一种AGC控制的低噪声水声接收机*

陈 实[1] 艾春森[2] 何 轲[2] 吴 亮[1] 陈田辉[1] 王海燕[2]
(1.南海西部石油勘察设计有限公司 湛江 524057;2.西北工业大学航海学院 西安 710068)

摘 要:在深水隔水管监测系统上,为了接收水下节点发射的信号,研究设计了一款低噪声低功耗水下接收机。在海洋环境下,由于发射机发射功率,传播损失以及传播过程中噪声干扰等影响,造成接收信号畸变、衰减、动态范围增大等问题,不利于后端数字处理。本系统选择低噪声芯片,优化电路结构、降低系统噪声,通过六阶椭圆滤波器,选择所需频带信号通过,采用AGC实现大动态范围的压缩。海试结果显示,该系统具有高灵敏度、低噪声、低功耗、接收动态范围大等优点。

关键词:深水隔水管;水声接收机;AGC;低噪声
中图分类号:TN98 **文献标识码**:A **国家标准学科分类代码**:510.1010

Low-noise acoustic receiver of automatic gain control

Chen Shi[1] Ai Chunsen[2] He Ke[2] Wu Liang[1] Chen Tianhui[1] Wang Haiyan[2]
(1. Survey&Design Company, CONHW, Zhanjiang 524057, China; 2. College of Marine, Northwest Polytechnical University, Xi'an 710068, China)

Abstract: In order to receive signals emitted underwater nodes by deepwater riser monitoring system, we design a low-noise and low-power underwater receiver. In the environment of marine, the transmission power of the transmitter due to propagation loss and propagation of noise interference, resulting in distortion of the received signal, attenuation, and dynamic range increases other issues. These are not conducive to the back-end digital processing. The system selects the low-noise chips to reduce system noise by sixth-order elliptic filter, select the desired frequency band signal by using AGC achieve a large dynamic range compression. The results of experiments in the sea show that the system is a high sensitivity, low noise, low power consumption and big receiver dynamic range system.

Keywords: deepwater riser; acoustic receiver; AGC; low-noise

1 引 言

隔水管是连接海面作业平台与海底井口的咽喉要道。隔水管的运动表现为柔弹性运动而非刚体运动,导致隔水管的振幅会大幅增加,极易产生疲劳、损伤、断裂和泄漏等一系列问题[1]。随着南海深水海域的油气开发作业的逐步深入,对深水隔水管监测系统的需求变得越来越迫切。深水隔水管监测系统的开发,可以对深水钻井作业隔水管的状态实现实时监测,保证钻井作业安全顺利进行[2]。

由于水声信号接收机工作环境的限制,接收机必须是无人值守的全自动信号接收平台,要求长期连续工作在水下,这就要求接收机具有低功耗的特性。然而,低功耗与低噪声指标在一种芯片中是相互制约的,功耗指标低时其噪声指标就偏高[3]。因此,如何在功耗指标满足要求的条件下最大限度的降低系统噪声成为国内外研究的热点。

水声接收机在接收水声信号过程中,由于发射机发射功率、传播损失以及传播过程中噪声干扰等影响,造成接收信号畸变、衰减、动态范围增大等问题,不利于后端数字处理[4]。为了克服这些不利因素对水中传输信号的不利影响,采用自动增益控制(automatic gain control)技术,设计一种低噪声水声接收机。

本文详细介绍了这种低噪声水声接收机,并对其性能进行了测试。结果表明该接收机满足实际应用要求,具有广泛的应用前景。

收稿日期:2015-04
* 基金项目:国家科技重大专项(2011ZX05026-001-06)资助

2 水声接收装置工作原理

水声接收装置如图1所示，由水声接收换能器、前置放大电路、电缆、模拟带通滤波器和后置放大电路组成，接收到的信息经过水声接收换能器和前置放大后，使微弱信号增强，由于信号通过较长的电缆信号有衰减，故远距离水声接收的前置放大必不可少。信号通过模拟带通滤波器，滤除带外噪声，经放大处理后可由水上处理装置处理信号[5]。

