kΩ，可满足测深仪换能器的要求。

2 信号源与控制电路的设计

信号源与控制电路如图3所示，本系统以直接频率合成器AD9850和单片机AT89S8252为基础，通过微处理器实现键盘扫描和显示功能，控制AD9850，实现频率预置、控制字的设置等功能，通过LED荧光数码管显示当前频率值和按键值。AD9850的控制字有40位，其中32位是频率控制位，5位是相位控制位，1位是电源休眠控制位，2位是工作方式选择控制位。在应用中，工作方式选择位设为00，即采用串行输入，频率控制位可通过下式计算得到：

$$F_{out} = (K/2^n) F_{CLK} \quad (3)$$

其中： F_{out} 为要输出的频率值； F_{CLK} 为参考时钟频率；K为相应的十进制频率控制字，然后转换为十六进制即可。本系统输出的正弦信号经低通滤波器滤除掉了高频信号，再经过运算放大器AD811放大，输出频率范围为0Hz~1MHz、最小步进为1Hz、电压有效值为5V的交流正弦信号。键盘与显示电路由2片八位移位寄存器74HC165和1片8位LED显示驱动集成电路MAX7219及LED数码管构成，通过按键方便地进行频率、电阻和电容值的设定，并通过LED数码管显示正弦信号频率、电桥电阻和电容。键盘与显示电路如图4所示。经测试，输出的正弦信号频率稳定性好，频率准确，频谱纯净，电桥电阻和电容精准。

3 可调电容电阻的设计与实现

可调电容由一组并联电容实现，分别是1、2、4、8、10、20、40、80、100、200、400、800nF，可实现0~999nF调整范围。可调电阻由一组串联电阻实现，分别是1、2、4、8、10、20、40、80、100、200、400、800、1000、2000、4000、8000Ω，可实现0~9.999kΩ调整范围，如图5所示。

调整电容值时，如图3所示，由键盘输入电容或电阻值，经单片机AT89S8253分别转换为12位或16位BCD码；然后，单片机将数据串行输出至74HC595存储寄存器，寄存器再将数据并行输出至CD4050同相缓冲器，该电路中共有5片CD4050缓冲器，3片用于电阻调整，2片用于电容调整。经CD4050缓冲器缓冲放大后，输出至74F06反相缓冲器，74F06缓冲器输出的高低电平分别控制着各电容电阻串联或者并联的继电器的断通。控制电

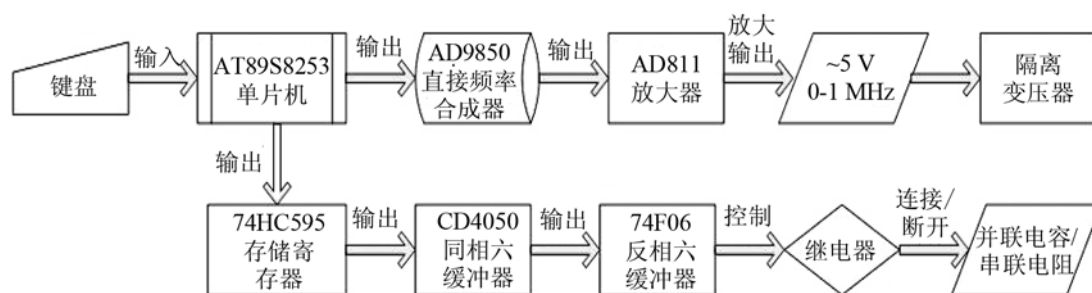


图3 信号源及可变电容电阻控制流程

Fig.3 Flow chart of controlling signal source and variable capacitance and resistance

