

基于法拉第波的水面漂浮物收集系统设计*

张新建¹, 毕艳¹, 鲁艳旻¹, 吴燕平¹, 杨家军^{1,2}, 杨卫红¹, 范娟¹

(1. 文华学院 机械与电气工程学部, 湖北 武汉 430074; 2. 华中科技大学 机械科学与工程学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 为了改善城镇居住及景观带小区域水面的垃圾漂浮物问题, 基于法拉第波原理设计了一个由振动源(产生法拉第波)、浮台、收集装置三部分组成的小区域水面漂浮物自动回收装置。装置利用单片机输出特定的频率到振动台, 使与振动台相连的浮子击打水面, 产生相应波长的水波, 具有摄取远距离小颗粒水面漂浮物的能力。在法拉第波的特性作用下, 水面的小颗粒漂浮物按照相应的轨迹运动到某一处, 从而便于水面垃圾的打捞收集装置进行回收打捞。本研究可以高效自动收集小区域水面小颗粒漂浮物, 且有效降低对水体内生物体产生二次危害, 环保经济, 有较好的推广应用潜力。

关键词: 法拉第波; 漂浮物; 小区域水面; 环保

中图分类号: TN709

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212222

中文引用格式: 张新建, 毕艳, 鲁艳旻, 等. 基于法拉第波的水面漂浮物收集系统设计[J]. 电子技术应用, 2022, 48(6): 112-115, 120.

英文引用格式: Zhang Xinjian, Bi Yan, Lu Yanmin, et al. Research on water floaters collection system based on Faraday waves[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(6): 112-115, 120.

Research on water floaters collection system based on Faraday waves

Zhang Xinjian¹, Bi Yan¹, Lu Yanmin¹, Wu Yanping², Yang Jiajun^{1,2}, Yang Weihong¹, Fan Juan¹

(1. Mechanical and Electrical Engineering Department, Wenhua College, Wuhan 430074, China;

2. School of Mechanical Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In order to improve living conditions in the town and solve the problems from garbage floaters on small-area water surface in landscape zones, this article, based on Faraday waves theory, designs a small-area water floaters collection automatic system device, which is consist of vibration source(to produce Faraday waves), floating platform and collecting device. This device utilizes single chip to output specific frequencies to the floating platform, and then makes the floaters which connected the floating platform to clap the water surface in order to produce waves in corresponding wavelength. This device is able to grab long-distance granules floaters on water surface. Under Faraday waves' characteristic effect, granules floaters on water surface will move to a certain place according to relevant track, as a result, it is convenient for collecting device to salvage and recycle water surface garbage. This research result is able to collect granules floaters on small-area water surface without any second harm to the organism in the water. It is an economic, environment-friendly innovation.

Key words: Faraday waves; floater; small-area water surface; environmental protection

0 引言

当前绿色生态环境的理念已经深入人心, 绿水青山就是金山银山。然而现在很多景观小区域水面上, 总能够看到一些漂浮物, 如塑料袋、矿泉水瓶等白色垃圾。这些漂浮物体积小, 容易受水面波动影响, 在水面上分布广泛。这类漂浮物的整个打捞工作费时费力, 很难有专门人员进行针对性清理, 只有在水面漂浮物越积越多, 到最后严重影响周边的环境, 给附近居民带来生活上的不适时, 才会开展打捞^[1-3]。

国内外的研究者对水面漂浮物收集装置的设计方案有很多, 根据不同的水域、不同的漂浮物的收集装置的研究也有对应的成熟方案。刘广涛、王继荣等人研究为了更好地对陆地和水面的漂浮物进行清理, 采用现代机械设计方法对水陆两栖清洁车进行了结构设计^[4]。弯昭锋等人以长江首艘多功能溢油回收船“海特 311”的结构和性能分析, 分析围油栏的布设方法, 提出了“线面式”溢油应急技术^[5]。赵垒等人依据城市内水域的污染现状, 设计提出了一种针对城市内水域的自动水面除污装置^[6]。汤伟、朱永强、张凯等也通过人工智能技术、子母船协同等对小区域及中大型区域水面设计了垃圾回