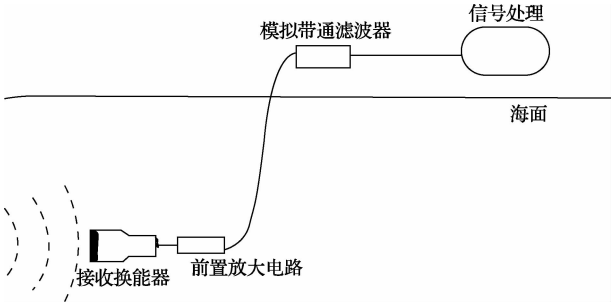

图1 水声接收装置原理

3 水声接收装置的设计

3.1 水声接收装置的方案设计

水声接收放大板原理，如图2所示。

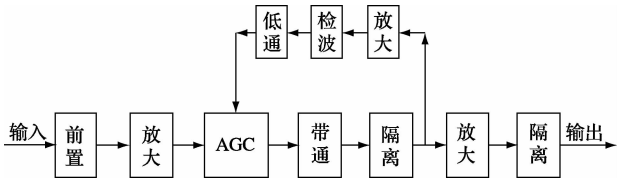

图2 接收放大板原理

3.2 水声接收装置的参数设计

为了满足低噪声特性的效果和良好的AGC控制的效果，需采用合理的滤波器带宽和增益分配，跟根据实验要求将参数的要求设计如下：

1)灵敏度：$S=5\ \mu V$；

2)增益：$K=8.0\times10^4$；

3)AGC压缩比：输入变化≥33 dB，输出变化≤6 dB；

4)带通滤波器：

①带宽：$\Delta B_0=5.0$ kHz(3 dB带宽频率：7.500 kH，12.500 kH)；

②带内衰减变化≤1.5 dB；

③阻带衰减：18 dB；

④阻带：1.500 Hz～6.00 kH，14.0000 kH～19.000 kH；

⑤过渡带宽：1.5 kHz。

3.3 水声接收装置的电路设计

水声接收装置主要包括水声接收换能器、前置模拟放大电路板、电缆、带有自动增益控制的模拟带通滤波器等。

1)前置模拟放大电路设计

考虑到低功耗的要求，前置模拟放大电路板由三极管放大电路和运算放大电路共两级放大电路组成。

三极管前置放大器采用2SC2458 NPN管实现三极管前置放大器。2SC2458的低噪声特性可以避免对输入小信号的干扰[6]，其电路如图3所示。

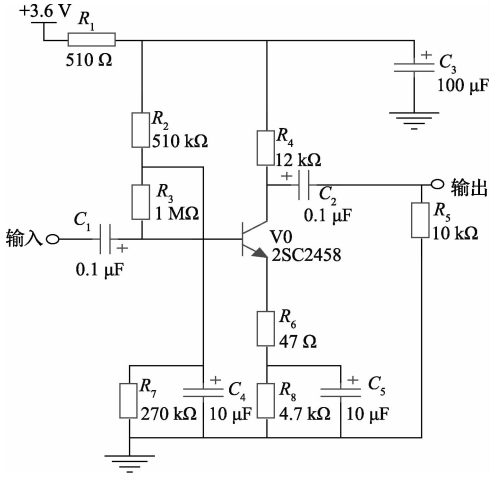

图3 三极管前置放大器

除前置放大器之外，各级交流放大器均采用TL082运算放大器构成放大电路。TL082具有低噪声、低功耗、宽供电电压等优点。且在实际应用中，电路简单，性能稳定，设计成的同相放大器如图4所示。

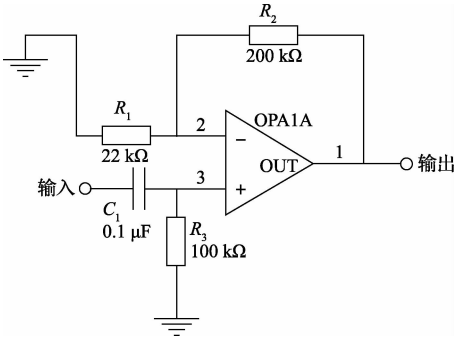

图4 同相放大器

在整个电路设计中采用低噪声前放器件，设计合理的各级增益分配、合理的滤波器带宽、良好的电路设计和布线，这些都能保证良好的低噪声特性。

2)带通滤波器电路设计

带通滤波器为六阶椭圆滤波器，由六阶椭圆高通和六阶椭圆低通滤波器组成，其中六阶高通为二阶VCVS高通滤波器接四阶VCVS带阻滤波器组成，六阶低通滤波器由二阶VCVS低通滤波器接四阶VCVS带阻滤波器组成，由于设计的水声接收机的有效频率范围为7.5～12.5 kHz，直接设计带通滤波器难度比较大，且实际性能也不尽如人意，故采用“高通滤波器＋低通滤波器”的方法

