

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.03.09

基于 F-P 滤波器的高速驱动电路设计与仿真

孙义斌, 盛楠

(中航工业北京长城计量测试技术研究所 光纤传感技术中心, 北京 100095)

摘要: 法布里-珀罗 (F-P) 滤波器是基于 F-P 原理解调仪表中的核心器件。F-P 滤波器在高速驱动情况下会出现非线性和振铃现象, 从而影响使用。本文提出了采用 OPA552 芯片与三极管的方案进行电路设计, 通过电路仿真实验可以验证, 此设计方案解决了高速驱动情况下产生的问题。

关键词: F-P 滤波器; 高速驱动电路; 设计; 电路仿真; OPA552 芯片; 三极管

中图分类号: TB21; TN713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5795 (2016) 03-0034-05

Design and Simulation of High-speed Driving Circuit for a F-P Filter

SUN Yibin, SHENG Nan

(Optical Fiber Sensor Technology Center, Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: Fiber grating technique has gained more and more application in various fields as its rapid development. An F-P filter is the core component of a fiber interrogator based on F-P technique. There will be non-linear and ringing phenomena in the high-speed driving circuit for the F-P filter. This paper presents one scheme to the circuit design based on OPA552 and audions. Through the circuit simulation and experimental verification, this design scheme can solve the problems in the high-speed driving conditions.

Key words: F-P filter; high-speed driving circuit; design; circuit simulation; OPA552; audions

0 引言

近年来, 光纤传感及解调技术的应用范围越来越广, 凭借其独特的技术特点, 已逐步成为计量测试领域的重要组成部分。光纤光栅传感系统关键技术是通过解调仪表解调波长信号从而反映出被测量的变化情况。随着应用领域的不断拓展, 对解调仪表的各项指标提出了更高的要求, 例如提高仪表的信号扫描频率。目前比较成熟的解调技术大多基于 F-P 滤波器, 在这种基于 F-P 原理的仪表中, 滤波器的工作频率将直接影响仪表的信号扫描频率。

F-P 滤波器的基本结构是由一对平行的高反射镜以及高反射镜之间的法珀腔构成。光纤 F-P 可调滤波器 (FFP) 是基于全光纤 F-P 标准具技术的特殊的可调谐滤波器, 它允许波长与 F-P 腔长度有倍数关系的光通过, 而其他波长的光按照爱里函数衰减。全光纤 F-P 可调谐滤波器特性非常接近爱里函数, 得到的结果也非常接近理论的数学模型, 再加上其低损耗、大动态

范围、高隔离度及高精度功率和波长测量等特点, 使其在光学性能监测及光纤传感器和光纤解调仪表领域有着很广泛的应用。

在基于 F-P 原理的高速光纤光栅解调仪表的研制过程中, 根据不同的应用环境, 需要提高核心器件 F-P 滤波器的扫描频率, 在特殊情况下甚至需要其扫描频率达到 2 kHz 甚至更高。F-P 的三角波驱动电路在低频情况下运行良好, 本文旨在设计高速驱动电路, 即需要 F-P 驱动电路在高频环境下高质量运行, 而高频环境下, 一般的驱动电路无法正常的工作于 F-P 滤波器。本文通过 Pspice 电路仿真软件对高频驱动信号进行仿真实验分析, 针对 F-P 滤波器驱动电路的稳定性设计进行研究, 并提出可行的电路设计方案。

1 高频 F-P 滤波器驱动电路存在的问题及设计方案

F-P 滤波器做为典型的容性负载, 随着频率的增大, 驱动 F-P 滤波器的三角波电压信号会产生畸变, 非线性度加大。简单起见, 可将放大器看成一个振荡器, 每个运放都有一个内部输出电阻, 当它与容性负载相接时, 在运放的传递函数上会产生一个附加的极

收稿日期: 2016-01-19; 修回日期: 2016-03-22

作者简介: 孙义斌 (1984-), 男, 工程师, 工程硕士, 从事光纤光栅解调仪表方面的研究。

点。当开环增益和反馈衰减之和大于 1 时，电路便会出现不稳定。同样，如果某一工作频率低于闭环带宽，在这个频率下运放会出现振荡。通常，当相位裕度小于 45° 时，便会导致产生阶跃响应中的过冲或“振铃”现象，使得电路很不稳定^[1]。

