

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105877

某型水下航行体北斗状态实时监控系統*

张庆国 孙予 徐宗利 何江虹 陈亮 颜家雄

(昆明船舶设备研究试验中心 昆明 650051)

摘要: 针对某型水下航行体内部北斗偶发性工作异常问题,设计一种独立的航行体内部北斗状态实时监控系統,对航行体当前北斗工作状态相关参数进行连续测量和实时解算,并依据相关判断准则进行临时介入性操控,提高北斗通信及定位有效率,从而提高航行体的实航安全性和可靠性。该系统设计中充分考虑航行体内部结构及工作环境,在兼顾原总线协议、控制条件及控制流程等相关要求基础上,摒弃常用的隔离、开关等大尺寸、高功耗元件组建方法,采用小尺寸、低功耗的组集成式设计方案,实现某型水下航行体北斗状态的实时监控功能。该监控系统通过环境试验和电磁兼容性等相关测试,并在国内某水域搭载某型水下航行体完成实航试验测试,试验结果表明该监控系统可在航行体北斗工作异常时介入操控,提高航行体实航安全性和可靠性。

关键词: 水下航行体;北斗状态;实时监控;监控系统

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.80

Real time monitoring system for Beidou status of an underwater vehicle

Zhang Qingguo Sun Yu Xu Zongli He Jianghong Chen Liang Yan Jiaxiong

(Kunming Shipborne Equipment Research & Test Center, Kunming 650051, China)

Abstract: Aiming at the accidental abnormal operation of Beidou in an underwater vehicle, an independent real-time monitoring system of Beidou status is designed, which continuously measures and calculates the relevant parameters of the current Beidou status of the vehicle, and carries out temporary intervention control according to the relevant judgment criteria, so as to improve the efficiency of Beidou communication and positioning, so as to improve the navigation performance of the vehicle safety and reliability. In the design of the system, the internal structure and working environment of the vehicle are fully considered. On the basis of considering the original bus protocol, control conditions and control flow and other related requirements, the commonly used large-size and high-power components such as isolation and switch are abandoned, and the small-size and low-power integrated design scheme is adopted to realize the real-time monitoring function of the Beidou state of an underwater vehicle. The monitoring system has passed the environmental test and electromagnetic compatibility test, and carried a certain type of underwater vehicle in a domestic water area to complete the actual navigation test. The test results show that the monitoring system can intervene in the control when the Beidou of the vehicle is abnormal, and improve the navigation safety and reliability of the vehicle.

Keywords: underwater vehicle; Beidou status; real time monitoring; monitoring system

0 引言

我国自主研发的北斗卫星导航系统^[1],在水下平台/装备等多种水下航行体上得到广泛应用,在军事及民用领域发挥重要战略作用。特别是随着国家“智慧海洋”、“透明海洋”等系列工程的不断发展^[2],北斗卫星导航系统覆盖船舶、环保,以及部队、公安、海关等特殊指挥调度单位,产生

显著的经济和社会效应。

北斗卫星导航系统具有定位、通信和授时功能,与常规卫星导航系统相比较,主要特点是双向通信和全息定位^[3]。其独特的双向通信及短报文收发功能,在水下武器装备^[4]、应急救援等特殊领域发挥重要作用。随着海洋平台技术设计、装备制造、传感及人工智能等技术的快速发展,水下装备在无人化、智能化和多样化方向获得较大进步,已经形成

收稿日期:2021-03-02

* 基金项目:国防基础性科研院所稳定支持项目(110042019003)资助

多种覆盖“空、天、岸、海、基”的新型海洋平台装备,如潜标、浮标、无人艇、水下机器人等^[5-7]。基本具备了全海域、全天候、全天时常态化的海上值守能力,为海洋工程和海洋装备的快速发展奠定技术基础。

水下航行体是一种航行于水下的航行平台,大体可分为载人 and 无人两种。能够完成水下勘探、侦测甚至是军事上的侦查、进攻防守等任务^[8-10]。在民用方面,水下航行体在海洋救助与打捞、海洋石油开采、水下工程施工、海洋科学研究、海底矿藏勘探、远洋作业等方面^[11],发挥着非常重要的作用;在军用方面,以水下航行体为代表的水下无人平台/装备具有独特的作战优势,具有隐蔽性好、生命力强、不惧伤亡、自主可控和操作灵活等优势,可深入恶劣、危险环境执行任务。同时,亦可根据工作参数和作战任务的不同,搭载不同的载荷即可满足多种不同作战需求。

