

基于软件变采样率的电力谐波分析技术在船舶供电系统中的应用

傅石雨

嘉兴市科讯电子有限公司

DOI: 10.32629/jpm.v7i4.8856

[摘要] 船舶供电系统作为船舶航行的核心支撑，其电能质量直接决定船舶运行的安全性与可靠性。随着船舶电力电子设备的广泛应用，谐波污染问题日益突出，传统固定采样率谐波分析技术已难以适配船舶供电系统的动态运行特性。本文立足船舶供电系统的特殊性，阐述软件变采样率技术的核心原理与实现路径，分析该技术在船舶供电系统谐波检测、分析及治理中的应用要点，探讨技术应用中的优化策略，为提升船舶供电系统电能质量、保障船舶稳定运行提供理论支撑与技术参考。

[关键词] 软件变采样率；电力谐波分析；船舶供电系统；电能质量

Application of Software-Based Variable Sampling Rate Harmonic Analysis Technology in Marine Power Supply Systems

Fu Shiyu

Jiaxing Kexun Electronics Co., Ltd.

[Abstract] As the core support for maritime navigation, marine power supply systems determine the operational safety and reliability of vessels through their power quality. With the widespread adoption of power electronic equipment, harmonic pollution has become increasingly severe, rendering traditional fixed sampling rate harmonic analysis techniques inadequate for capturing the dynamic operational characteristics of marine power systems. This paper examines the unique requirements of marine power supply systems, elucidates the fundamental principles and implementation approaches of software-based variable sampling rate technology, analyzes key application aspects for harmonic detection, analysis, and mitigation, and explores optimization strategies for technical implementation. The findings provide theoretical foundations and practical references for enhancing power quality and ensuring stable vessel operations.

[Key words] variable sampling rate software; power harmonic analysis; marine power supply system; power quality;

船舶供电系统是一个独立的小型电力系统，承担着为船舶推进、导航、通信及各类辅助设备供电的重要职责，其运行稳定性与电能质量关乎船舶航行安全。近年来，船舶电气化水平不断提升，非线性负载占比持续增加，导致谐波畸变问题愈发显著，严重影响供电系统设备寿命与运行可靠性。传统谐波分析技术采用固定采样率模式，难以兼顾检测精度与实时性，无法满足船舶供电系统动态变化的运行需求^[1]。软件变采样率技术凭借灵活可调的采样特性，为船舶电力谐波精准分析提供了

新路径，研究其在船舶供电系统中的应用具有重要的工程价值与学术意义。

1 船舶供电系统谐波特性及分析技术现状

1.1 船舶供电系统的结构与运行特性

船舶供电系统由发电装置、配电装置、输电线路及用电设备构成，属于孤立型电力系统，其运行工况具有显著的动态性与特殊性。与陆上电力系统相比，船舶供电系统容量有限，负荷波动幅度较大，且受航行环境影响显著，电压与频率易出现

波动。船舶发电装置多采用柴油发电机组，其输出电压稳定性受负载变化影响较大，而推进系统、变频设备等非线性负载的投入，进一步加剧了供电系统的波形畸变，导致谐波成分复杂且多变。此外，船舶供电系统的空间布局紧凑，线路损耗与电磁干扰较为突出，也为谐波分析带来了额外挑战^[2]。

1.2 船舶供电系统谐波的产生与危害

船舶供电系统中的谐波主要来源于非线性负载的运行与电力设备的非线性特性。船舶推进变频器、晶闸管整流器、开关电源等电力电子设备，在运行过程中会产生大量高次谐波，这些谐波注入供电系统后，会导致电压与电流波形畸变。谐波的存在会加剧设备损耗，降低发电装置与配电设备的运行效率，加速绝缘老化，缩短设备使用寿命；同时，谐波还会干扰船舶导航、通信等精密设备的正常运行，导致继电保护装置误动作，严重时甚至引发供电系统故障，威胁船舶航行安全。此外，谐波还会影响电能计量的准确性，增加船舶运营成本^[3]。

1.3 船舶谐波分析技术的现有困境

当前船舶供电系统中应用的谐波分析技术，多基于固定采样率模式，以快速傅里叶变换（FFT）及其改进算法为主。此类技术虽具备运算简便、易于实现的优势，但在船舶动态运行场景中存在明显局限。固定采样率难以适配船舶供电系统频率波动的特点，易产生频谱泄露与栅栏效应，导致谐波检测精度不足；同时，固定采样率模式无法根据谐波成分的变化动态调整采样参数，要么难以捕捉微弱谐波信号，要么造成运算资源的浪费，无法兼顾检测精度与实时性。此外，部分谐波分析技术对电磁干扰的抗干扰能力较弱，难以适应船舶复杂的电磁环境，进一步影响谐波分析的可靠性。