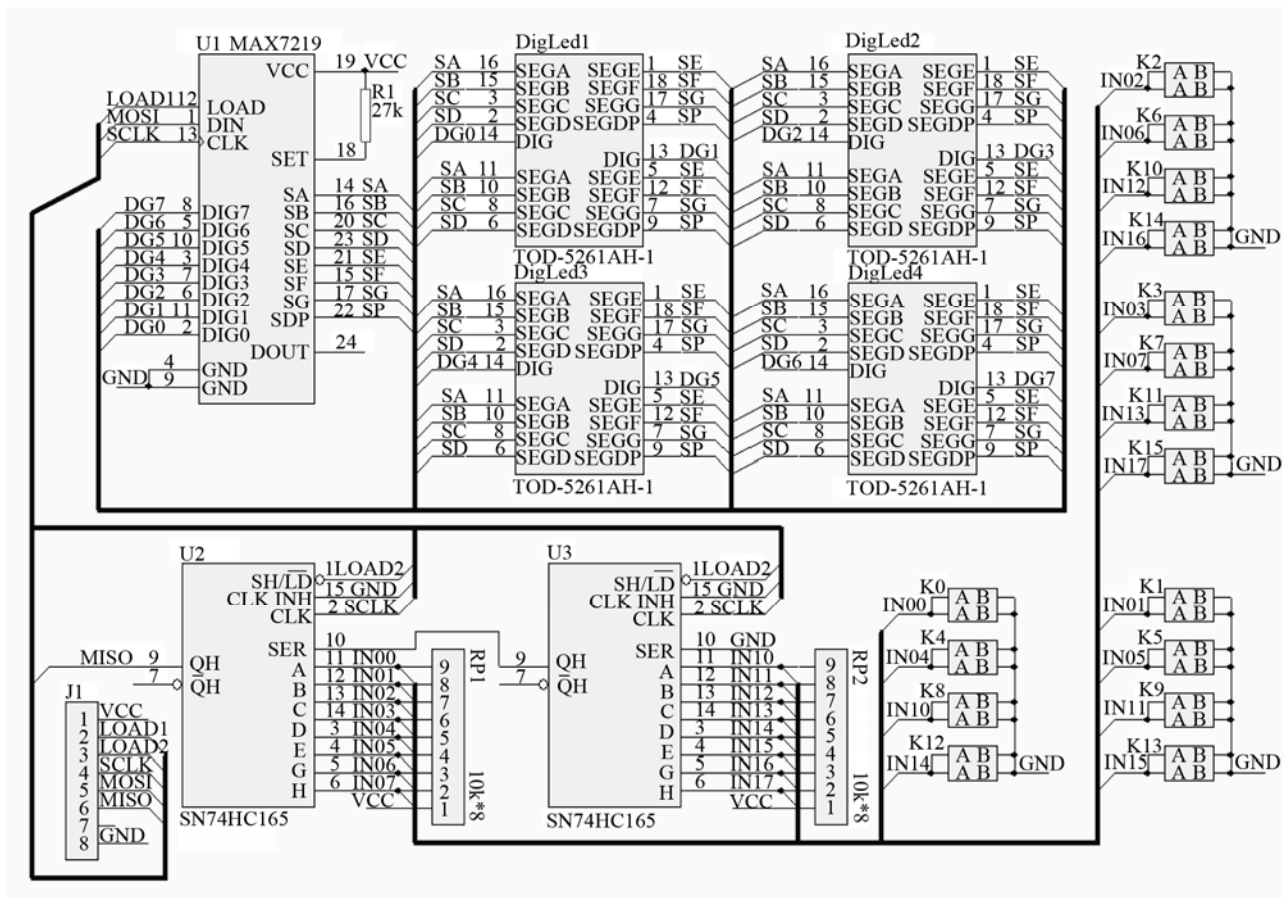


图4 键盘与显示电路原理图

Fig.4 Schematic diagram of keyboard and display circuit

容的各继电器与相应的电容串联，处于常开状态；控制电阻的各继电器与相应的电阻并联，处于常闭状态。在高低电平的控制下，实现电容并联进电路或者电阻串联进电路，进而改变阻容值。

比如，由键盘输入的电容值是 99 nF，经 AT89S8253 单片机转换为 12 位 BCD 码“000010011001”，有四个高电平，八个低电平，74F06 为集电极开路输出，经 74F06 反相六缓冲器反相输出“111101100110”。由于继电器线圈一端始终与+5 V 电相连，另一端为低电平时，继电器导通闭合，高电平时，保持断开，这样与 80、10、8、1 nF 串联的四个继电器闭合，其余继电器断开，电桥

电路中就并联进总容值为 99 nF 的电容，其余各电容值及电阻值的实现与此同理。

4 测量方法与举例

4.1 测量方法

步骤一：连接 220 V/50 Hz 电源，将仪器中的换能器连接线与被测换能器连接，电阻通断开关置于断开位置，在键盘上设置频率为 2 kHz，选择电容输入，按调节按键(增加或减小)调节电容值，使电压在显示数码管上显示的值最小，此时电桥平衡，输入电容值即为被测换能器动态等效电容。