由此可见,水下航行体无论是在民用还是在军用上,都扮演着重要的角色。特别是在军事方面,正在深刻影响和改变未来海上作战方式,已经成为世界各国争相发展的海上武器装备^[12]。由于航行体基于北斗卫星导航系统的及时通信和定位功能,直接影响总体功能实现。因此,必须对其内部北斗接收机的工作状态进行可靠设计,确保有限时间内完成可靠通信与定位。

1 系统方案

某型水下航行体与自主式水下无人飞行器^[13]相类似,实际上是一种智能化集成装备。可自主航行,并根据任务的具体要求,对航行体各模块进行优化组合,完成相应作战或实际使用功能。其中北斗卫星导航系统的快速定位、简短通信及精密授时功能为该型水下航行体提供准确的定位导航与及时通信操控等功能。

某型水下航行体在整个航行过程,可设置在多个中间位置进行水面浮起操作,并且每个浮起点工作时间受限。若航行体在当前浮起点,未能在规定时间内完成北斗卫星定位及通信,则会对航行体功能及性能实现造成重大影响。除了会丢失重要测试数据或失控外,还可能会导致该航行体丢失,尤其在海上会存在重大安全隐患及失泄密风险。因此,其北斗工作状态对某型水下航行体意义重大,必须对其北斗工作状态进行实时监控,提高水下航行体的实航安全性和可靠性。在某型水下航行体上的典型应用如图1所示。

如图1所示,某型水下航行体除了常规水声探测及短程通信^[14]方式外,还可水面时可利用伸缩水密天线通过北斗卫星与岸基或船载的指控中心进行远程信息交互。上述工作完成后,航行体可收回天线再次下潜或直接对其进行打捞回收等操作。北斗卫星导航系统在确保水下航行体长时工作安全的基础上,提供相应的测量数据信息,或者任务参数的及时修订链路。

某型水下航行体北斗典型工作流程是,接收到天线伸

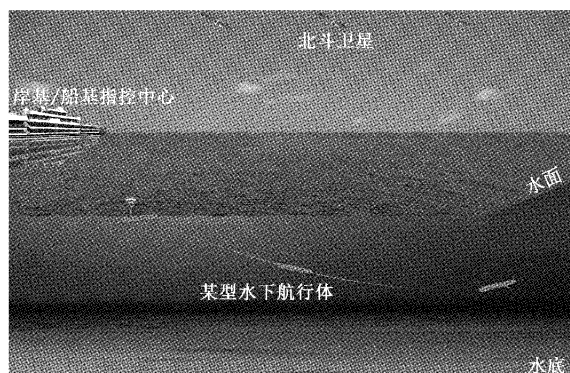


图1 某型水下航行体的北斗典型应用

出指令后,进行北斗组件工况检查,之后根据当前卫星状态进行通信和定位申请,以及相关操控。处理相应接收数据并完成当前的定位和通信功能后,该交互信息传送至水下航行体的总线上,航行体控制部分解算上述信息后进行相应操控、存储与记录等。

随着北斗卫星导航系统的不断完善和发展,开阔水域下的北斗卫星导航定位及通信成功率大幅提高。但某型水下航行体受原技术条件、内部空间、电路功耗,以及伸缩天线尺寸、当前海况等实际条件限制,在实航过程中仍会存在一定的北斗通信或定位异常可能性。如无法在规定时间内实现精确定位和可靠通信,或者长时间内只能通信,不能定位等。针对上述情况,在航行体内北斗部分加入实时监控,对航行体内的北斗部分进行实时监控处理,以期达到提高航行体实航可靠性的目的。监控系统的主要功能是检测当前北斗工作状态信息,解算并推断当前时刻的卫星状态,对主要核心解算组件进行动态跟踪。如发生长时无应答、无定位及通信异常等异常情况,则根据当前航行体状态对北斗解算部分进行控制干预,同时将当前异常情况进行记录和存储,便于试后分析。

