

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2013.01.025

相控阵多普勒测流仪发射机电路设计

杭 亮

(中船重工集团公司第七一五研究所, 浙江 杭州 310012)

摘要: 在相控阵多普勒测流仪系统中,发射机是不可或缺的一部分,直接影响到电信号转化为声信号的效率和声信号在水中的传输距离。传统的水下声纳发射机一般采用C类功率放大器,其存在效率低、体积大、功率低及易损坏等缺陷,针对以上出现的问题,开展了对发射机原理及技术指标要求的分析,结合现代音响功放的经验与设计方法,将数字音频功率放大技术应用到水声发射机中,设计了一种高稳定性、高效率的发射机电路,使相控阵换能器与功率放大电路的阻抗得到了很好匹配。实验调试结果表明,该设计达到了发射机功率输出最大化目的,提高了相控阵多普勒测流仪整体性能,能够满足相控阵多普勒测流仪产品化要求。

关键词: 相控阵; 多普勒测流仪; 发射机; 电路; 功率放大器; 匹配网络

中图分类号: TH764; TN832; TM13

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2013)01-0108-03

Design of transmitter circuit of phased-array doppler current profiler

HANG Liang

(The 715th Research Institute of China Shipbuilding Industry Corporation, Hangzhou 310012, China)

Abstract: The transmitter is an essential part of the phased-array Doppler current profiler, which directly affects the power conversion efficiency and transmission distance of the acoustic signals in the water. Class-C power amplifier is often used by the traditional transmitter, which has some shortages such as low efficiency, large size, low power output and instability. Aiming at the above problems, the transmitter principle and technical requirements were investigated. Combined with the design methods and the experience of modern audio amplifier, the integrated digital audio power amplifier technology was applied to the underwater acoustic transmitter. A new design was presented to enhance the stability and efficiency of transmitter circuit, the better impedance matching between power amplifier and transducers was obtained. The experimental results indicate that the transmitter can achieve the purpose of the max power output, improve the overall performance and meet the product requirements.

Key words: phased-array; Doppler current profiler; transformer; circuit; power amplifier; matching network

0 引 言

相控阵多普勒测流仪是以相控阵原理为基础,利用声波在水中的多普勒效应而制成的一种高性能测量流速和流向的仪器,该产品主要应用于港口海流监测以及内河流水纹监测。目前,国外市场上已有类似测流设备,在国内市场上利用相控阵技术的情况还很罕见^[1]。

为了发挥测流仪相控阵的优势,发射机必须有较高的声源级和可靠的稳定性,发射机性能的好坏直接影响到相控阵的作用距离和工作频带等性能,从而也关系到测流仪的整体工作状态^[2]。

本研究提出一种采用D类功率放大、输出功率可调的水声信号发射机,该发射机具有效率高、体积小及抗干扰能力强等特点。

1 发射机的原理和组成

发射机主要由信号产生模块,功率放大器、保护自检电路、匹配滤波模块及换能器组成,原理框图如图1所示。

信号处理板输出脉冲信号,经驱动电路输出功率放大器控制信号,经功率放大和匹配电路后,驱动相控阵换能器工作,将电信号转化为声信号,发射到水中^[3]。

收稿日期: 2012-09-21

作者简介: 杭 亮(1984-),男,江苏盐城人,主要从事硬件电路设计方面的研究. E-mail:hangliang715@163.com

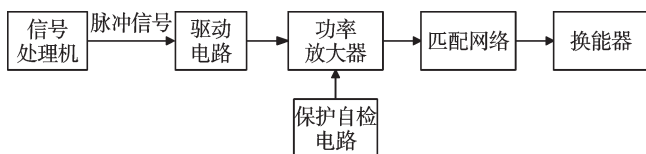


图1 发射机原理框图

发射机的主要设计指标为输出功率不小于 100 W, 两路输出信号相位差 180° , 误差 $\leq 1.5^\circ$, 幅度不一致性 ≤ 1 dB。

1.1 驱动电路

驱动电路主要功能是: 利用门电路形成两路控制信号, 经驱动芯片 IR4427 驱动放大信号以控制功率放大电路中 IGBT 开通断状态^[4]。

驱动电路框图如图 2 所示。

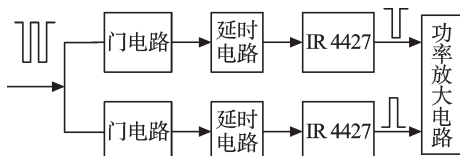


图2 驱动电路框图

为了防止功率放大器中功率管同时开通, 引起短路烧坏, 本研究采用 RC 延时, 将两路信号间隔开, 间隔时间为 200 ns 左右。

1.2 功率放大电路

为了降低相控阵多普勒测流仪整体功耗, 该设计采用了推挽式 D 类功率放大器, 该放大器的效率可高达 90% 以上, 在感性负载时, 转换效率更高, 并且具有体积小、重量轻及发热量小等优点^[5-6]。