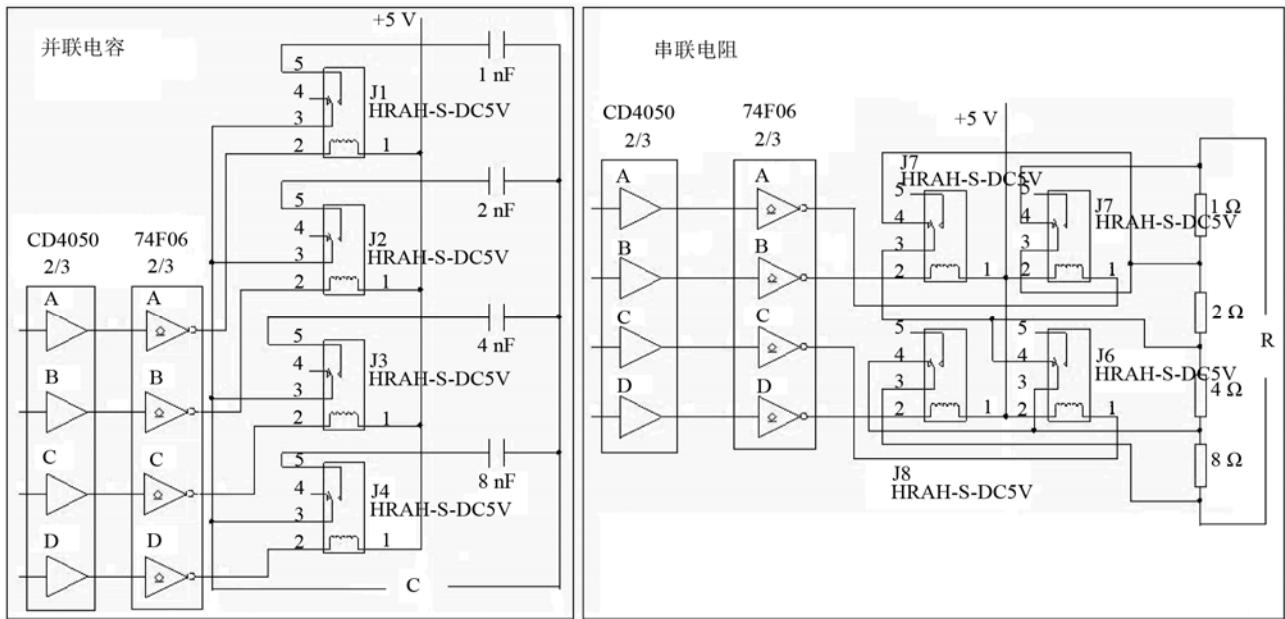


图 5 可调电容电阻设计

Fig.5 Design of adjustable capacitance and resistance

表 1 某测深仪接收换能器测试结果

Table 1 Testing result of the receiving transducer of a certain echo sounder

序号	测试项目	技术指标	测试结果	备注
1	等效电容	8~12 nF	9 nF	
2	水中等效电阻	(2000±300) Ω	1950 Ω	空气中实测等效电阻: 300 Ω
3	谐振频率	(20.1±0.8) kHz	20.1 kHz	
4	发射效率	≥65%	72%	依据式(3)计算
5	绝缘电阻	≥50 MΩ	5500 MΩ	500 V 兆欧表测得

步骤二：保持已测得的等效电容不变，将电阻通断开关置于接通位置，在键盘上设置被测换能器中心频率，选择电阻输入，按调节按键(增加或减小)调节电阻，使电压在显示数码管上显示的值最小，此时电桥平衡，输入电阻值即为被测换能器等效电阻。

步骤三：等效电容、电阻测量结束后，可以微调频率，若先前设置的被测换能器中心频率与换能器实际中心频率不符，则数码管显示电压值会随着频率微调而进一步缩小，当数码管电压读数最小时，键盘输入频率值即为被测换能器的谐振频率。

发射效率按以下公式计算：

$$\eta = \{(R_{\text{水}} - R_{\text{空}}) / R_{\text{水}}\} * 85\% \quad (4)$$

其中： $R_{\text{水}}$ 是水中等效电阻； $R_{\text{空}}$ 是空气中等效电阻；

4.2 实测举例

以某测深仪接收换能器测试为例，测试项目、技术指标、测试结果见表 1。从测试结果可以看出该接收换能器技术状态完好。

4.3 电桥电路的检查方法

有时需要确定电桥电路本身是否正常，此时，

可在仪器的换能器连接线上接入一组并联的已知电阻电容，先在 2 kHz 频率下测量电容，再保持电容值，测量电阻值，若测量值与已知值相吻合，则电桥电路正常。

5 结 论

基于小信号电桥法的换能器技术指标测量方法，充分考虑了测深仪、声呐及多普勒计程仪中各换能器的物理特性，覆盖其全指标测量，测量过程简洁直观，在日常修理中有很强的实用性。经实践检验，该方法可以为换能器的性能鉴定提供有效的依据，也已在回声测深仪修理调试检测设备中得到应用。

参 考 文 献

- [1] 桂井诚. 电工[M]. 北京: 科学出版社, 2001, 7.
GUI Jingcheng. Electrical engineering[M]. Beijing: Science Press, 2001, 7.
- [2] 赵广林. 常用电子元器件[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007, 4.
ZHAO Guanglin. A common electronic components[M]. Beijing: Publishing House of electronics industry, 2007, 4.