由此可见,该监控系统的主要难点是:1)某型水下航行体内部功能及结构复杂,可加装的空间固定且有限;2)航行体内部不同工况下的电磁干扰波动大,新加监控系统不应对其其它部分产生干扰,亦不能被干扰;3)航行体整体设计时间较早,内部北斗以“北斗一代”为基础。除设计受之前技术现状限制外,实际工作中北斗信号亦随着区域、环境等,有较大变化,需准确识别和判断;4)某型水下航行体采用电池供电,总体功耗余量有限,新增监控系统必须进行低功耗设计;5)该监控系统需同步考虑国产元器件的兼容性,以保证整个水下航行体内部元器件国产化的统一性要求。

综上所述,某型水下航行体北斗状态实时监控,充分考虑上述技术难点,摒弃常规的隔离电源模块、电磁或固态继电器等大尺寸、高功耗模块,采用小规模、低功耗的组合集成化设计方案,以满足安装尺寸和功耗等要求。特别是针对水下航行体内部电磁环境干扰和众多组部件之间的

实际运行情况,该监控系统与航行体其他组件均采用多重隔离、滤波及并行处理方案。同时,在监控系统核心处理部

位进行物理屏蔽,进一步提高抗干扰性。某型水下航行体北斗状态实时监控方案如图 2 所示。

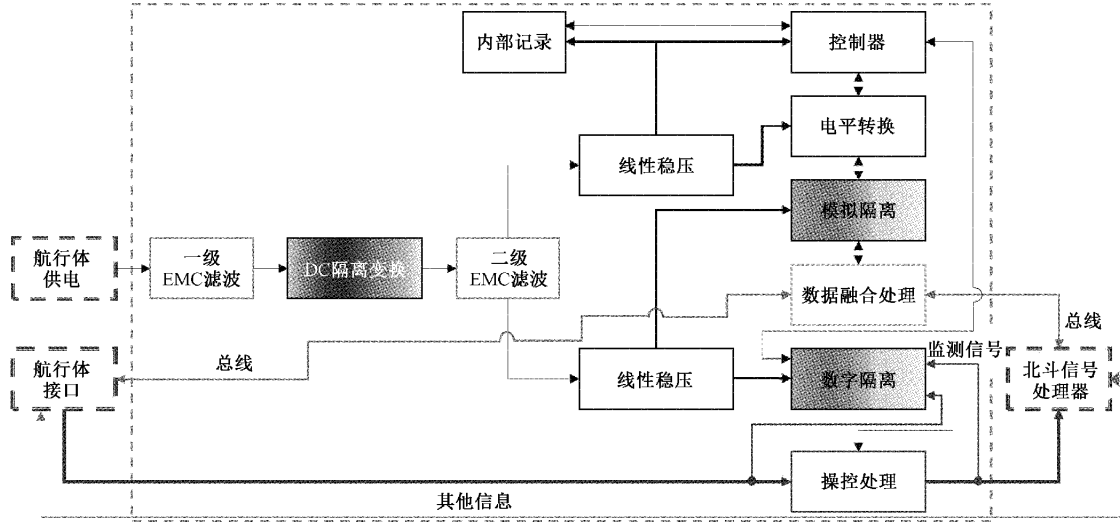


图 2 监控系统原理框图

如图 2 所示,该方案主要功能是在某型水下航行体内部北斗与总线之间加入并行监控系统,实时对北斗的工作状态、主要工作参数进行监测,同时亦对自身监控系统工作状态进行监测。综合上述监测信息,处理判断后对北斗信号处理器进行相应控制,以达到提高产品实航可靠性的目的。图 2 中虚线框内为本方案设计的监控系统主要部分,外部接口均有相应的隔离措施,将相互之间的电磁干扰影响降低甚至消除;并且该方案设计中可实现该监控系统故障情况下,亦不影响北斗信号处理器与航行体总线之间的交互。同时,该监控系统可实时将北斗信号处理器、总线、监控系统自身工作参数等信息进行记录存储,可在试后单独读取,便于故障排查与分析。

2 技术设计

某型水下航行体北斗状态监控系统技术设计主要依据航行体内部实际情况,针对其内部空间有限、电磁兼容、低功耗,以及高可靠性等方面开展相关技术设计。该系统技术设计主要涉及硬件和软件两方面。其中硬件设计上,采用低功耗、小尺寸且有国产替代元器件构建方案;软件采用完全自主可控底层代码开发,同时具备独立的记录、存储和试后读取功能。