在经过特殊处理的情况下，用普通的放大电路驱动 F-P 滤波器。在信号采集端加入标准具信号及 FBG 传感器信号，形成完整的解调仪表信号采集系统。

首先，由函数发生器 HP33250 产生三角波信号驱动 F-P 滤波器工作，实际使用中发现随着频率增大，三角波产生畸变，非线性度加大。在不同频率下三角波的变化如图 1 所示。

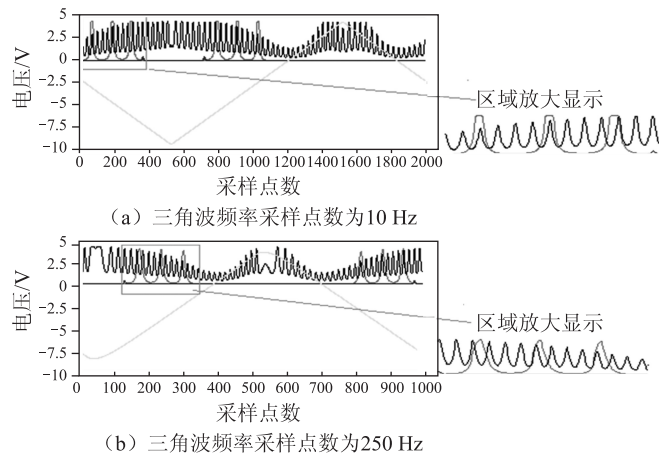


图 1 不同频率下三角波信号的变化示意图

基于 F-P 原理的解调仪表其数据处理常采用差值计算的方法，而差值计算的条件要求驱动电压呈线性，当实际工作于非线性时，计算结果会存在误差。

其次，在 Pspice 上进行仿真。F-P 滤波器的等效电容约为 3 μF，在一般的放大电路中直接加入该等效电容进行仿真，驱动电压直接采用三角波分量正弦波信号，其仿真模型如图 2 所示。

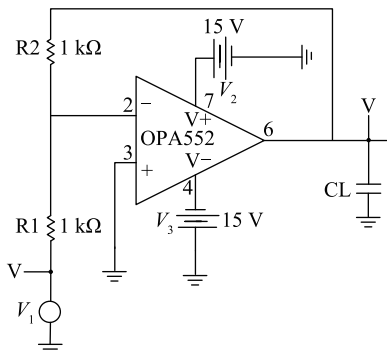


图 2 F-P 腔驱动电路仿真图

该电路设置增益为 1， V_1 的电压幅值为 1 V，偏置为 0 V。不同频率下仿真结果如图 3 所示，由此发现，驱动容性负载时，在频率较高情况下，输出信号的确会产生振荡。

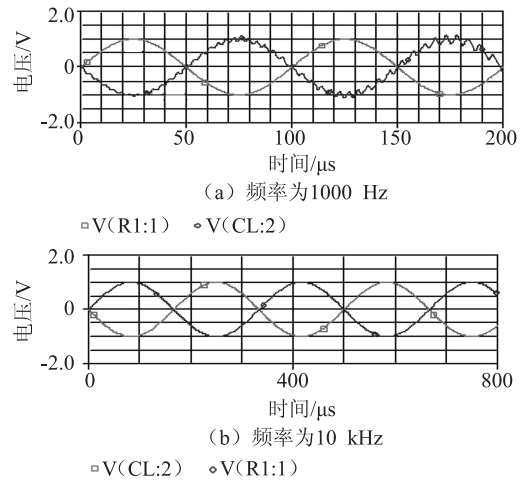


图 3 不同频率下仿真结果

为提高光纤光栅解调信号的准确度，必须产生一个线性度良好的三角波信号来驱动 F-P 滤波器。由于三角波由多个正弦分量组成，想要得到线性度良好的三角波，则要求驱动信号高频响应的截止频率至少达到三角波频率的 5 倍以上，压电陶瓷的极间电容值约为 3 μF，若驱动信号输出阻抗为 50 Ω，则由 $f = 1 / (2\pi RC)$ 算得其高频截止频率只能达到 1 kHz，使扫描频率只能达到 200 Hz。因此，要提高解调速度，必须大大降低驱动信号的输出阻抗^[2]。

