

强声脉冲对接收机的干扰压制特性仿真

崔小明, 骆伟

(工业和信息化部电子第五研究所, 广州 510610)

摘要: 近年来, 水下等离子体强声技术的突破性进展以及其在管道除垢、污水处理、海洋地质勘探、水下目标探测等领域取得的显著成果和成功应用, 为我们提供了一个新思路: 采用水下等离子体强声脉冲来干扰鱼雷自导接收系统, 直至使其自导接收系统阻塞致盲, 达到压制效果; 分析了某型鱼雷自导接收机电路原理, 建立了基于 Multisim 的接收机预处理电路仿真模型, 最后仿真分析了强声脉冲在距离声源 100 m、200 m、500 m、1 000 m、2 000 m、3 000 m、5 000 m 时对接收机的干扰压制特性; 研究成果对水下等离子体超宽带脉冲的工程应用具有重要的参考价值, 同时, 对研究鱼雷接收机系统的抗干扰特性具有一定的借鉴价值。

关键词: 强声脉冲; 接收机; 干扰压制

Simulation of Interference and Suppression Characteristics of Receiver by High Acoustic Pulse

Cui Xiaoming, Luo Wei

(CEPREI, Guangzhou 510610, China)

Abstract: In recent years, with strong underwater plasma technology breakthrough and its descaling in pipe, sewage treatment, ocean geological exploration, underwater target detection in the areas of significant achievements and successful application, provides us a new way of thinking; using underwater plasma intensity acoustic pulses with the torpedo homing system, reception to make its homing receiving system blocking blindness, suppressing effect. The circuit principle of a torpedo homing receiver was analyzed, and a simulation model of the receiver preprocessing circuit based on Multisim was established, finally, the interference and suppression characteristics of the strong sound pulse at distances of 100 m, 200 m, 500 m, 1 000 m, 2 000 m, 3 000 m and 5 000 m to the receiver were simulated and analyzed. The research results have important reference value for the engineering application of underwater plasma ultra-wideband pulse, and have certain reference value for the research of anti-jamming characteristics of torpedo receiver system.

Keywords: high acoustic pulse; receiver; interference suppression

0 引言

随着现代鱼雷技术智能化和自导方式多样化等方面的快速发展, 对反鱼雷技术提出了更高要求^[1-3]。反鱼雷技术总体来说可以分为软杀伤和硬杀伤两大类型, 其中软杀伤是通过利用噪声或信号发生器来伪装舰艇, 对鱼雷进行干扰和诱导, 而硬杀伤则是用硬手段直接摧毁来袭鱼雷。

近年来, 随着水下等离子体强声技术^[4]的突破性进展以及其在管道除垢、污水处理、海洋地质勘探、水下目标探测^[5]等领域取得的显著成果和成功应用, 采用水下等离子体强声脉冲来干扰鱼雷自导接收系统, 直至使其自导接收系统阻塞致盲, 达到压制效果, 是一种比较有效和可行的方法。

鱼雷自导接收系统接收到的声压信号要先经过换能器的转换, 然后再到达接收机预处理电路进行放大、滤波等后续处理。由于传播后的强声直接作用在声换能器上, 因此要研究强声脉冲对自导接收机的干扰压制影响, 首先应当研究对

换能器的影响, 再研究对接收机预处理系统的影响。

本文分析了某型鱼雷自导接收机电路原理, 建立了基于 Multisim 软件的水声换能器和接收机预处理的电路仿真模型, 使用测试采集的强声脉冲数据作为输入, 仿真分析了强声脉冲对接收机的干扰压制特性。研究成果对水下等离子体超宽带脉冲的工程应用具有重要的参考价值, 同时, 对研究鱼雷接收机系统的抗干扰特性具有一定的借鉴价值。

1 水下等离子体强声脉冲产生系统概述

前苏联科学家尤特金于 1955 年提出的“液电效应”^[6]是水下等离子体技术的提出和发展的重要理论支撑。尤特金提出的“液电效应”其工作原理是利用电容器储能并通过置于流体介质中的放电电极在特别短的时间内来快速地产生脉冲放电, 在放电的过程中, 会将流体介质迅速气化, 同时产生高温高压的等离子体, 进而在流体介质中产生巨大的冲击波并释放出强烈的热、光、声辐射的现象。水下等离子体产生的脉冲声波具有输出功率大、声源级高、频谱范围宽、可聚焦、作用距离远、易控制等多种优点。