* 基金项目: 湖北省教育厅科研计划(B2018332); 湖北省自然科学基金(2013CFC112)

收装置的相关控制算法^[7-9]。

但目前研究设计的这些装置主要是针对大区域水面垃圾的回收,且都是以机械式为主,设计出的装置体型都比较大,一般难以进入像市内公园等景观小区域水面进行漂浮物的清理,即使可以进入也容易对水体生物产生二次伤害。因此,设计一种高效便捷、能够收集小区域水面垃圾,同时减小对水体生物影响的水面漂浮物自动收集装置具有重大经济价值和现实意义。

1 法拉第波原理

液体随着容器垂直上下振动,在液体表面会形成非线性表面驻波,该现象由法拉第(Faraday)在1831年首先发现,因此被称为法拉第波^[10-11]。Faraday波、Rayleigh-Benard对流、Taylor-Couette流一起构成流体力学三大不稳定性难题,国内外很多学者对Faraday波开展了非常多的研究^[12-15]。

特定频率范围的振动源垂直的在水面震动时,会使水面发生扰动,在流体表面会形成非线性的表面驻波。如果以一个特定的频率持续地打击水面,便会在水面生成周期性的驻波,这些驻波在流动过程忽略障碍物的影响,便会在水面形成很多振幅相同或相近的水平旋涡,而且这些旋涡在流动过程中的方向是一致的。由于运动方向一致,这些水平旋涡在流动过程中会形成一个向外喷射状的稳态大涡流,且使得在振动源两侧回馈形成补偿回流涡流。在稳态涡流和回流涡流相互吸引作用下,旋涡波形变成了三维,使得中央喷射的涡流方向逆转与波的方向相反传播,这种流动就可以带动水面上的漂浮物运动,让漂浮物朝着振动源的方向运动,最终聚集在振动源附近,如图1所示^[14]。如果改变频率,便可以得到不同波长和振幅的水波,聚拢漂浮物的距离也就能得到控制。这种现象体现了水波的传播具备获取远距离水面漂浮物的能力。

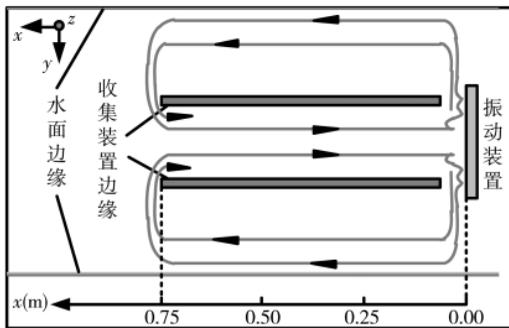


图1 法拉第波聚拢漂浮物原理图

当振荡器以圆柱形制波器以低振幅振荡,制波器产生近似平面传播的波前,为了将流体运动可视化,可以将漂浮物均匀地分散在流体表面上,如图2所示。漂浮物沿波传播的方向被推动,形成向外的射流,随着振幅不稳定,一旦振幅增加到阈值以上,流速就会发生明显

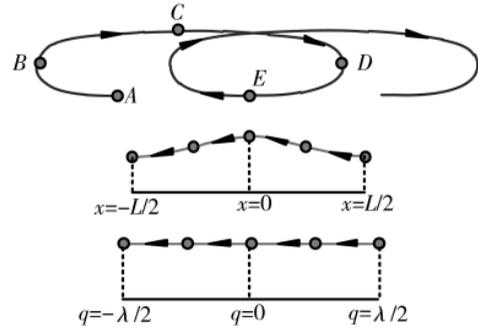


图2 水面漂浮物聚集示意图

变化;随着调制增长,交叉波不稳定性将波前破坏成传播脉冲串,波场变成三维。因此,可以简单地通过改变制波器的振幅来逆转浮体的运动,使水面漂浮物汇集到一处。

随着制波器垂直速度的增加,中心射流的速度逐渐变化。在低振幅下,流量向外,速度随外力增加而增加。当达到调制不稳定阈值时,流量突然反转,向内的喷射速度在较高的强制水平下饱和,该现象可在10 Hz~200 Hz的激发频率范围内观察到。

