

一种分时工作的双路声呐发射机研制

王雪平^{1,2}, 邓 镔^{1,2}, 张兆伟^{1,2}

(1. 中科院声学研究所海洋声学技术中心, 北京 100190; 2. 北京市海洋声学装备工程技术研究中心, 北京 100190)

摘要: 针对自容式波浪声学多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP)所需声呐发射机的设计要求, 设计并实现了一种分时工作的双路声呐发射机。从工程实际需求出发, 结合功率电路的理论、工作经验和设计方法, 提出一种全新的分时工作的双路声呐发射机的设计方案, 制作出样机, 并进行了水池试验。实验结果表明, 该分时工作的双路声呐发射机, 所选择的发射机通道能准确地输出相应的发射电压, 满足自容式波浪 ADCP 的需求。

关键词: 声学多普勒流速剖面仪(ADCP); 自容式波浪 ADCP; 声呐发射机; 分时工作方式

中图分类号: TB565

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2019)-04-0387-04

DOI 编码: 10.16300/j.cnki.1000-3630.2019.04.005

Development of a dual-channel sonar transmitter with time-sharing working

WANG Xue-ping^{1,2}, DENG Kai^{1,2}, ZHANG Zhao-wei^{1,2}

(1. Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Ocean Acoustic Technology Center, Beijing 100190, China;

2. Beijing Marine Acoustic Equipment Engineering Technology Research Center, Beijing 100190, China)

Abstract: Aimed at the design requirements of sonar transmitter for self-contained wave ADCP, a two-channel sonar transmitter is designed and implemented. Starting from the actual demand of the project and combining the theory, working experience and design methods of power circuits, a new design of dual-time sonar transmitter is proposed in this paper, and a prototype is developed. The developed time-sharing dual-channel sonar transmitter is tested in a pool. The experimental results show that the dual-channel sonar transmitter working at time-sharing mode can accurately output the corresponding voltage to meet the requirements of the current and wave measurements by self-contained ADCP.

Key words: acoustic Doppler current profilers (ADCP); self-contained wave ADCP; sonar transmitter; time-sharing working mode

0 引言

波浪是海水运动的形式之一, 也是物理海洋学研究的重要内容, 是海洋预报、减灾防灾、海洋工程和航海安全等领域的重要输入参数之一。研究波浪必须进行波浪观测, 目前进行波浪观测有多种有效的手段, 采用较多的人工测量法, 仪器测量法和遥感反演法。浪流一体的海流波浪 ADCP 是在自容式 ADCP 的基础上增加测波浪的功能, 布置在海底观察波浪的波高与波速。自容式波浪 ADCP 需要 4 个声学波束, 获得海表面附近水质点随波浪运动的轨迹速度, 还需要一个中间垂直波束直接进行波面跟踪, 获得高频率高精度的波面高度数据, 然后采用波浪反演法得出波浪的波高与波速。自容式波

浪多普勒流速剖面仪(Acoustic Doppler Current Profilers, ADCP)需要两发射机获取所需的数据, 一台是四波束发射机, 一台是单波束发射机, 两台发射机工作时间点不同, 发射电压的需求也不同。

1 双路声呐发射机系统组成

自容式波浪 ADCP 所需的双路声呐发射机不需要两台发射机同时工作, 所以可由一组驱动信号实现对两路发射机的控制, 两台发射机分别为发射机 A 和发射机 B。发射机 A 的主要技术指标是: 工作带宽为 580~630 kHz, 4 个波束总的输出功率 $P_{MAX} \geq 300$ W。发射机 B 的主要技术指标是: 工作带宽为 580~630 kHz, 输出功率 $P_{MAX} \geq 20$ W。

分时工作的双路发射机电路主要由产生信号的 FPGA 电路、驱动信号隔离电路、模拟开关选择电路、电容滤波整流电路、驱动信号的放大电路、全桥逆变电路、变压器匹配电路组成, 分时工作的双路声呐发射机的硬件工作流程框图如图 1 所示, 其主要