高频情况下存在振荡的这种问题，属于驱动容性负载较为典型的情况。

本实验电路采用内环增益方法和噪声增益方法相结合的技术手段解决容性负载驱动稳定性问题，采用的芯片是 OPA552，OPA552 芯片连接示意图如图 4 所示。图 4 中， R_g 、 R_f 、 C_s 、 C_f 为相应的电阻和电容。

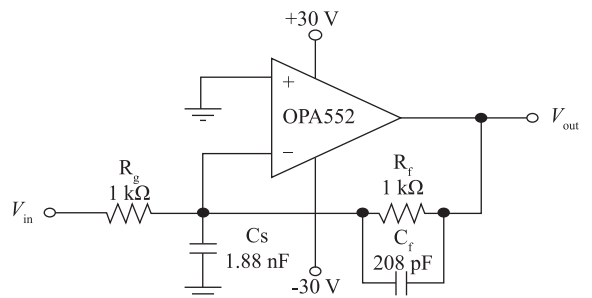


图 4 OPA552 芯片连接示意图

OPA552 芯片一般应用于增益大于 5 的情况，如果

采用外部电路补偿技术, 则可以实现低增益的高速转换功能, 使 OPA552 电路在低频情况下保持低噪声特性。在实际应用中, OPA552 一般会产生高频噪声, 外部电路补偿技术可以使环路增益保持良好的稳定性, 获得容易控制的二阶低通滤波器的频率响应效果, 适合驱动容性负载。

考虑到噪声增益, 低频噪声增益 NG_1 由电阻比确定, 高频噪声增益 NG_2 由电容比确定, 电容值确定了传输频带和低频噪声增益。如果高频噪声增益 $NG_2 = 1 + C_s/C_f$ 设置值大于最小稳定值 $1/R_f C_f$, 电路可以获得良好的二阶低通特性。

在选择电容 C_s 和 C_f 时, 首先要使高频噪声增益 $NG_2 = 1 + C_s/C_f$ 设置值大于 $1/R_f C_f$, 一般选择为 10, 使得

$$NG_2 = 1 + C_s/C_f = 10 \quad (1)$$

其次, 运放电路信号增益为 -1, 使得低频噪声增益

$$NG_1 = 1 + R_f/R_g = 2 \quad (2)$$

由此可知增益带宽积 (Gain Bandwidth Product, GBP) 为 12 MHz, 电路的截止频率为 956 kHz。如果不在电路中配置合适的电容 C_s 和 C_f , OPA552 电路就会产生振荡现象^[3]。

2 F-P 腔驱动电路仿真分析

2.1 运用芯片在 Pspice 上进行电路仿真实验

结合上述结果, 在 Pspice 电路仿真软件上进行电路仿真实验。一方面, DAC 给出的三角波信号经 I-V 转换后, 进入电压跟随电路, 输出电流得到提高 (三角波频率设置为 2 kHz, 电压幅值为 1 V); 另一方面, 直流电压经运放加入到扫描波中, 作为扫描波的可调直流偏置。整合后, 其电路仿真图如图 5。

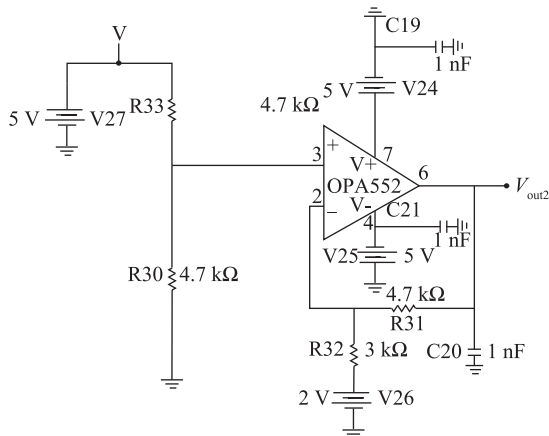
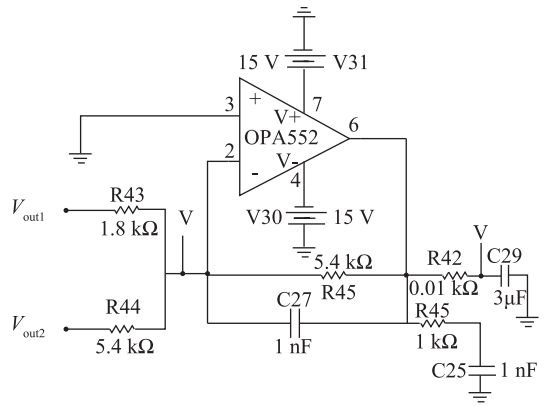
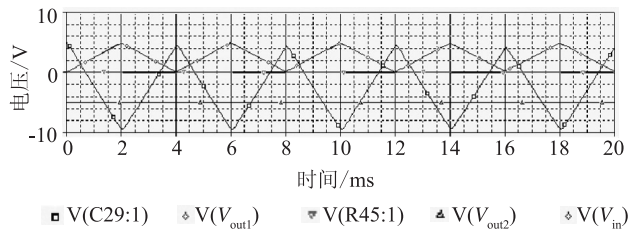