假设液面无界和振子无限长,由于圆柱形振子做周期运动,故可求出该水波的色散方程,如式(1)所示:

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (1)$$

同样也可以得到波速 c 与周期 T 之间的关系,如式(2)、式(3)所示:

$$c = \lambda T \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kh) \quad (3)$$

其中, λ 为水波波长, g 为加速度常数, h 为振动源与水面的接触距离, T 为振动周期, k 为水波调制系数。

联立式(1)~式(3)可得:

$$\phi(x, z, t) = \frac{gA \cosh[k(z+h)]}{\omega \cosh(kh)} \sin(kx - \omega t) \quad (4)$$

式中 A 为波的振幅, t 为聚拢时间, x 为漂浮物相对距离, z 为水波距振源距离, ω 为涡流速度。通过式(4),可以得出产生水波的波长、波速和周期,从而计算出相应的频率,并进一步可以计算漂浮物的收集范围和收集时间。

2 电路系统设计

2.1 电路设计思路

根据第1节中介绍的相关原理,本文设计的基于法拉第波小区域水面漂浮物自动回收装置主要由行进系统、漂浮物聚拢系统、收集存储系统、无线遥控系统以及电路控制系统等组成。行进系统主要由电机控制马达、螺旋桨的转速和方向,从而控制装置的行进速度和方向,行进系统和普通的船体在水面上的行进系统类似。漂浮物聚拢系统则由法拉第波的聚拢模块和机械的打捞模块组成。收集存储系统由收集传送带和镂空式的垃圾存储箱组成,漂浮物通过传送带从水面运动到垃圾存储箱

中,当存储箱满载时,装置返回,进行人工清理。无线遥控系统实现红外线自动避障,同时通过单片机实现远程控制装置的行进速度和方向,以及实时反馈存储箱中垃圾的收集量、电量等实时数据。电路控制系统由蓄电池和太阳能供电系统组成。

整个装置采用太阳能和蓄电池供电,以单片机为控制核心,通过单片机发出指令驱动电机,使装置在水面上进行行进与加速以及方向的控制,同时通过红外线避障模块进行接收与发送信号,避开水面上的障碍物并进行水面漂浮物的寻找。当发现水面漂浮物垃圾后,减速器开始工作,停止电机的转动,回收装置静止在水面上,法拉第波聚拢系统开始工作,将四周的漂浮物聚拢到收集装置下端,再通过收集装置传送带从水面传送到存储箱中,完成整个漂浮物打捞的过程。显示模块实时的显示装置的速度、电量以及漂浮物的存储容量等信息,以便工作人员更好地控制装置。装置整体设计如图3所示。

2.2 驱动电路设计

驱动电路包含行进模块的电机驱动电路和法拉第波聚拢模块的浮子振动电路。电机驱动电路采用的驱动器 WSDC2412D 是一款 12 A/24 V 双直流有刷电机驱动器,是专门为低压直流电机设计的。驱动器的主要功能是根据单片机发出的控制指令,通过驱动器的控制协议,输出对应的 PWM 波驱动电机运动。浮子振动电路的主要功能是根据式(4)的相关计算,通过单片机控制振动源按一定频率击打水面,形成法拉第波,使回收装置具备获取远距离水面漂浮物的能力。本文中设计的振动源采用推拉式直流电磁铁,原理为:电磁铁竖直固定在