收稿日期: 2018-03-13; 修回日期: 2018-05-15

基金项目: 国家重点研发计划(2017YFC1403404)、国家重点研发计划(2017YFC0405700-2)

作者简介: 王雪平(1977—), 女, 山东菏泽人, 研究方向为声呐发射机。

通讯作者: 王雪平, E-mail: sky_wxp@126.com

特点是：(1) 采用隔离电路有助于提高驱动信号的抗干扰能力。(2) 采用模拟开关选择驱动信号，两路发射机电路工作频率可以相同，也可选择不同频率的工作方式。(3) 两路发射机的中心工作频率均可到 1MHz，可扩展使用至更高频率的波浪 ADCP。

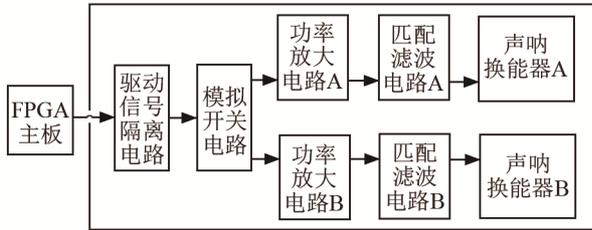


图 1 双路声呐发射机框图

Fig.1 Block diagram of the dual-channel sonar transmitter

1.1 驱动信号的隔离电路

驱动信号隔离电路主要作用是隔开现场可编程门阵列(Field-Programmable Gate Array, FPGA)驱动信号和驱动电路的驱动信号，以避免驱动电路在工作过程中产生的纹波影响到前级，同时一旦全桥逆变电路出现问题，也能保护前级的电路保持继续工作状态。

驱动信号隔离电路中采用的主要隔离芯片是 ADuM1400，这是一款有 4 个通道数字的隔离芯片，其采用新技术可出色地实现隔离性能，不需要众多外围器件，与普通的隔离器件相比，该芯片设计简单，功耗较低^[1]。驱动信号隔离电路如图 2 所示。

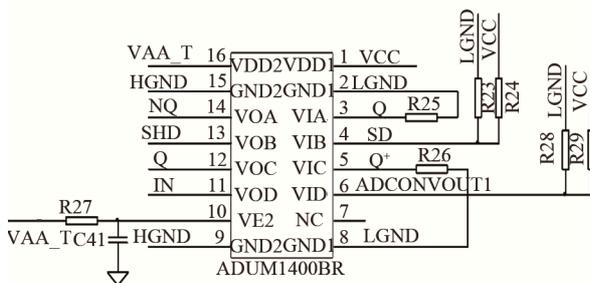


图 2 驱动信号隔离电路

Fig.2 The isolation circuit of driving signals

1.2 模拟开关电路

模拟开关的示意图如图 3 所示，利用信号 S 的高低电平来选择信号 Q 和 NQ 是连通 A 路驱动信号还是连通 B 路驱动信号。本设计选择的模拟开关是 ADG736，此器件内置了两个独立的 CMOS 单刀双掷开关，这些开关具有低功耗、高开关速度、低导通电阻等特性。

ADG736 具有超低的导通电阻，导通电阻在整个模拟信号频率范围内变化不大，可以保证信号在切换时拥有出色的线性度和低失真性能；同时

ADG736 具有极快的开通和关断时间，开通时间为 16 ns、关断时间为 8 ns，这为双路发射机工作频率为 1 MHz 提供了可能，模拟开关电路如图 4 所示。



图 3 模拟开关工作示意图

Fig.3 Working schematic diagram of analog switch

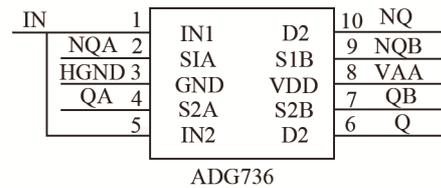


图 4 模拟开关电路

Fig.4 The analog switch circuit

1.3 驱动电路设计

分时工作的两路发射机发射功率不同，为简化电路设计，这两路发射机采用相同的硬件电路。因为分时工作的双路发射机工作频率较高，为了减小在开关过程中功率金氧半场效晶体管(Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor, MOSFET)产生的功耗，必须快速地打开或者闭合功率 MOSFET，所以驱动电路必须有提供较大灌电流和拉电流的能力^[2]。