在实验室中, 产生等离子体的方法和途径有很多, 如气体放电、激光压缩、射线辐照及热电离等, 但最常见、

收稿日期: 2019-12-31; 修回日期: 2020-03-20。

作者简介: 崔小明(1989-), 男, 陕西旬邑人, 硕士研究生, 主要从事软件及信息可靠性相关的方向的研究。

最主要的还是气体放电法^[7]。根据“液电效应”理论，要产生水下等离子体，继而产生强声脉冲，声源必须具备以下几个条件：

- 1) 有储能单元，可以把外界供给的能量（主要是电能）储存起来；
- 2) 为了提高瞬时放电功率，需要储能单元存储足够高的能量，同时体积尽可能地小，也就是要求储能密度高；
- 3) 有能隔离充电电路和放电电路的部件，并在需要时可通过触发器导通放电电路，其导电电阻和寄生电感应足够小；
- 4) 放电电极的设计，要使两电极间形成足够不均匀的电场，以便形成“液电效应”。

根据以上几点要求，水下等离子体强声源应由 6 个部分所组成，即高压发生器、控制器、储能单元、触发电路、触发电极和放电电极，其基本结构如图 1 所示。

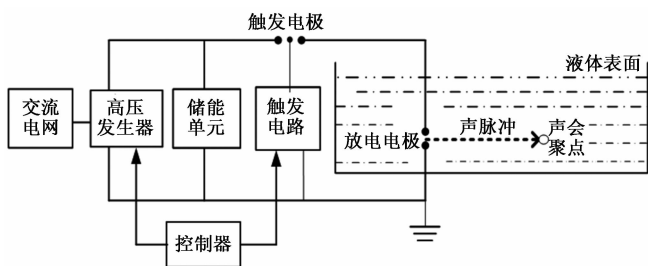


图 1 水下等离子体强声源基本结构

2 水声换能器的等效电路建模及仿真

水下声信号在发射声信号和接收声信号时普遍使用的是水声换能器，水声换能器可以把水下声信号和电信号相互转换。在海水下传递消息时，在发射端是将电信号转变为水下声信号后再将消息传至目的地，而在接收端正好相反，是把接收的水下声信号转变为电信号后再进行处理。

水声换能器的性能会直接影响到强声脉冲信号对接收机预处理电路的压制干扰特性。为了建立数据匹配的水声换能器，以及研究分析水声换能器的性能，通常需要测量建立水声换能器的等效电路模型来进行仿真分析研究。本文为了建立数据匹配的水声换能器等效电路，通过研究分析后根据导纳圆图法^[8]得到换能器的等效电路。

通过分析，使用电路仿真软件 Multisim 对得到的水声换能器的等效电路进行仿真，分析水声换能器的等效电路在强声脉冲下的响应特性。仿真电路如图 2 所示，其中 V1 为分段线性电压源，XSC1 为双通道示波器。

实际情况中某型自导接收换能器的接收灵敏度在 -188 ~ -180 dB 之间，此处假设为一 180 dB，仿真计算换能器等效电路在 200 m 距离的强声脉冲下的输出时域波形如图 3 所示，将此波形作为换能器等效电路的输入，得到换能器在 200 m 距离的强声脉冲下的响应波形如图 4 所示。