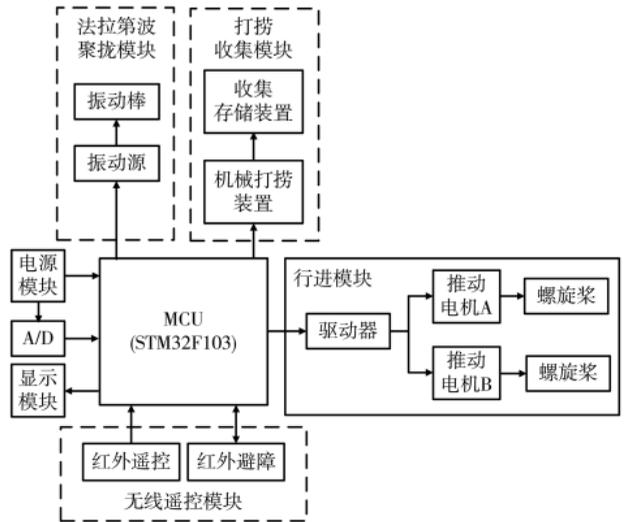


图3 水面漂浮物自动回收装置整体设计框图

悬链上,且能够竖直地打击水面,通过单片机按照给定设置的频率信号给推拉式直流电磁铁供电,通电时铁芯推动负载,断电靠弹簧复位,从而使电磁铁以一定频率打击水面,产生相应频率和波长的水波。驱动器与电机、单片机、电磁阀的电路图如图4所示,考虑控制系统的稳定性和性能多方面的因素,该电路的主控芯片采用 STM32F103,该芯片是高可靠、低消耗、抗干扰的高性能单片机,完全符合本系统的设计需求。