该功率放大器基本原理如图 3 所示。

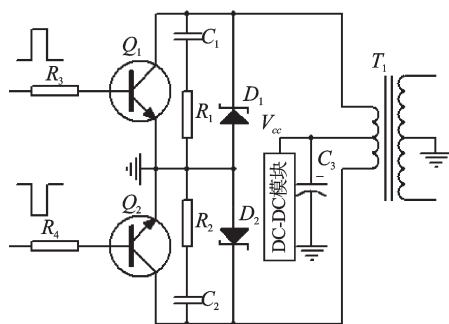


图3 功率放大器

图 3 中, 当 Q_1 导通时 Q_2 截止, 线性可调 DC-DC 模块输出高压经变压器初级线圈与 Q_1 形成回路。 Q_2 导通时 Q_1 截止, DC-DC 模块输出高压 V_{cc} 经变压器初级线圈与 Q_2 形成回路, 两个半周期的信号经过变压器耦合放大后, 输出完整的正弦波信号。其中, C_1 , R_1 和 C_2 , R_2 组成电压尖峰网络, 防止漏源极间电压过高, D_1 , D_2 为稳压二极管, R_3 , R_4 为限流电阻, C_3 为储能电容。

1.2.1 储能电容容值

鉴于该发射机技术条件要求, 单路输出功率不小

于 50 W, 按惯例功率管输出应该不小于 $P' = 1.5 P = 75$ W。该功率放大器高压为 30 V, 当发射信号时瞬间电流很大, 所以本研究通过并联 C_3 储能电容方式提高驱动能力。

电容容值计算:

$$Q = P' \cdot \gamma \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{2}(V_1^2 C - V_2^2 C) \quad (2)$$

$$C \geq \frac{2P' \cdot \gamma}{V_1^2 - V_2^2} \quad (3)$$

式中: P' —发射功率, γ —发射信号最大脉宽长度, Q —电容能量, V_1 —发射前电压, V_2 —发射后电压, C —电容容值。

其中 $P' = 75$ W, $\gamma = 4$ ms, $V_1 = 30$ V, 按电容下降 5% 计算, $V_2 = 28.5$ V, 则 $V_2 = 6857$ μ F, 该设计中取 10 000 μ F/50 V 电容, 完全满足发射需求。

1.2.2 变压器参数

变压器初次级线圈匝比 $n = U_1/U_2$, 其中:

$$U_1 = V_{cc} - V_{ce} = 30 \text{ V} - 2 \text{ V} = 28 \text{ V}$$

$$U_2 = \sqrt{P \cdot R_L} = \sqrt{50 \cdot 102} \approx 71 \text{ V}$$

式中: U_1 —变压器初级线圈电压, U_2 —一次级输出电压, V_{cc} —DC-DC 输出最大电压, V_{ce} —功率管压降, P —单路输出功率, R_L —等效负载。

变压器的匝数比为:

$$n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{28}{71} \approx \frac{1}{2.5}$$

实际使用中, 匝数比取理论值的 1.5 倍, $n = 1/3.75$, 该设计中匝数比取 1:3.8。

变压器初级线圈电感量^[7-8]为:

$$L_1 = \frac{15n^2 R_L}{2\pi f_0} = \frac{15 \cdot (1/3.8)^2 \cdot 102}{2 \cdot 150 \cdot 10^3 \pi} \approx 0.1 \text{ mH}$$

式中: f_0 —测流仪工作频率。

现已知初级线圈电感量, 可确定变压器初级线圈匝数, 从而推出次级线圈匝数, 该设计中变压器为外协厂商定做。

1.2.3 功率管选择

功率管最大电流为:

$$I_{\max} = \frac{P}{V_{cc} - V_{ce}} = \frac{75}{30 - 2} \approx 2.7 \text{ A}$$

功率管开关时间为:

$$t \leq \frac{1}{10} t_{on} = \frac{1}{10} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{f_0} \approx 0.33 \mu\text{s}$$