由图 4 可以看出，单个强声脉冲作用在换能器后使换能器产生了一定持续时间的振荡，振荡持续了约 30 ms 的时间，特别是在强声脉冲的附近振荡幅度较大。由于自导

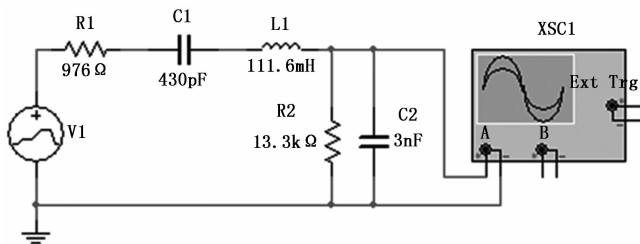


图 2 水声换能器仿真等效电路

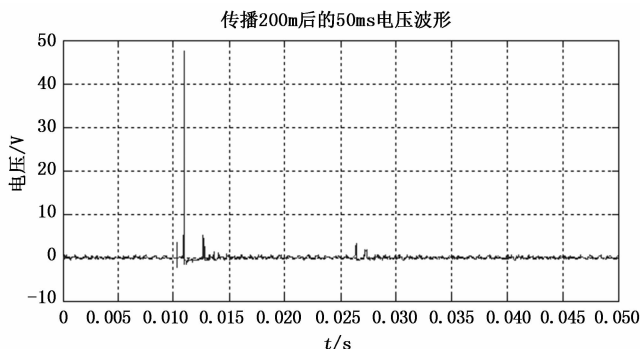


图 3 水声换能器等效电路的输入波形

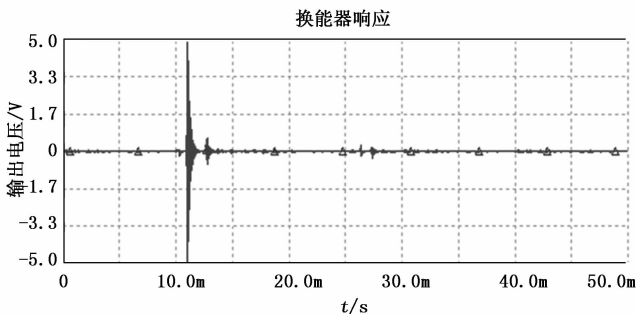


图 4 水声换能器等效电路的响应波形

系统的接收换能器的接收灵敏度比一般的水声换能器高，因此可推测自导系统的接收换能器在强声脉冲的干扰下会产生振荡，且幅值较大。

3 接收机预处理等效电路建模

在水下实际的环境中，接收机预处理电路系统把水声换能器接收到的水声信号进行滤波放大，水声换能器的输出是模拟的电压信号，因此预处理电路也是先把模拟电压信号进行滤波放大，再利用接收机预处理后续电路对电压信号进行数据处理分析。

在本文中，为了使强声脉冲对接收机的影响研究更贴近实际产品，参考某国某型自导接收机预处理系统，第一级滤波放大使用选频滤波，使用电容电感形成串联谐振进行选频，并使用共射级放大。共射级电路既有电压增益又有电流增益，但作为电压或是电流放大器，它的输入和输出电阻并不理想，即在电压放大时，输入电阻不够大且输出电阻又不够小；而作为电流放大时，则输入电阻又不够小且输出电阻又不够大。第二级和第三级也选用共射级

放大, 第三级后面是一个选频网络, 第四级是共集电极放大, 共集电极的输入电阻大而输出电阻小, 故接近理想电压放大器, 但电压放大倍数却小于 (接近) 1, 因此, 共集电路在此作为多级放大器的输入输出级, 实现阻抗变换, 即将高阻的输入电压几乎不衰减地变换为低阻电压源, 或将低阻负载变换为高阻负载, 从而有利于电压的放大传输。每一级电路的输入端都并联了两个开关二极管来限幅。对于后续处理电路^[9-10], 本论文将不做介绍。因为强声脉冲对接收机的影响主要是在预处理电路初级。