2.1 硬件设计

硬件设计主要包含供电、通信、接口等相关隔离措施,其中供电采用小型低功耗元件加常规三极管、二极管和电阻、电容等方式,构建小尺寸、低功耗的电源隔离部分,减少物理尺寸,降低整体功耗。另外,在硬件设计中还利用半导体场效应晶体管为主,构建可多次重复切换的负载开关,用于替换常规继电器设计,不仅无常规固态继电器尺寸过大,电磁继电器触点长期使用触点表面容易氧化或污

染等情况,亦无触点“拉弧”与“烧结”问题^[15]。

通常情况下,对供电、接口常用隔离为电源隔离模块、接口隔离芯片,电路切换部分多为常规继电器等方式进行技术设计。但在本系统中存在现有尺寸空间及供电功耗均限制,特别是安装尺寸空间高度有限,常规电源隔离模块(如 DC-DC 或 AC-DC 模块)和普通继电器(如电磁继电器、固态继电器)均无法利用现有空间进行固定安装。另外,常规继电器均存在一定的长期使用可靠性问题,且带来的外围电路复杂,整体功耗较大。因此,监测系统供电隔离及负载开关部分电路设计原理如图 3 所示。

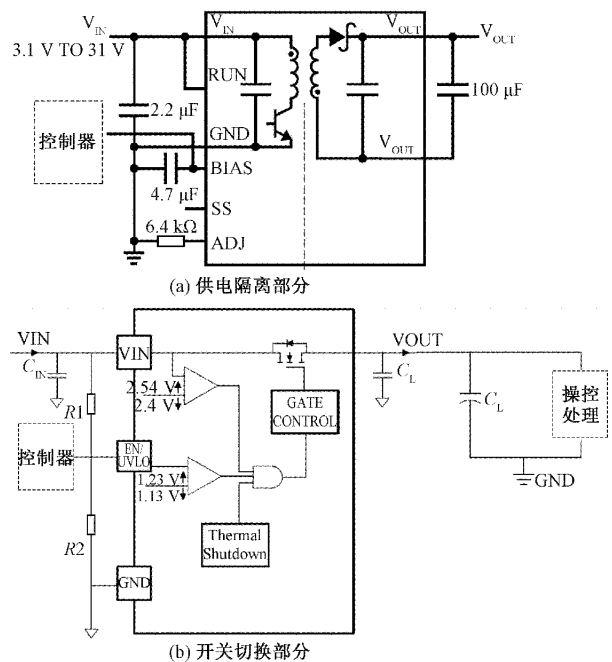


图 3 部分电路原理

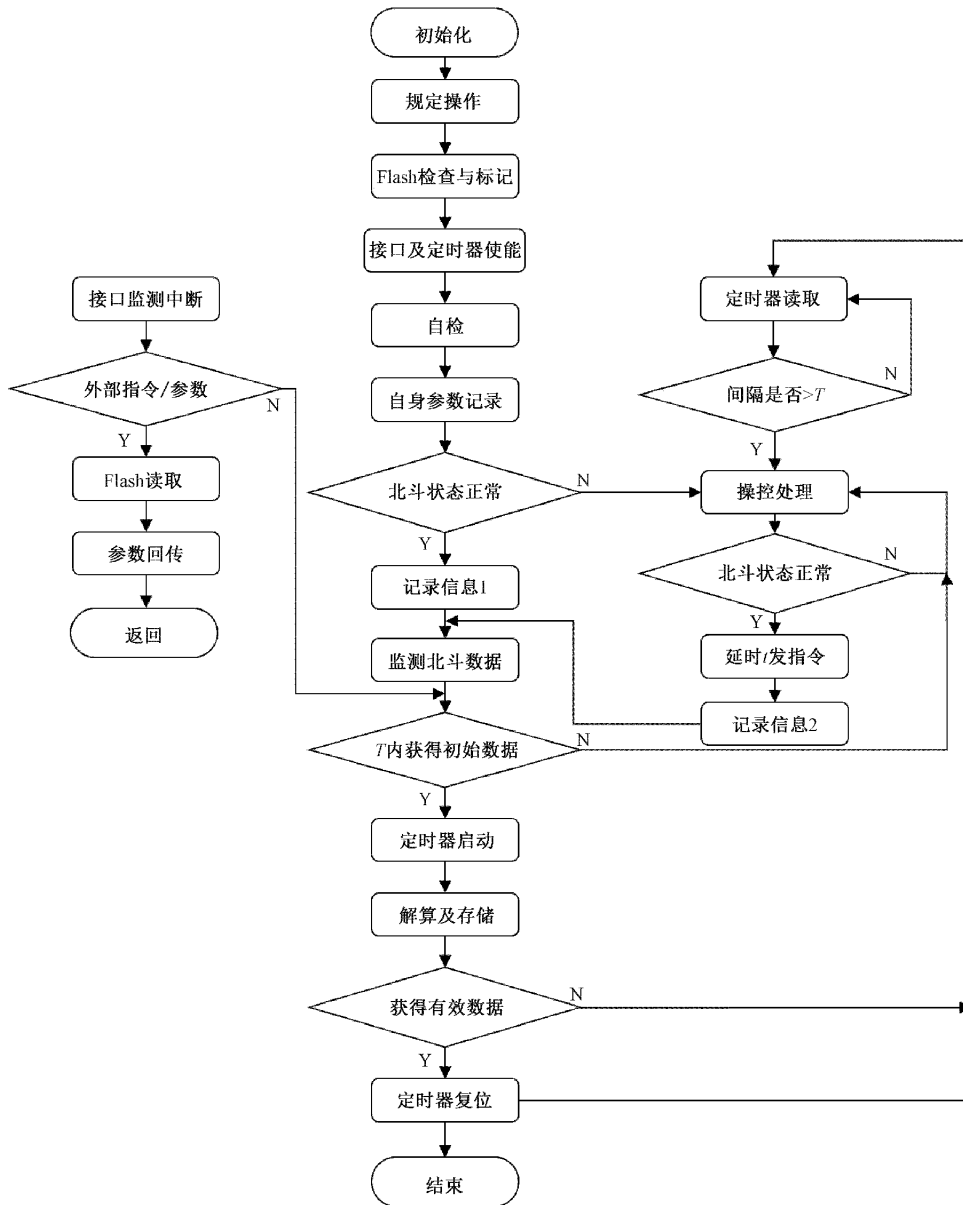


图 5 监控系统软件流程

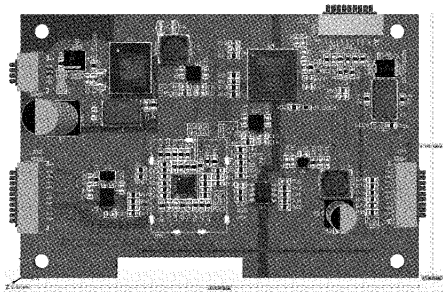


图 6 系统核心控制电路实物示意图