来组合实现这个带通滤波器[7]。

3)自动增益控制模块电路设计

自动增益控制模块电路由检波器、积分器、直流放大器、二极管增益控制电路和包络检测器等级联组成。经带通滤波器滤波的信号通过 AGC 环路使信号增益控制在一定范围内,在环路外,带通滤波器之后接放大电路使最终输出信号达到 A/D 满量程[8]。

检波器用普通的二极管检波电路实现检波,会伴随很大的非线性失真。产生非线性失真的原因在于二极管的单向导电特性的非理想性。将二极管接在运算放大器的反馈电路中,可以在被检波信号幅度的相当宽广的范围内,实现十分精确的线性检波。如图 5 所示为线性检波电路。

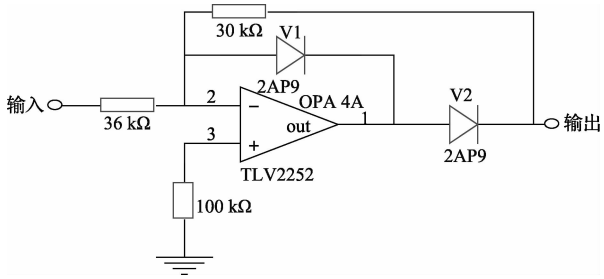

图 5 线性检波电路

RC 积分器的主要作用是把检波器输出的交流信号,变换成直流信号,如图 6 所示。

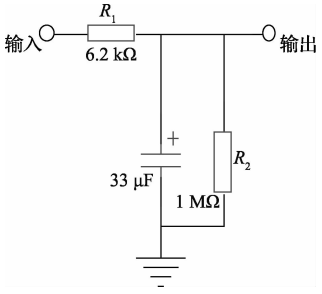

图 6 积分器电路

直流放大器如图 7 所示,它与交流放大器的原理相同,放大倍数为:

$$A = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \tag{1}$$

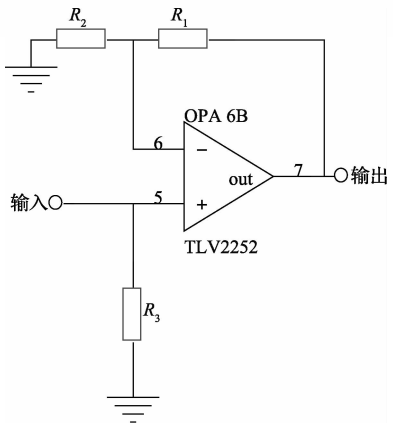

图 7 直流放大器电路

二极管增益控制是整个自动增益控制的核心,如图 8 所示。

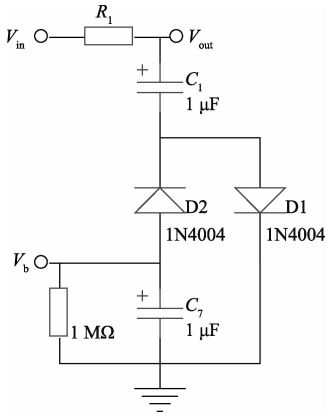

图 8 二极管增益控制电路

包络检测器用于检测经滤波器滤出的 7.5～12.5 kHz信号的能量,如图 9 所示。

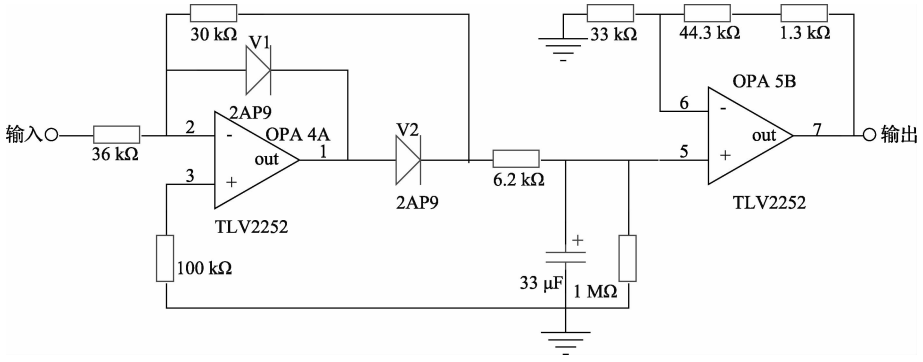

图 9 包络检测器

4)如图 10 所示为部分接收装置实物。

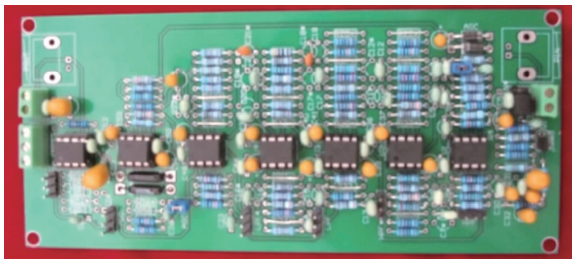

图 10　部分接收装置实物

3.4　接收装置和接收换能壳体的装配

如图 11 所示为接收装置前置级的装配情况。

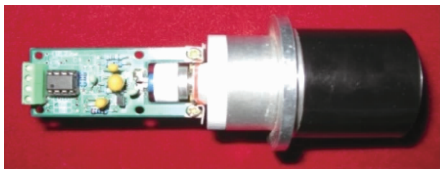

图 11　接收装置前置级的装配情况

4　接收装置的性能测试

4.1　装置的测试过程

1)水下接收放大板测试

测试条件:供电电压为单电源供电+7.2 V 和接地,输入信号峰峰值为 1 mV,测试输出信号峰峰值为1.02 V,即放大板放大倍数为 102 倍。

2)滤波器接收板测试

测试条件:双电源供电+7.2 V、−7.2 V 和接地,由于指标要求接收信号为从 5 μV 变化到 200 μV,经过水下前置放大电路放大 100 倍,即输出信号为 0.5 mV 变化到 20 mV。故测试信号采用 10 kHz,有效值 0.5 mV 的正弦信号,将自动增益控制(AGC)环路打开,在带通滤波器的输出端测得信号为 0.4 V(峰值 0.60 V);其他条件不变,将测试输入信号调到 10 kHz,有效值 20 mV,在带通滤波器的输出端测得信号为 0.74 V(峰值 1.04 V)。调节环路外后置放大电路使输出达到 A/D 采样卡的满量程;供电条件不变,闭合 AGC 环路,测试信号频率为 10 kHz,有效值从 0.5 mV 变化到 20 mV,滤波器接收板输出幅值峰值从 4.20 V 变化到 7.00 V,即输入变化≥33 dB,输出变化≤6 dB。

3)水下接收放大板与滤波接收板电联调测试

测试输入信号为 10 kHz,有效值为 5 μV,闭环输出信号为 4.20 V,测试输入信号为 10 kHz,有效值为 200 μV,闭环输出信号为 7.0 V。

4)水声接收装置功耗测量

+7.2 V 端不接换能器时电流为 24.9 mA,接换能器时电流为 27 mA;−7.2 V 端不接换能器时电流为 24.6 mA,接换能器时电流为 24.6 mA,接换能器工作时,水声接收装置的最大功耗为 371.5 mW。