图 5 带有直流偏置的电压跟随电路模型

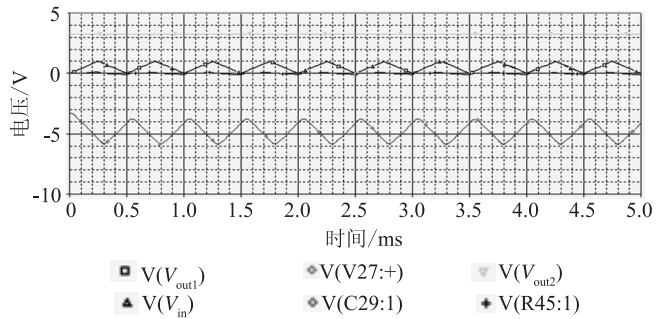
前两部分中的输出还需经过一个高压放大电路, 来提高输出电流、输出电压以达到 F-P 腔驱动信号的要求。设置不同的三角波频率来进行仿真, 电路模型如图 6 (a), 不同三角波频率下仿真结果如图 6 (b) 和图 6 (c)。



(a) 放大电路模型



(b) 三角波频率为 250 Hz



(c) 三角波频率为 2 kHz

图 6 放大电路模型及不同频率三角波下仿真结果

从仿真结果上可以看出, 三角波频率在 250 Hz 时已经比先前的仿真结果有了明显改进, 三角波的非线性及驱动容性负载产生的振荡现象都得到了解决。但本文要求驱动 F-P 腔的三角波信号频率达到 2 kHz, 这就要求高频截止频率至少达到 10 kHz, 由于 OPA552 的开环输出阻抗约为 18 Ω, 由 $f = 1/(2\pi RC)$ 算得截止频率仅为 2.94 kHz, 并没有达到要求。从三角波频率为 2 kHz 的仿真结果中可以看到, 由于采用了 OPA552 芯片作为放大电路, 并在电路连接中考虑到容

性负载问题,在此频率下已经可以消除振荡等非稳定性问题,但三角波非线性问题并没有得到根本解决^[4]。

2.2 利用三极管消除三角波非线性

为解决 2 kHz 频率下三角波非线性问题,可以通过在输出端接入三极管的做法实现,如图 7 所示,在输出端以一定的方式接入三极管,可以增大输出电流,从而增大驱动负载的能力^[5]。

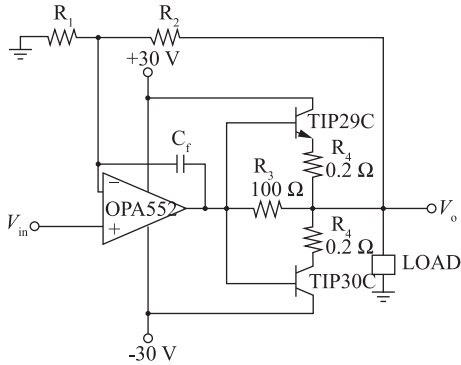


图 7 三极管增大输出电流接法

按照图 7 修改电路连接方式,在 OPA552 芯片输出端接入 TIP29C 和 TIP30C 两个三极管,改变电路反馈的连接形式,并在 Pspice 上进行仿真,仿真电路图及仿真结果如图 8 和图 9。