本设计选用的驱动芯片是 IR2110S，这款驱动器件具有自举浮动电源，其驱动电路的外围器件十分简单，只用一个电源可同时驱动上小桥臂。其主要的工作指标^[3]为

- (1) 可输出高边和低边两路驱动信号；
- (2) 悬浮电源采用自举电路，其高端工作电压可达 500 V；
- (3) 开通和关断延迟小，分别为 120 ns 和 94 ns；
- (4) 输出电流峰值约为 2 A。

IR2110S 驱动电路图如图 5 所示。

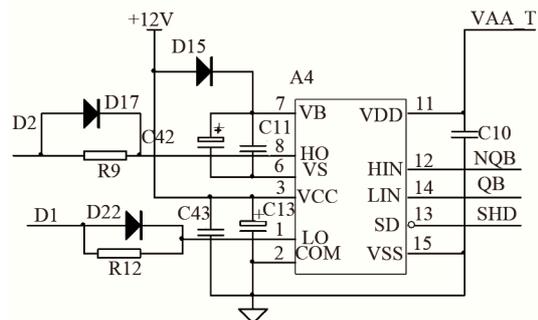


图 5 IR2110S 驱动电路图

Fig.5 The IR2110S driving circuit

1.4 功率放大电路设计

对于大功率发射机的设计选择开关 MOSFET 时,很多参数都需要考虑,如最大栅源电压、最大漏源电压、最大漏极电流、内阻、输入电容、栅电荷等^[4]。

发射机 A 需要输出的最大功率 300 W,考虑损耗及传输效率,实际设计时按输出功率 400 W 计算。电源电压为 24 V,功率管上管压降 $V_{DS}(th)$ 约为 2 V,则流过功放管的最大漏极电流为

$$I_{DS} = \frac{P_o}{V_{DD} - V_{DS}(th)} = \frac{400}{24 - 2} = 18.2 \quad (1)$$

综合考虑选择 MOS 管等诸多因素,发射机 A 选择 IRFR3710 作为功放管。

发射机 B 需输出功率是 20 W,电源电压为 24 V,功率管上管压降约为 2 V,则流过功放管的最大漏极电流:

$$I_{DS} = \frac{P_o}{V_{DD} - V_{DS}(th)} = \frac{20}{24 - 2} = 0.9 \quad (2)$$

综合考虑选择 MOS 管等诸多因素,发射机 B 选择 IRLR3110 作为功放管。发射机 B 的输出功率也可达 400 W,由此可扩展分时工作的双路发射机的用途。

1.5 储能电容设计方法

声呐发射机所发射的信号是根据具体的使用要求来确定发射的脉宽和周期,发射的脉宽和发射机周期都会随着使用要求不同而改变,但是无论脉宽和周期怎样变化,发射机都是在瞬间的发射功率较大。在发射机工作的瞬间,需要提供足够的工作电流,这就需要大量的储能电容来把能量事先储存起来,发射机不工作时给电容充电,在发射机工作时,这些电容释放出储存的能量为发射机提供瞬间大电流^[5]。发射机所需的储能电容可由式(3)~(5)计算:

$$I \times \Delta t = C \times \Delta V \quad (3)$$

$$P = U \times I \quad (4)$$

由此可得:

$$C = \frac{P \times \Delta t}{U \times \Delta V} \quad (5)$$

其中, P 为发射机发射功率, Δt 为发射信号带宽, ΔV 为发射前后电源电压差, U 为电源平均电压, C 为储能电容的总容值。

2 变压器设计原理

由于所采用的水声换能器是电压敏感型换能器,其阻抗值较大,而声呐发射机所输出的电压幅

值取决于电源电压,不可随意改变,为了获得更高的电压需要变压器来耦合声呐换能器负载。变压器是声呐发射机不可缺少的部分,起着十分重要的作用,主要的功能有以下几点^[6]:

(1) 将全桥逆变电路输出的功率高效地传输至声呐换能器上;

(2) 将声呐换能器阻抗等效变换至变压器的初级侧在初级侧等效电路中,其等效电阻

$$R_{等效} = \frac{R_{Lk}}{n^2} \quad (6)$$

其中, n 为变压器的变比。

(3) 声呐换能器端电压和电流变化。通过改变变压器的匝数比,在声呐换能器端实现电压的升高或降低,假设变压器初级线圈匝数为 n_1 ,次级线圈匝数为 n_2 ,变压器的匝数比为 $1:n$,初级电压为 U_{n1} ,次级电压为 U_{n2} ,其单位都为 V,那么存在下列比值关系:

$$\frac{1}{n} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_{n1}}{U_{n2}} \quad (7)$$

2.1 变压器设计

变压器的工作频率取决于发射机的工作频率,根据发射机的工作频率选择变压器的磁性材料,而变压器初级和次级线圈的匝数以及匝数比可由下列方式确定:

(1) 初级的电压: U_{n1} ;

(2) 次级电压 U_{n2} , 变压器的输出功率为 P , 由功率公式 $P = U_{n2}^2 / R_1$, 可得 $U_{n2} = \sqrt{R_1 \times P}$;

(3) 线圈的匝比 $n = U_{n2} / U_{n1}$ 。

得到变压器初级和次级线圈的匝数比后,只要得出初级线圈的匝数,就可计算出变压器次级线圈的匝数。

换能器阻抗等效到变压器的初级侧,其等效阻抗为 R_L / n_s^2 。 L_1 为变压器初级的电感,理论上变压器初级的感抗应远远大于等效阻抗,即 $\omega_s L_1 \gg R_L / n_s^2$,一般取 $\omega_s L_1 \geq 10(R_L / n_s^2)$ 。就可以得出变压器初级线圈的电感量:

$$L_1 \geq \frac{10n_s^2 R_L}{\omega_s} \quad (8)$$

已知变压器的最小的初级电感量,可以通过绕制变压器后,采用阻抗分析仪测量电感的方式确定变压器初级线圈的匝数,从而计算出次级的匝数^[8]。

3 双路发射机实验结果

为了检验双路发射机是否满足设计要求,对双

路发射机进行了功能测试。

图 6 为模拟开关电路输出的一个驱动信号经过模拟开关后输出的两路驱动信号，模拟开关电路能根据工作需要准确地发出驱动信号。图 7 为全桥驱动电路的同一桥臂输出的高端和低端驱动信号，虽然波形的形状不完全是方波，但电压幅值大于 7 V，可以完全打开 MOSFET。

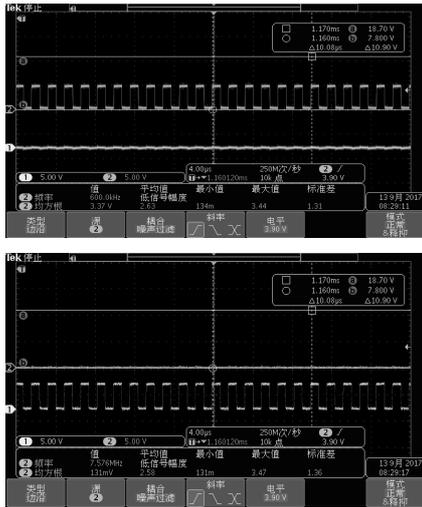


图 6 模拟开关电路输出的两路驱动信号波形
Fig.6 The two channel driving signals output by the analog switch circuit