3 实验测试

根据法拉第波具有获取远距离水面漂浮物的原理及前文所讲述的电路原理,笔者设计了实验样机。采用

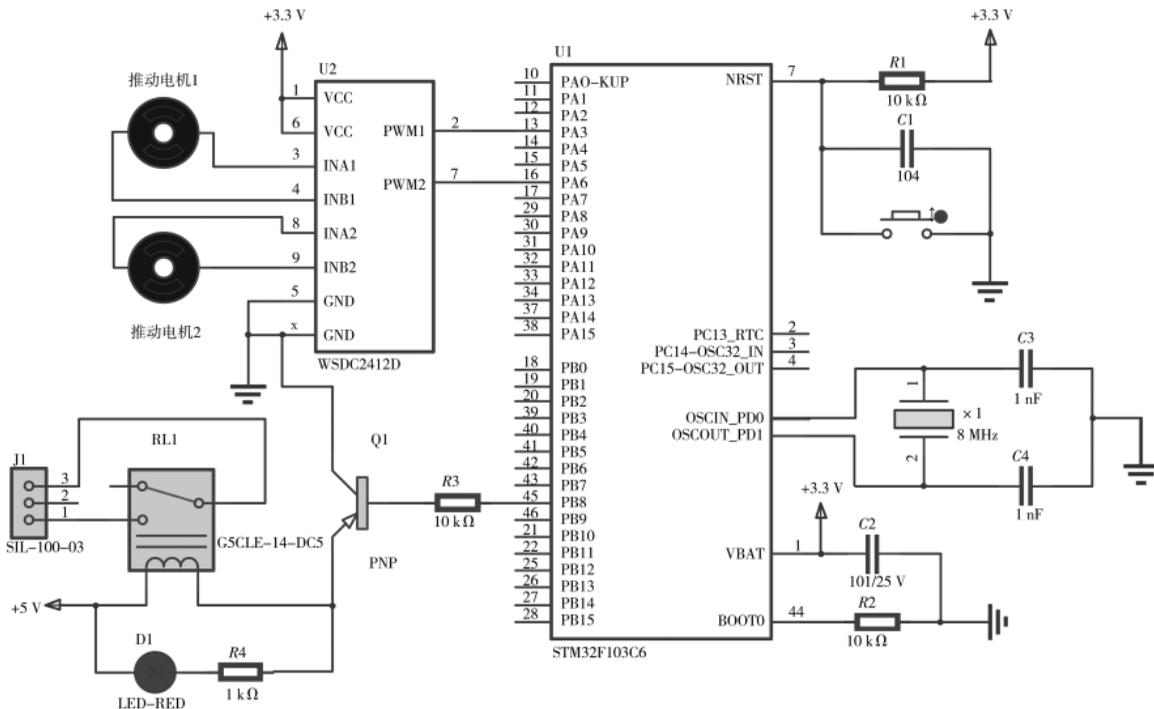


图4 电机驱动浮子振动电路

控制变量法,通过设置振动源的频率、漂浮物的距离等参数在某小区小区域水面进行了进行了一系列的实验,来测试该装置收集水面漂浮物的能力。通过实验测试,收集了大量的数据,部分数据如表 1 所示。

表 1 回收装置实验测试部分数据一览表

频率/Hz	距离/cm	投放漂浮物数量/粒	收回量/粒	收集时间/s	收集率/%
6	20	20	18	26.4	90
	30		14	34.8	70
	40		15	51.2	75
10	20	20	17	22.6	85
	30		16	29.5	80
	40		13	48.7	65
14	20	20	17	19.6	85
	30		16	30.2	80
	40		14	48.1	70
16	20	20	16	27.2	80
	30		16	50.3	80
	40		11	59.2	55
20	20	20	16	29.3	80
	30		15	53.3	75
	40		15	64.1	75

由表 1 实验测试数据可以看出,装置浮子振动电路产生的法拉第波对小区域水面漂浮物收集能力非常显著,收集有效率最高为 90%,最低为 55%。通过调整频率、移动样机与漂浮物间的距离,可以将回收装置的收集效率保持在 80% 以上。

在振动频率为 20 Hz 条件下,通过式(1)可得:波长=29 μm ,通过 MATLAB 数据处理可得法拉第波速度(v)和浮子振动加速度(a)关系如图 5 所示。由图 5 分析可知,振动频率为 20 Hz 条件下对于水波的流动过程而言,由于存在相干波的存在,使得有一个临界加速度。当涡流加速度低于临界加速度时,在相干波流的作用下,水波涡流会朝着远离振源方向运动,当涡流加速度高于临界加速度时,水波涡流会朝着靠近振源方向运动。如果此时漂浮物处在涡流返回运动的路劲上,便能在涡流的作用下聚拢到漂浮物中,聚拢时的速度会越来越快。

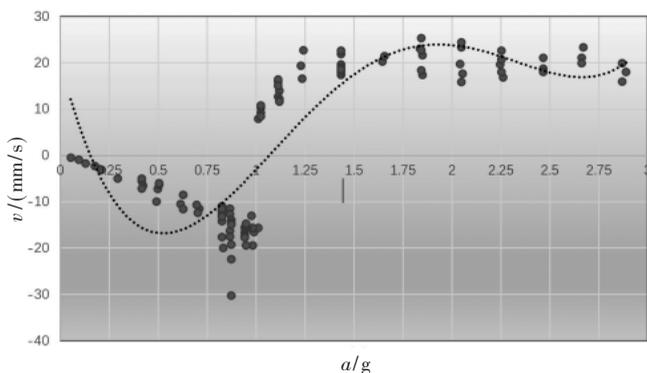


图 5 20 Hz 频率下 $v-a$ 关系图

4 结论

本文设计的基于法拉第波的水面漂浮物收集系统,通过单片机输出特定的频率到振动源,使与振动源相连的浮子在小区域水面上产生相应的法拉第波,利用法拉第波的特性使水面的污染物按照相应的轨迹运动到收集装置上,从而便于水面垃圾的打捞收集。笔者设计了实验样机,并利用 MATLAB 进行数据分析,为利用法拉第波的物理特性的打捞系统的可行性提供了依据,对城市内各类小区域水面清理漂浮物提供了一种全新的思路与实现方式。

样机的实验测试结果表明,法拉第波可实现不同范围的水面漂浮物收集,能够最大程度地减少小颗粒污染物对水体的污染,从而对水体环境实现有效保护,对未来的小区域水面治理具有一定的价值。