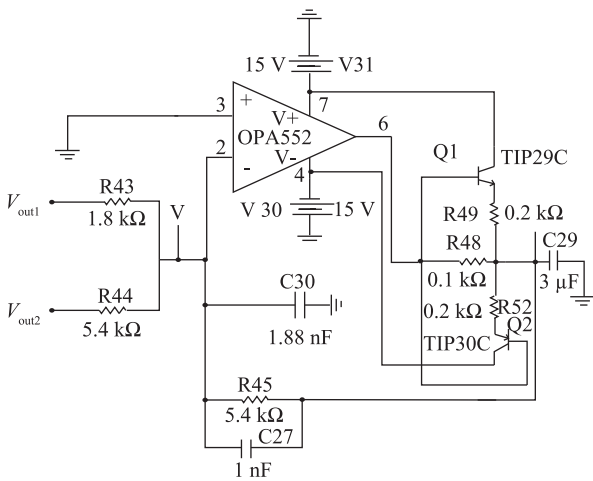


图 8 接入三极管后仿真电路图

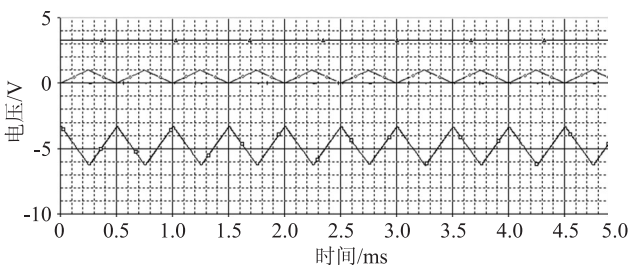


图 9 仿真结果

图 9 是在三角波频率为 2 kHz 时的仿真结果图,其最下部的三角波曲线即为 F-P 腔的驱动信号曲线。从图 9 中曲线可以看出,三角波非线性问题已经解决。在 OPA552 输出端以适当的方式接入三极管后,整个电路的输出电流得到增大,驱动负载的能力也得到提高,从而消除了三角波在这个频率下出现非线性的情况。

3 实验验证

根据前文的仿真结果,设计电路结构,如图 10 所示。

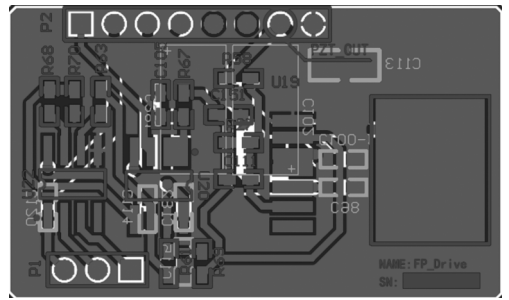


图 10 电路 PCB 图

为了形成完整的解调仪表采集系统,信号采集端加入标准具和 FBG 传感器信号,通过光电转换在示波器上进行采集。250 Hz 频率下,三角波驱动电压的实际效果如图 11 所示。此波形与图 1 (b) 中 250 Hz 频率下采集到的三角波驱动信号对比已有明显的改善,线性度良好。

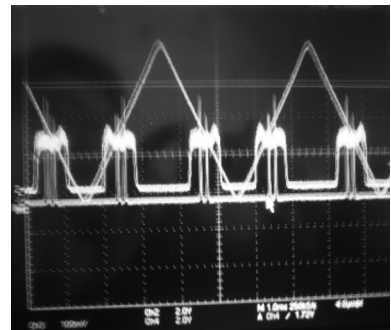


图 11 三角波、标准具及 FBG 传感器信号

从图 9 中看出,在一个三角波的下降沿或上升沿过程中,均会采集到一组标准具信号和一个 FBG 传感器信号。从采集结果来看,标准具和 FBG 传感器信号均正常。

由于实际电路结构旨在用于光纤光栅解调仪表中做为 F-P 腔的驱动,而 F-P 腔原理的解调仪表产品扫

描频率使用需求目前最高为 250 Hz, F-P 滤波器为国外进口, 价格昂贵, 其极限扫面频率一般为 1~2 kHz, 在较高频率下使用易损坏, 所以实际验证实验以仪表产品为例, 只做了 250 Hz 频率下信号采集。

理论上, 依照仿真设计, 改进后的电路结构在驱动 F-P 腔滤波器时, 工作在 2 kHz 高频情况下, 三角波驱动电压的非线性等问题均可解决。

4 结束语

本文主要从电路部分分析研究了 F-P 滤波器做为容性负载带来的典型问题, 并详细介绍了如何解决在高频情况下驱动 F-P 腔所出现的振铃以及三角波非线性问题。电路设计中选用了 OPA552 芯片及接入三极管的方法, 采取适当的连接方式, 消除了 2 kHz 频率