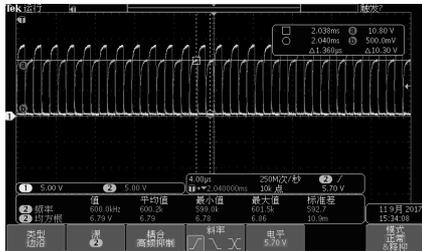


图 7 驱动电路输出的驱动信号波形图
Fig.7 The driving signal output by the driving circuit

图 8、9 分别为发射机 A、B 输出的电压电流波形，图中相位超前的为电流波形，相位滞后的为电压波形。采用示波器的积分功能计算两路发射机输出的有效功率，双路发射机 A 输出的有效功率

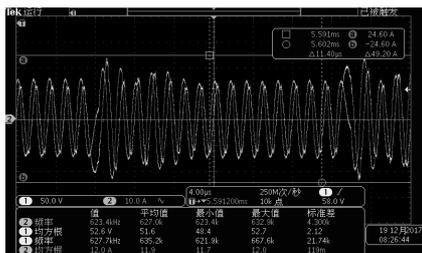


图 8 发射机 A 输出的电压电流波形
Fig.8 The voltage and current waveforms output by the transmitter A

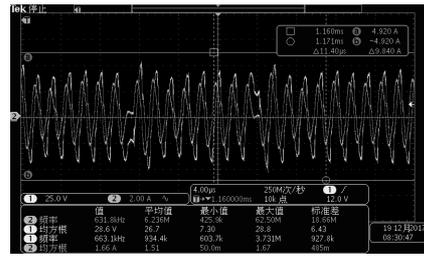


图 9 发射机 B 输出的电压电流波形
Fig.9 The voltage and current waveforms output by the transmitter B

$P_{MAX} \geq 300 \text{ W}$ ，双路发射机 B 输出的有效功率 $P_{MAX} \geq 20 \text{ W}$ ，满足发射机的最大发射功率要求。

4 结束语

本文研制的海流波浪测量仪进行了水池实验，证明这种分时工作的双路声呐发射机能够满足自容式波浪 ADCP 的功率要求，而且能够准确地选择发射机 A 和发射机 B 工作的时间段，这种新型的双路声呐发射机具有足够的工作带宽，工作频率可达 1 MHz，为设计更高频率的自容式波浪 ADCP 提供了可能。

参 考 文 献

- [1] ADI. ADUM1400 Datasheet[DB]. <http://www.analog.com>, 2011.
- [2] 慕慧, 郝亚川. 电动汽车功率驱动单元设计[J]. 计算机测量与控制, 2008, 16(11): 1594-1595.
QI Hui, HAO Yachuan. Design of power driver unit for electric vehicles[J]. Computer Measurement & Control, 2008, 16(11): 1594-1595.
- [3] IR. IR2110S Datasheet[DB/OL]. <http://www.irf.com>, 2011.
- [4] 车平, 覃桂科, 叶健. 高频大功率脉宽调制声呐发射机的研制[J]. 声学及电子工程, 2006, 82(2): 36-38.
CHEN Ping, TAN Guike, YE Jian. Design of high Frequency and high Power Pulse Width sonar Transmitter[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2006, 82(2): 36-38.
- [5] 严孝海. 高频声呐发射机的研究与设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
YAN Xiaohai. Study and design of high frequency sonar transmitter[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008.
- [6] 徐炜. 宽带发射机设计实现[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
XU Wei. Design and implementation of broadband transmitter[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2012.
- [7] 王雪平, 邓镔, 芦山. 减小声呐发射机余振时长的方法研究[J]. 声学技术, 2019, 38(2): 136-139.
WANG Xueping, DENG Kai, LU Shan. Research on reducing residual vibration duration of sonar transmitter[J]. Technical Acoustics, 2019, 38(2): 136-139.
- [8] 王雪平, 邓镔, 吴健波. 一种新型的高频声呐发射机的研制[J]. 现代电子技术, 2017, 40(5): 89-92.
WANG Xueping, DENG Kai, WU Jianbo. A new design of high frequency sonar transmitter[J]. Modern Electronics Technique, 2017, 40(5): 89-92.