建立的接收机预处理仿真等效电路模型如图 5 所示。

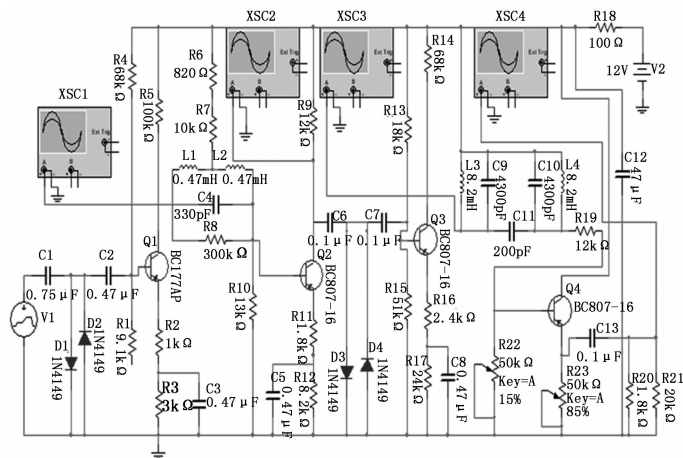


图 5 接收机预处理仿真等效电路

用 Multisim 的波特仪分析接收机预处理仿真等效电路的频率响应如图 6 所示。

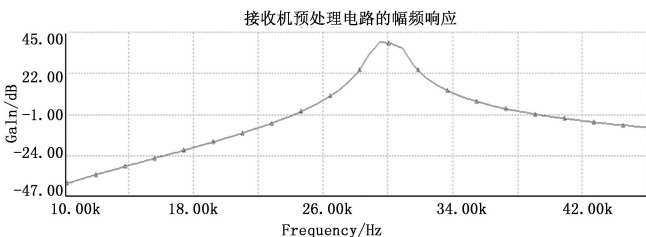


图 6 接收机预处理等效电路的幅频响应

可以看出等效电路在 30 kHz 的频率响应最大, 故在输入端加入一个 30 kHz、100 mVpp 的信号, 如图 7 所示。分析接收机在正常情况下的输出, 如图 7 所示。

从图 7 中可以看出, 输入信号经过接收机预处理等效电路的第一级滤波放大了 5 倍, 而经过前两级总共放大了 10 倍, 经过三级总共放大了 75 倍, 经过 200 μs 的时间后, 电路基本进入稳定工作状态, 增益保持稳定。

4 强声脉冲对接收机预处理的干扰压制特性的仿真

本文中, 用来进行仿真研究的实验数据是一个通过湖试采集的单频水下强声脉冲^[5], 在采集的湖试原始数据基础上, 充分考虑原始数据的有效性及分布的情况下, 以及鉴于本文的研究重点和目的, 基于 UWB 脉冲的峰

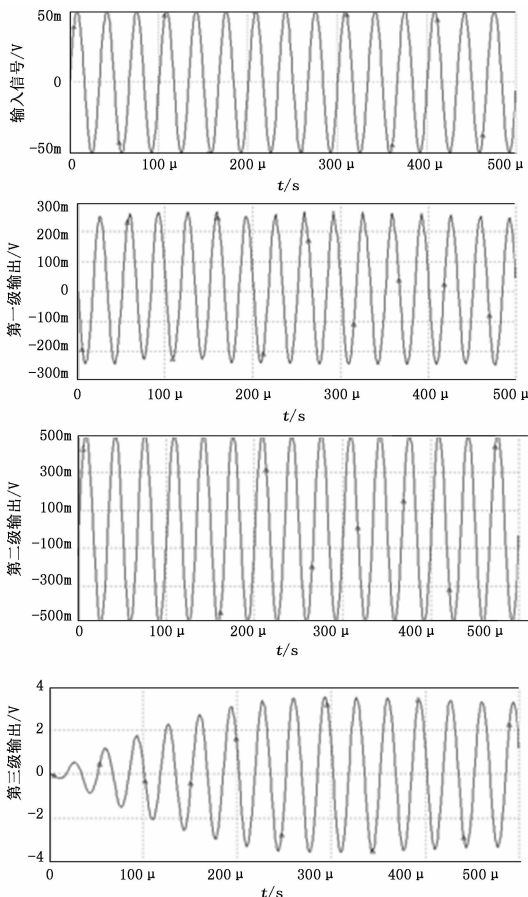


图 7 接收机预处理等效电路的输出

值频率设计^[11-13], 在有效保留强声脉冲峰值数据的前提下, 假设强声脉冲的其余数据都为零, 使用 Matlab 软件通过编码重新整合原始的湖试数据, 得到了用于本文仿真分析的强声脉冲。

根据上一节建立的接收机预处理等效电路模型, 利用仿真软件 Multisim, 本文仿真研究了强声脉冲在距离声源 100 m、200 m、500 m、1 000 m、2 000 m、3 000 m、5 000 m 时对接收机预处理等效电路的干扰压制特性。

如图 8 所示, 仿真研究了强声脉冲在距离声源 100 m 时对接收机预处理电路的各级电路的干扰压制特性。

由图 8 可以看出, 接收机预处理电路的各级电路在距离声源 100 m 的强声脉冲的作用下均产生了不同幅度的振荡波形, 从第一级到第三级, 电路的振荡峰值变化不大 (原因是该接收机每一级均使用二极管输入限幅保护电路), 振荡波形却逐渐减小。