电源线传导发射, 25 Hz~50 kHz 电源线传导敏感度, 10 kHz~40 GHz 电场辐射敏感度进行实际测试, 并在测试过程中实时监测核心控制电路及程序运行状态。测试

结果表明, 其自身抗外界干扰及对其它部分干扰均符合相关标准, 满足实际使用要。测试结果如表 1 所示。

表 1 电磁兼容性测试结果表

测试项目	测试依据	测试设备	测试结果
CE101	GJB151B-2013	ESU26、LISN、9207-1 等	合格
CE102	GJB151B-2013	33250A、DS06052A、ESU26 等	合格
CS101	GJB151B-2013	HTTRA8001、6512-106R、LISN 等	合格
RS103	GJB151B-2013	N9310A、E4419B、ESU26、FM5004 等	合格

该监控系统安装在某型水下航行体上,通过长时陆上测试,并在国内某深水湖进行了实航测试。实航测试时,航行体设定航路中水面浮起点(即北斗卫通通信及定位点)为3~5个,每个点位北斗定位及通信完成规定动作。其中,在某点位时出现短时航行体北斗状态异常后又恢复正常,即在规定时间范围内仍较长时间(分钟级别)未能及时定位,后等待几分钟后收到相应信息。之后,通过试后读取本监控系统内部记录数据可知,在上述点位航行体北斗状态出现异常,该监控系统介入操控,并重新实现该点位的航行体北斗规定动作与功能。

由此可见,实时监控系統可在航行体规定时间内进行连续解算和判别,一旦航行体内部北斗异常,及时进行总线级介入性操控,达到进一步提高航行体北斗通信及定位有效率的设计目的。