下系统存在的以上问题。

参 考 文 献

- [1] 吕超, 焦斌亮. 运算放大器容性负载驱动问题及其解决方法 [J]. 电子技术, 2008, 45 (2): 77-80.
- [2] 电子开发网综合技术. 运算放大器应用设计的几个技巧 [EB/OL]. [2015-12-12]. www.dzxf.cn, 2007.
- [3] Varadan V K, Varadan V V. Wireless Electro-optic Switching Network for Optical Fiber Sensor Array Using MEMS-IDT Devices [J]. Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering, 1999, 22: 131-135.
- [4] 孙传友, 孙晓斌, 汉泽西, 等. 测控系统原理与设计 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 5-17.
- [5] 肖忠祥. 数据采集原理 [M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003: 52-53.



(上接第 30 页)

3.4 测角装置性能比对

上述对两套测角装置测角精度分别进行了分析, 理论上若两套测角装置结构完全相同且在转台上安装位置完全一致, 则对任意位置的测量结果应一致, 但由于传感器自身误差, 测角装置误差、测角装置在转台上安装引起的安装误差的存在, 两套测角装置对同一位置的测量结果不一致, 图 8、图 9 给出了两套测角装置在转台同一安装位置下不同 X 轴、Y 轴测量值与标称值差值的变化曲线, 图中两条曲线变化趋势趋于一致, 呈现同时增大同时减小。在 -40°, 30°, 40°, 50°, 60°位置点两路测角装置测得的 X 轴数据差异值最大, 为 0.12'; 在 -40°测量角度时, Y 轴数据差异值最大, 为 0.24'。产生不一致原因即为上述分析的各种误差影响的结果。

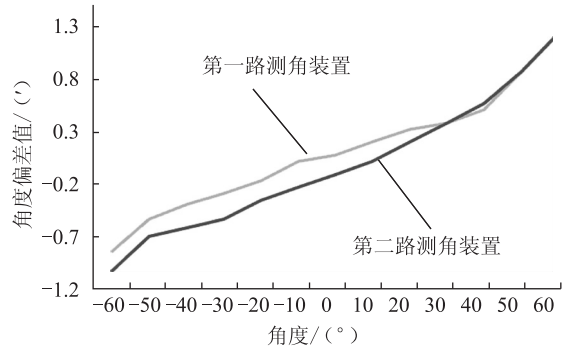


图 9 两套测角装置 Y 轴测试数据偏差曲线

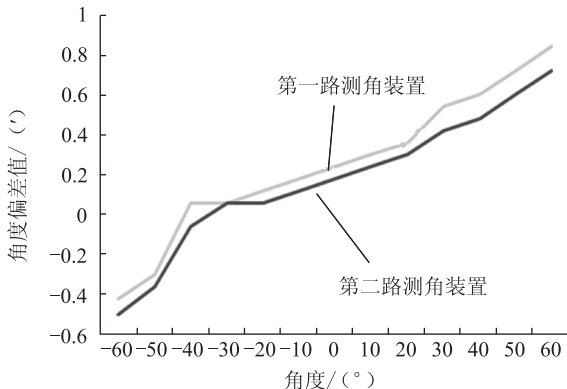


图 8 两套测角装置 X 轴测试数据偏差曲线

4 结论

研制的船舶装备安装基准相对姿态测量系统测角范围为±60°, 最大测角误差为 1.2', 具有安装简单、使用方便、测量效率高等优点。其既可以满足船舶电子装备、雷达天线导航装备、火控装备安装基准在船舶甲板安装过程中的姿态测试需要, 也可用于船舶装备使用过程中基准相对姿态的周期校准和长期稳定性监测。

参 考 文 献

- [1] 施建荣, 施诗, 张燕论. 舰船装备倾斜和摇摆环境适应性与试验 [J]. 装备环境工程, 2011 (8): 41-44.
- [2] 程树昌, 杨绍清. 舰载武器系统水平度检测与校正新方法模型 [J]. 火力与指挥控制, 1996, 21 (3): 73-76.
- [3] 丁德勇, 康邴, 王五成. 水面舰艇电子装备基座水平度的检验与修正 [J]. 情报指挥控制系统与仿真技术, 2004, 26 (6): 70-73, 83.