式中: t_{on} —功率管开通时间; f_0 —信号频率, 150 kHz。

功率管最大方向电压:

$$V_{CM} \geq 2V_{cc} = 60 \text{ V}$$

该电路中选取了N沟道的IGBT管40N6S2D^[9],该功率管大量应用于大功率的开关电路中,各项参数都符合设计要求。

1.3 匹配网络

该设计采用串联电感匹配,可以有效抑制电源输入方波中谐波,减轻功率管负担^[10-11]。

电感串联匹配示意图如图4所示。

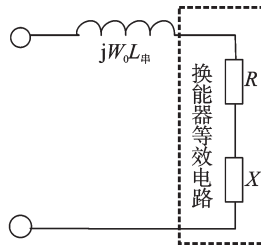


图4 电感串联匹配

由测流仪换能器水池测试报告可知,换能器在150 kHz的电导 $G=8.2510 \text{ mS}$, 电纳 $B=2.0310 \text{ mS}$ 。则:

$$L_{\text{串}} = \frac{B}{\omega_0(G^2 + B^2)} \approx 0.186 \text{ mH}$$

2 实验验证

该实验通过测量发射换能器两端电压峰峰值 V_{pp} , 计算出负载功率,换能器上所测正弦波如图5所示。

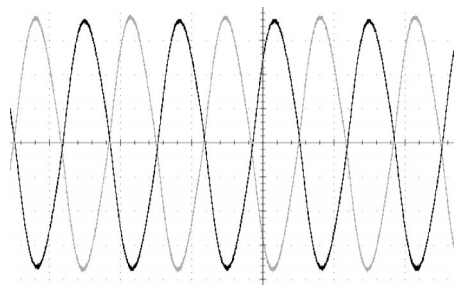


图5 电感串联匹配

图5中: $V_{\text{pp}} \approx 235 \text{ V}$, 笔者计算出换能器全阵负载功率 $P = V_{\text{pp}}/4R_L \approx 135 \text{ W}$, 符合输出功率大于100 W, 两路信号相位误差 1° , 幅度不一致性小于1 dB, 符合设计要求。此外,该发射机在水池(国家水声一级计

量站测量)测量,声源级最高达217 dB。在千岛湖试验站,测流仪最远作用距离280 m,完全达到预期设计指标200 m。

3 结束语

本研究结合了便捷式水声通信设备的特征,设计了一种小型高性能的水声信号发射机,发射机采用了D类推挽式功率放大器,进行了精确的阻抗匹配,使得换能器能获得最大的输出功率,增加了测流仪作用距离。该发射机已经装列在测流仪的正式产品之中,经过两年多的水池、湖试测试以及市场客户使用反映,其故障率低,实际应用结果表明该发射机具有较高稳定性,从而提高了测流仪整体质量。

参考文献(References):

- [1] 田 坦,刘国枝,孙大军. 声纳技术[M]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2005.
- [2] 邹明达,徐继渝. 船用测速声纳原理及其应用[M]. 北京:人民交通出版社,1992:20-51.
- [3] 严孝海. 高频声纳发射机研究与设计[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2008.
- [4] 谢嘉奎,宣月清,冯 军. 电子线路[M]. 北京:高等教育出版社,2003.
- [5] 苏开才,毛宗源. 现代功率电子技术[M]. 北京:国防工业出版社,1995:35-65.
- [6] 林 云. D类功率放大器的原理与应用[J]. 电子制作,2007(11):50-60.
- [7] 王瑞华. 电子变压器设计手册[M]. 北京:北京科学技术出版社,2003.
- [8] 吴运发. 水声宽带换能器匹配技术研究[J]. 声学技术,2000,19(2):60-89.
- [9] 陈清山. 世界最新晶体管代换手册[M]. 北京:高等教育出版社,2003:23-44.
- [10] 魏守水. 超声电机阻抗匹配变压器的设计[J]. 电机与控制学报,2000,4(1):14-16.
- [11] 鲍惠善. 压电换能器的动态匹配[J]. 应用声学,1998,17(2):14-21.

[编辑:李 辉]

(上接第97页)

- [5] 王惠文,黄海军,苏建宁. 基于样条变换的PLS回归的非线性结构分析[J]. 系统科学与数学,2008,28(2):243-250.
- [6] 刘波平,秦华俊,罗 香,等. PLS-GRNN法近红外光谱多组分定量分析研究[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(11):2216-2220.
- [7] 王建星,付忠广,靳 涛,等. 基于广义回归神经网络的机组主蒸汽流量测定[J]. 动力工程学报,2012,2(2):130-134.
- [8] 傅荟璇,赵 红. Matlab神经网络应用设计[M]. 北京:机械工业出版社,2010.

- [9] GEORGE D, PARTHA N, JONATHAN S, et al. Prediction of rib fracture injury outcome by an artificial neural network [J]. **Journal of Trauma-Injury Infection & Critical Care**, 1995, 39(5):915-921.
- [10] BASTIEN P, VINZI V E, TENENHAUS M. PLS generalized linear regression[J]. **Computational Statistics & Data Analysis**, 2005, 48(1):17-46.

[编辑:李 辉]