参考文献

- [1] 陈玲,高洁.一种新型水面垃圾清理分拣船的设计[J].船舶工程,2020,42(2):39-43.
- [2] 张宁,刘迪,李昆鹏.基于滤食特征的水面垃圾清理装备的仿生设计与评估[J].包装工程,2019,40(18):48-52.
- [3] 徐太平,陈鸿华.福建南靖实施蓝天青山绿水工程[J].中国经贸导刊,2010(18):44.
- [4] 刘广涛,王继荣,师忠秀,等.基于单片机无线遥控水陆两栖清洁车的设计[J].青岛大学学报(工程技术版),2014,29(3):64-69.
- [5] 弯昭锋,彭宏恺,廖飞云.基于多功能溢油回收船的线面式溢油回收技术研究[J].船海工程,2013(3):190-193.
- [6] 赵垒,许晓东,潘毅.太阳能小型水面除污装置的结构设计[J].科技创新与生产力,2017(1):75-76,79.
- [7] 张凯,盛林华,倪杰,等.水面保洁子母船多模式控制方法研究[J].控制工程,2021,28(11):2185-2192.
- [8] 朱永强,张平霞.海洋垃圾回收船设计[J].机械设计与制造,2020(1):18-20.
- [9] 汤伟,高涵,刘思洋.基于树莓派的小型水域智能垃圾清理机器人系统设计与实现[J].科学技术与工程,2019,19(34):239-247.
- [10] FARADAY M. On a peculiar class of acoustical figures and on certain forms assumed by groups of particles upon vibrating elastic surfaces[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1831, 121: 299-340.
- [11] WESTRA M T, BINKS D J, VAN DE WATER W. Patterns of Faraday waves[J]. J. Fluid Mech, 2003, 496: 1-32.
- [12] 赵文定,王思慧,范周游,等.理想流体的法拉第波模态[J].物理实验,2017,37(1):13-18.
- [13] 刘财兴,社会静,王怀翔,等.垂直激励低黏度硅油的法拉第波研究[J].大学物理,2016,35(4):52-59.
- [14] KUDROLLI A, GOLLUB J P. Localized spatiotemporal chaos in surface waves[J]. Phys. Rev. E Stat. Phys. Plasmas Fluids Relat. Interdiscip. Topics, 1996, 54(2): R1052.

(下转第 120 页)

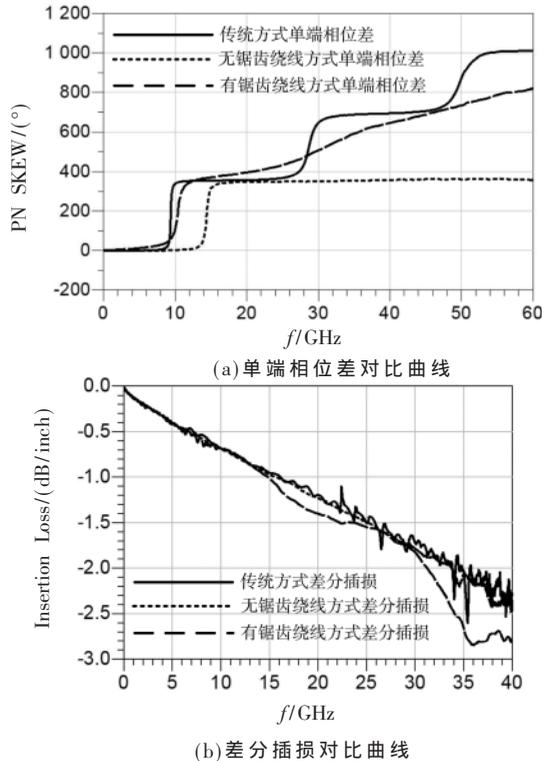


图 12 实测相位和插损曲线

线方式、带有锯齿结构的绕线方式以及没有锯齿结构的绕线方式进行对比验证, 得出了没有锯齿结构的绕线方式比传统折线布线方式占用空间更小, 比带有锯齿结构的绕线方式数据可靠性更高的结论。实验测试表明, 设计 PCIe Gen5 信号 Coupon, 使用没有锯齿结构的绕线方式, 在保证数据可靠性的前提下, 比传统方法占用空间更少, 数据稳定性更高, 更加有利于 Coupon 的低成本, 高可靠性设计。