4 结 论

某型水下航行体设计年代较早,采用“北斗一代”卫星导航技术实现航行体的及时定位与通信。受当时技术条件等客观因素限制,内部北斗接收机在实际工况下存在偶发性工作异常情况。另外,受元器件老化、停产等市场因素影响,现阶段生产的北斗接收机部分元件个体性能差异逐渐凸显。因此,针对当前航行体情况增加设计了,一种基于低功耗嵌入式处理器的并行实时北斗状态监控系统,进一步提高航行体北斗工作可靠性,对航行体实航安全性提供多重保护。

某型水下航行体北斗状态实时监控系統,在航行体原有原结构和电子环境等基础条件约束下,采用小规模、低功耗的集成化设计方案,接口多重隔离设计,独立实现北斗工作状态的实时监控。系統核心电路通过相关型号产品要求的环境试验,以及国军标对应的电磁兼容性测试,整个系統安装在某型水下航行体后,通过整体陆上及湖上实航试验。试验结果表明,该监控系统可在北斗状态异常时介入操控,达到设计目的,进一步提高了某型水下航行体的实航安全性和可靠性。

参考文献

- [1] 苏相琴.北斗卫星导航系统的现状及发展前景分析[J].广西广播电视大学学报,2019,30(3):89-92.
- [2] 高建文,肖双爱,虞志刚,等.面向海洋全方位综合感知的一体化通信网络[J].中国电子科学研究院学报,2020,15(4):343-349.
- [3] 郑锦,张家宾.导航设备对作战系統跟踪精度影响分析[J].兵工自动化,2020,39(10):20-28.

- [4] 李旻,祝祥,陈苗,等.国外海军无人平台及其通信技术发展研究[J].舰船电子工程,2020,40(4):8-12.
- [5] 姚铎,李云,刘琼.一种用于海洋环境立体监测的数据传输系統[J].数字通信世界,2021(1):4-9.
- [6] 舒之兵,陈铭,赵毅.试论北斗卫星导航系統在海洋浮标中的应用[J].数字通信世界,2019(3):119.
- [7] 王永鼎,李华南,钱莹娟.北斗卫星导航系統在AUV中的应用研究[J].全球定位系統,2018,43(1):96-101.
- [8] 张庆国,刘竹青,黄其培,等.舰船尾流气泡声学测试系統研究[J].声学技术,2020,39(6):660-668.
- [9] 张庆国,王健培,崔国平,等.基于座底式水声网络节点的跟踪测试技术研究[J].声学技术,2016,35(3):193-197.
- [10] 张庆国,要庆生,黄其培,等.深远海水下多目标定位跟踪技术研究[J].电子测量技术,2019,42(22):67-72.
- [11] 张庆国,陈艳东,刘立兵.深海油气开发水下防喷器应急声呐监控系统[J].海洋工程装备与技术,2020,7(2):107-113.
- [12] 陶雯,陈鼎鼎,何宁宁.国外海军潜艇通信技术与装备发展[J].通信技术,2015,48(4):375-381.
- [13] 黄健,何江虹.基于线性自抗扰控制的UUV航向控制器设计[J].计算机仿真,2015,32(6):324-328.
- [14] 张庆国,李兴武,沈雁,等.水下便携式可应答同步编码声源系統研究[J].海洋技术学报,2020,39(3):30-36.
- [15] 符鹏,张学玲.航空装备中继电器的修理措施研究[J].航空维修与工程,2019(2):36-37.
- [16] 王逸鹏,张激,包晟临.软件闪存转换层可实现安全失败的功能安全文件系统[J].单片机与嵌入式系統应用,2020,20(11):24-28.
- [17] 郭杰.嵌入式高速存储器中数据质量控制方法分析[J].电子测量技术,2019,42(18):118-122.
- [18] 陈娟.小面积NFC天线设计[J].国外电子测量技术,2020,39(4):144-148.
- [19] 赵驰盟,兀伟,杨银芳.磁探测引信目标识别算法研究[J].国外电子测量技术,2020,39(9):47-52.
- [20] 何纯全,赵炳秋,万海军.基于自适应蒙特卡洛法的磁场辐射发射测量不确定度评定[J].电子测量技术,2019,42(1):31-34.

作者简介

张庆国,工学学士,高级工程师,主要研究方向为水声工程系統研究、水下武器装备研制生产与技术支持等。
E-mail:ZQG750@126.com