如图 9 所示, 仿真研究了强声脉冲在距离声源 100 m 距离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

由图 9 可以看出, 接收机预处理电路在距离声源 100 m 距离处的强声脉冲作用下, 产生了振荡波形, 振荡幅度接近 3 000 mV, 可以看出接收机预处理电路处于非正常状态, 强声脉冲对接收机预处理电路的干扰和压制效果明显。

如图 10 所示, 仿真研究了强声脉冲在距离声源 200 m 距

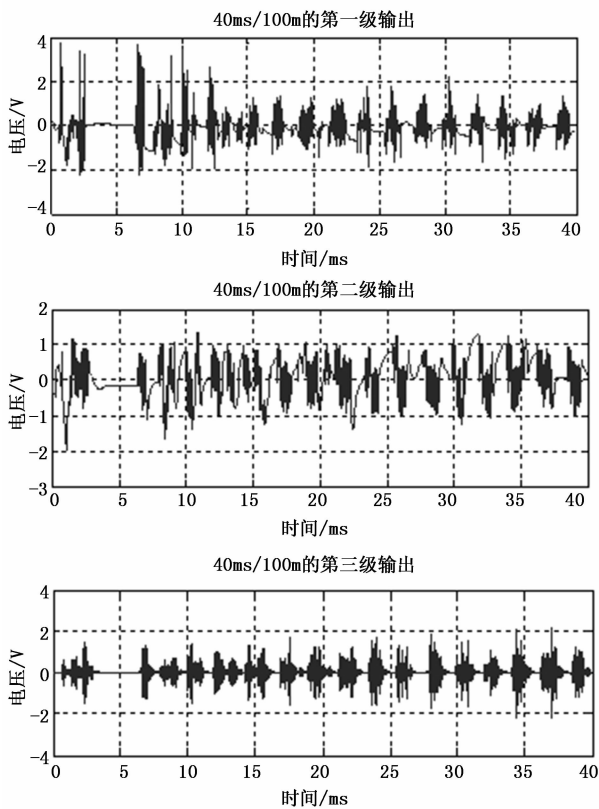


图 8 接收机预处理电路的各级电路的输出

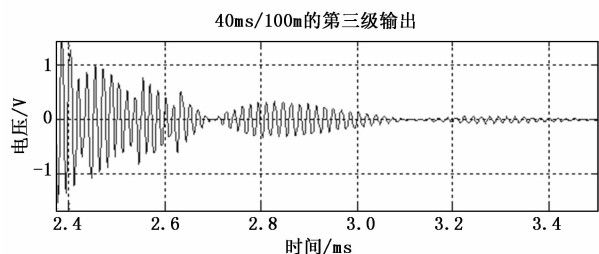


图 9 接收机预处理电路在 100 m 处的最后一级的输出

离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

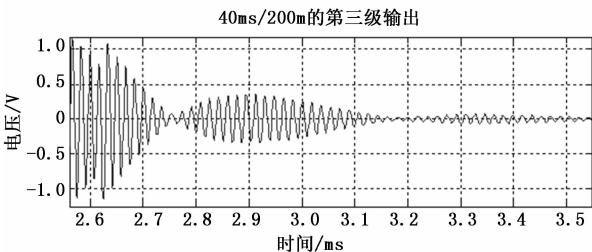


图 10 接收机预处理电路在 200 m 处的最后一级的输出

由图 10 可看出,接收机预处理电路在距离声源 200 m 距离处的强声脉冲作用下,产生了振荡波形,振荡幅度超过 2 000 mV,可以看出接收机预处理电路处于非正常状态,强声脉冲对接收机预处理电路的干扰和压制效果明显。

如图 11 所示,仿真研究了强声脉冲在距离声源 500 m 距

离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

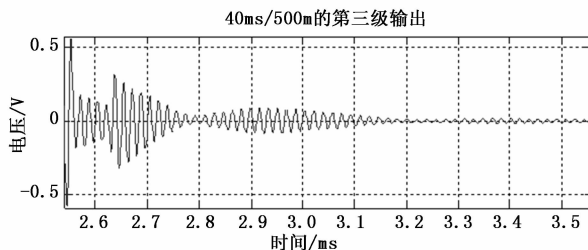


图 11 接收机预处理电路在 500 m 处的最后一级的输出

由图 11 可看出,接收机预处理电路在距离声源 500 m 距离处的强声脉冲作用下,产生了振荡波形,振荡幅度达到 1 000 mV,可以看出接收机预处理电路处于非正常状态,强声脉冲对接收机预处理电路产生干扰和压制。