参考文献

[1] 李实. 从 1.0 到 6.0 的飞跃之路 PCIe 总线技术发展解析[J]. 微型计算机, 2019(24): 6.

[2] Eric Bogatin, 李玉山, 刘洋. 信号完整性与电源完整性分析[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.

[3] 高斌, 朱兴华, 陈正清, 等. PCB 信号完整性影响因素探讨[J]. 印制电路信息, 2010(S1): 512-523.

[4] 刘丰, 苏新虹, 胡新星. PCB 信号完整性测试技术研究[J].

印制电路信息, 2014(1): 30-34.

[5] 葛鹰, 朱泳名. 高频高速覆铜板介电性能项目的测试技术发展综述(下)——印制电路板高频插入损耗的测试技术现状分析[J]. 覆铜板资讯, 2019(4): 36-42.

[6] 程柳军, 李艳国, 陈蓓. Delta L 损耗测试技术研究[J]. 印制电路信息, 2018, 26(z1): 411-419.

[7] HSU J, SU T, KAI X, et al. Printed circuit board insertion loss measurement metrology comparison[C]//Microsystems, Packaging, Assembly & Circuits Technology Conference. IEEE, 2015.

[8] YE X, BALOGH M. Physics-based fitting to improve PCB loss measurement accuracy[C]//2017 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity(EMCSI), 2017: 516-521.

[9] 许志辉, 冯立, 汤茂林. 时序同步下差分信号绕线方式的信号完整性研究[J]. 印制电路信息, 2018, 26(8): 6-9.

[10] FAN H, ZHOU X, BHOBE A U, et al. Localized skew compensation technique for reducing electromagnetic radiation: US2013 0118790A1[P], 2014.

[11] LOU J, GARG J, BHOBE A, et al. Intra-pair length matching by asymmetric dual bend to reduce mode conversion[C]//2020 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal/Power Integrity(EMCSI). IEEE, 2020.

[12] 景芳, 俞茂超. 差分信号线的技术原理及设计要求[J]. 电讯工程, 2007(1): 10-13.

[13] 陈蓓, 程柳军, 王红飞. 玻纤效应对高速信号的影响[C]//2015 中日电子电路秋季大会暨秋季国际 PCB 技术/信息论坛, 2015.

[14] 王锋. 基于信号完整性差分信号等长绕线的研究[J]. 电脑迷, 2018, 112(11): 173-175.

[15] 经纬. 不同差分传输线线形对信号完整性的影响[J]. 印制电路信息, 2007(9): 37-41.

(收稿日期: 2021-07-19)

作者简介:

刘涛(1983-), 男, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向: 服务器架构设计。

宗艳艳(1982-), 通信作者, 女, 本科, 工程师, 主要研究方向: 服务器架构设计。

王乾辉(1991-), 男, 本科, 初级工程师, 主要研究方向: 信号完整性。



扫码下载电子文档

(上接第 115 页)

[15] PUNZMANN H, FRANCOIS N, XIA H, et al. Generation and reversal of surface flows by propagating waves[J]. Nature Physics, 2014, 10(9): 658-663.

(收稿日期: 2021-10-12)

作者简介:

张新建(1980-), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向: 电磁

场、机器人技术等。

毕艳(1983-), 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 机械设计、有限元分析。

范娟(1978-), 通信作者, 女, 硕士, 副教授, 主要研究方向: 智能系统控制及优化技术, E-mail: jounko@qq.com。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所