4.2　带通滤波器特性测试

供电电压为+7.2 V,−7.2 V 和接地,频率为 10 kHz,输入信号 0.6 mV 时,通过实验记录测试数据画出带通滤波器特性曲线如图 12 所示。

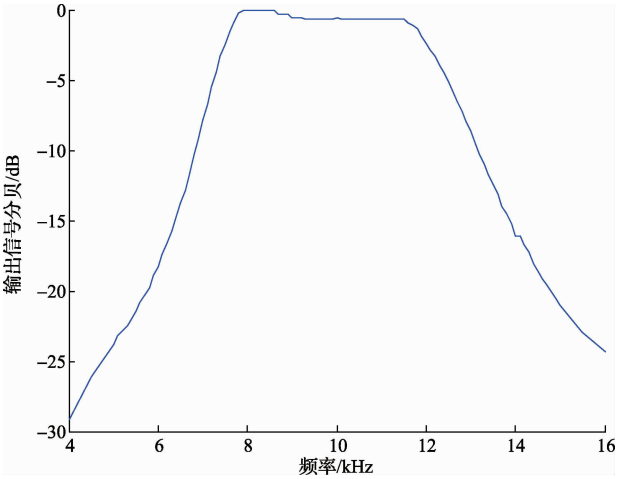

图 12　带通滤波器特性曲线

4.3　AGC 特性测试

供电电压为+7.2 V,−7.2 V 和接地频率为 10 kHz 时,通过实验数据画出 AGC 曲线如图 13 所示。

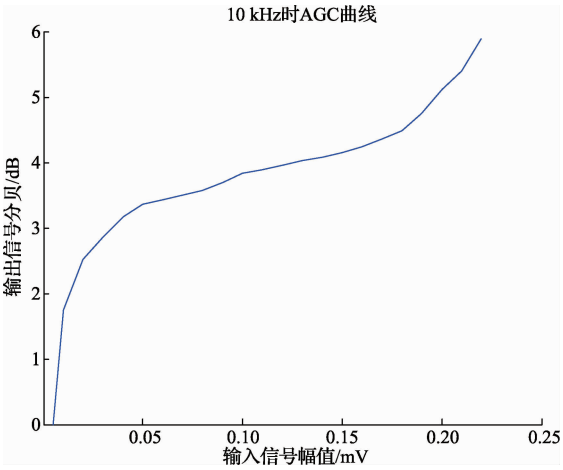

图 13　AGC 特性曲线

5　实验测试结果分析

此水声接收机工作时的最大功耗为 371.5 mW,满足系统低功耗实际指标要求。对此接收机进行自噪声测试,得到等效输入端开路噪声为 0.7 μV,短路噪声为 0.4 μV,符合噪声指标要求。由于带宽较大,要做到带外衰减很大比较困难,因为要保证带内衰减变化≤1.5 dB,带外衰减较大与保证带内衰减较小是一对不可调和的矛盾,为了达到要求,在滤波器的调试上找到了一个平衡点保证了良好

的滤波特性。由实验结果可以看出，该接收机表现出了良好的AGC特性。该接收机达到预期的设计指标，表现出了良好的鲁棒性，被应用到3 000 m水深的隔水管上，这个深度在国内处于领先地位。

6 结 论

设计完成了一种AGC控制的低噪声水声接收机，该接收机考虑到低功耗的要求，前置模拟放大电路板由三级管放大电路和运算放大电路共两级放大电路组成，由于水声接收换能器自身拥有放大电路，故水下接收部分实际由三级放大电路组成，实现了接收机对微弱信号的检测。带通滤波器为六阶椭圆滤波器，由六阶椭圆高通和六阶椭圆低通滤波器组成。通过AGC环路使信号增益控制在一定范围内，在环路外，带通滤波器之后接放大电路使最终输出信号达到A/D满量程。该接收机通过海试有效完成了设定的参数指标，具有高灵敏度、低噪声、低功耗、接收动态范围大等优点。该接收机很适合水下目标探测系统，对深水钻井作业隔水管的状态实现实时监测，保证钻井作业安全顺利进行，规避风险，有着重要的经济意义和社会意义。

参 考 文 献

[1] MUKUNDAN H，MODARRES-SADEGHI Y，DAHL J M，et al. Monitoring VIV fatigue damage on marine risers[J]. Journal of Fluids and Structures，2009：617-628

[2] MCNEIl. Spectral formulations for vortex induced vibration modal decomposition and reconstruction[J]. Journal of Offshore Mechanics and Artic Engineering，2012，134(4)：872-882.

[3] 魏巍，张效民. 低功耗水声接收机系统设计[J]. 国外电子测量技术，2012，31(4)：87-90.

[4] 罗建，马定坤，肖尼. 具有A/D的程控接收机的原理与实现[J]. 测控技术，2007，26(7)：79-83.

[5] 帅高山. 基于声级测量的水声接收机设计与实现[J]. 舰船科学技术，2012，34(5)：94-97.

[6] 王秀华. 前置低噪声放大器的研究与设计[J]. 电子测量技术，2013，36(6)：35-37.

[7] 康学福. 滤波电路频率特性的仿真分析[J]. 国外电子测量技术，2014，33(1)：40-42.

[8] 马定坤，张效民，罗建. 一种水声接收机数字AGC控制方法[J]. 鱼雷技术，2012，20(4)：267-270.

[9] 邢传玺，朴胜春，刘振江，等. 一种新型低频声矢量场采集系统的设计与实现[J]. 仪器仪表学报，2013，34(12)：2800-2805.

[10] ALLIES L，BLAMPAIN E，M′JAHED H，et al. Modeling of a wireless SAW temperature sensor and associated antenna[J]. Instrumentation，2014，1(1)：8-14.

[11] 李聪，代后兆，张亚宁，等. 一种新型低成本高精度热电阻测温模块的研制[J]. 电子测量与仪器学报，2013，27(6)：577-584.

[12] 李保军，王海燕，申晓红，等. 一种隔水管疲劳参数低功耗遥测方法[J]. 计算机测量与控制，2012，20(5)：1211-1213.

[13] 李保军，邓欣，申晓红，等. 深水隔水管疲劳监测方法初探[J]. 海洋工程装备与技术，2014，1(1)：62-69.

作 者 简 介

陈实，1982年出生，本科学历，工程师。主要研究方向为海洋工程技术开发等。

E-mail：chenshi1@cnooc.com.cn