如图 12 所示,仿真研究了强声脉冲在距离声源 1 000 m 距离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

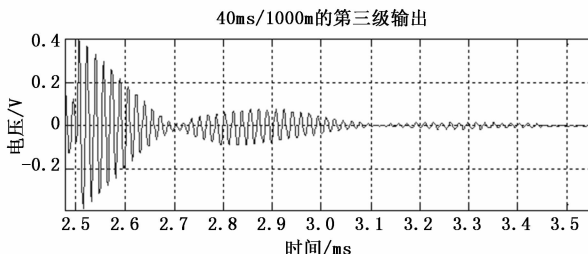


图 12 接收机预处理电路在 1 000 m 处的最后一级的输出

由图 12 可以看出,接收机预处理电路在距离声源 1 000 m 距离处的强声脉冲作用下,产生了振荡波形,振荡幅度在 800 mV 左右,振荡幅度随着强声脉冲的作用距离增大而减小减缓,但强声脉冲仍对接收机预处理电路产生干扰和压制。

如图 13 所示,仿真研究了强声脉冲在距离声源 2 000 m 距离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

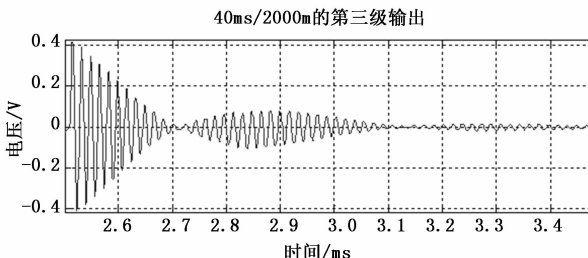


图 13 接收机预处理电路在 2 000 m 处的最后一级的输出

由图 13 可看出,接收机预处理电路在距离声源 2 000 m 距离处的强声脉冲作用下,产生了振荡波形,振荡幅度在 800 mV 左右,与距离声源 1 000 m 接收机预处理电路产生的振荡变化不大,可以认为此时强声脉冲因距离的变化对接收机预处理电路的干扰和压制作用变化不大。

如图14所示,仿真研究了强声脉冲在距离声源3 000 m距离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

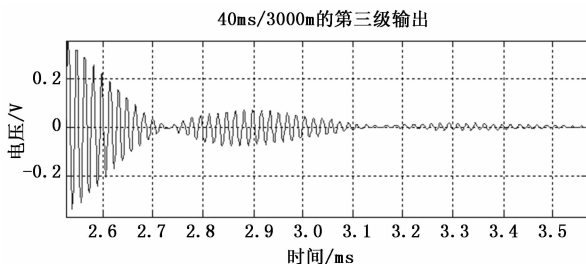


图14 接收机预处理电路在3 000 m处的最后一级的输出

由图14可看出,接收机预处理电路在距离声源3 000 m距离处的强声脉冲作用下,产生了振荡波形,振荡幅度大幅度减小至400 mV左右,可以认为此时强声脉冲对接收机预处理电路的干扰和压制很微弱。

如图15所示,仿真研究了强声脉冲在距离声源5 000 m距离处对接收机预处理电路的最后一级电路的干扰压制特性。

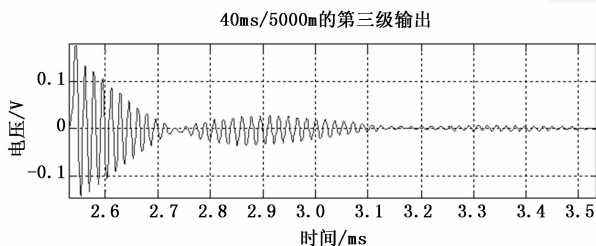


图15 接收机预处理电路在5 000 m处的最后一级的输出

由图15可看出,接收机预处理电路在距离声源5 000 m距离处的强声脉冲作用下,产生的振荡幅度在200 mV左右,此时强声脉冲对接收机预处理电路的干扰和压制已经非常微弱。

综上所述,接收机预处理电路在不同距离的强声脉冲作用下,产生了不同幅度的振荡,从图9~图13中可以明显看出,强声脉冲在距离声源小于2 000 mV时对接收机预处理电路产生了振荡波形,可以认为在这种情况下,接收机预处理电路处于非正常状态下工作,强声脉冲的干扰和压制效果明显;从3 000 m和5 000 m的仿真结果可以看出,电路的振荡幅度小于400 mV,可以认为此时强声脉冲对电路的压制作用已经很微弱,但还是有一定干扰效果。

5 结束语

本文建立了换能器和接收机预处理电路的仿真模型,通过仿真分析,主要研究了强声脉冲对接收机预处理的干扰压制特性。本文中,对水下强声脉冲对鱼雷自导接收系统干扰压制进行分析建模,利用仿真软件Multisim对强声脉冲在不同距离处对接收机预处理的干扰压制特性进行了仿真研究。研究表明,接收机预处理电路在不同距离的强声脉冲作用下,产生了不同幅度的振荡,可以认为在这种情况下,接收机预处理电路处于非正常状态下工作,干扰

和压制效果明显。而当强声脉冲在距离声源3 000 m后对接收机预处理电路进行干扰压制时,电路的振荡幅度小于400 mV,可以认为此时强声脉冲对电路的压制作用微弱,但还有一定的干扰效果。

从本文的研究可以看出,水下定向强声脉冲技术利用水下等离子体放电产生强声脉冲,通过聚焦在一定方向上可以形成高功率的声波脉冲,这种直接能量技术作为一种有效的硬杀伤手段可以大大提高舰艇防御能力;同时,在声波的强度尚达不到硬杀伤效果时,又可成为一个强的水声干扰源。利用该技术研制的强声压制器具有大功率宽频带的特点,通过发射这种大功率宽带噪声来阻塞自导鱼雷的接收机,从而达到使声自导系统致盲的效果,该技术是今后水下防御的发展方向之一。

本文研究成果对水下强声脉冲的工程应用具有重要的参考价值,同时,对研究鱼雷接收机系统的抗干扰特性具有一定的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 姚蓝,刘平香.反鱼雷水声对抗技术的现状与发展[J].声学技术,2001,20(4):183-187.
- [2] Fennigkoh L, Traner M, Reimer D. Characteristics and performance of lithotripter electrodes[J]. Journal of Clinical Engineering, 1990, 15(1): 23-28.
- [3] Touryan K J, Touryan L A, Benze J W. An innovative use of pulsed power technology for separation of minerals from ores[A]. Proc. 8th IEEE Int. Pulsed Power Conf. [C]. San Diego, CA, USA: IEEE, 1991: 90-93.
- [4] 张延宗,郑经堂,陈宏刚.高压脉冲放电水处理技术的理论研究[J].高电压技术,2007,33(2):136-140.
- [5] 卢万,李钊.国外反鱼雷水声对抗技术与发展趋势[J].舰船电子对抗,2008,31(1):50-53.
- [6] 尤特金,家珊.工程技术.液电效应[M].北京:科学出版社,1962.
- [7] 李宁,陈建峰,黄建国,等.各种水下声源的发声机理及其特性[J].应用声学,2009,29(4):1-8.
- [8] 乔子棕,雷开卓,张群飞.声自导换能器在强声脉冲下的响应特性分析[J].鱼雷技术,2011,19(1):0187-0191.
- [9] 王世清,张群飞,雷开卓,等.强干扰下接收机电路动态过程仿真[J].计算机工程与应用,2010,46(9s):361-364.
- [10] Yang L, Giannakis G B. Ultra-wideband communications: an idea whose time has come[J]. Signal Processing Magazine, IEEE, 2004, 21(6): 26-54.
- [11] Nakache Y P, Molisch A F. Spectral shaping of UWB signals for time-hopping impulse radio[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(4): 738-744.
- [12] 邹卫霞,张春青,周正.基于峰值频率设计UWB脉冲的算法[J].通信学报,2006,26(9):74-78.
- [13] 张洪欣,吕英华,贺鹏飞,等.一种基于脉冲压缩的UWB成形脉冲设计方法[J].北京邮电大学学报,2007,29(1):132-135.