2 软件变采样率电力谐波分析技术的核心原理

2.1 软件变采样率技术的核心内涵

软件变采样率电力谐波分析技术，利用软件算法动态调节采样频率，对电力信号的谐波成分进行准确检测和分析的一种新的技术。不同于传统的固定采样率技术，该技术不需要改变硬件电路结构，只需要通过软件编程来改变采样参数，就可以根据电力信号的频率变化和谐波分布特性，自适应地调整采样频率，在不同的运行工况下都能得到最好的谐波分析效果。核心优势就是灵活性高、适用性强，可以很好地避免固定采样率造成的频谱泄露和栅栏效应问题，提高谐波分析的精度和实时性。

2.2 软件变采样率的实现路径

软件变采样率技术的实现主要依靠采样频率自适应调整算法和信号处理算法的共同作用。采样频率自适应调整算法就是实时检测电力信号的基波频率，根据谐波成分的分布特征来

确定最优的采样频率，使采样频率和信号频率同步，避免频谱泄露。信号处理算法对采样后的信号进行滤波、去噪、谐波提取，采用改进的傅里叶变换算法或者小波变换算法，准确地分离出各个次谐波成分，计算出谐波幅值、相位等参数。软件变采样率技术还要依靠高速数据采集模块和嵌入式处理单元，完成信号的实时采集和快速处理，保证谐波分析的实时性。

2.3 软件变采样率技术的核心优势

相较于传统固定采样率谐波分析技术，软件变采样率技术具有显著的技术优势。其一，自适应调整能力强，能够根据船舶供电系统的频率波动与谐波变化，动态优化采样参数，无需人工干预即可适配不同运行工况，提升谐波分析的适应性。其二，检测精度高，通过同步采样有效抑制频谱泄露与栅栏效应，能够精准捕捉微弱谐波信号，准确提取各次谐波的关键参数，为谐波治理提供可靠的数据支撑。其三，性价比高，无需额外增加硬件设备，仅通过软件升级即可实现技术升级，降低船舶供电系统谐波分析的改造成本。其四，实时性优良，通过优化算法设计，缩短信号处理时间，能够实时反馈谐波分析结果，满足船舶供电系统实时监测的需求。

3 软件变采样率技术在船舶供电系统中的应用要点

3.1 船舶供电系统谐波信号采集与预处理

软件变采样率技术在船舶供电系统中的应用，首先需完成谐波信号的采集与预处理。信号采集环节需依托船舶供电系统的现有监测节点，部署高速数据采集模块，采集发电机输出端、配电装置输入端及关键负载端的电压、电流信号。采集过程中，软件系统通过自适应算法实时检测信号基波频率，动态调整采样频率，确保采样信号能够完整保留谐波成分。信号预处理环节则通过数字滤波算法去除信号中的噪声与干扰，剔除异常数据，对采样信号进行归一化处理，为后续谐波分析奠定基础。预处理的核心是抑制船舶电磁干扰带来的信号畸变，提升信号纯度，确保谐波分析结果的可靠性。

3.2 谐波参数精准提取与分析

谐波参数提取与分析是软件变采样率技术应用的核心环节。在信号预处理完成后，软件系统通过改进的傅里叶变换算法，对采样信号进行频域分析，精准分离基波与各次谐波成分，计算各次谐波的幅值、相位、谐波次数等关键参数。依托软件变采样率的自适应特性，能够根据谐波成分的分布，动态调整频域分析的分辨率，对高次谐波与微弱谐波进行精准检测，解决传统技术难以捕捉微弱谐波的难题。同时，软件系统可对谐波参数进行实时统计与分析，判断谐波畸变程度，识别谐波源，为后续谐波治理提供明确的靶向。

3.3 谐波治理的协同控制与优化

软件变采样率技术不但可以实现谐波的准确分析,还可以和船舶供电系统的谐波治理装置协同控制,提高谐波治理的效果。实时采集并分析谐波参数,软件系统可以准确地找到谐波源的位置和特性,向谐波治理装置发出控制指令,动态调节治理参数,从而达到实时抑制谐波的目的。软件系统可以对谐波治理效果进行实时监测和评价,根据谐波畸变率的变化来调整治理策略,保证谐波治理效果一直满足船舶供电系统电能质量的要求。协同控制模式把谐波分析与治理构成闭环控制,从而改善船舶供电系统电能质量。

3.4 系统运行状态监测与故障预警

软件变采样率技术在进行谐波分析的时候,也能同时起到船舶供电系统运行状态监测和故障预警的作用。实时监测分析谐波参数,软件系统可以对供电系统运行状况的变化做出反应,当谐波畸变率大于设定的阈值或者出现异常谐波成分时,就会发出故障预警信号,提示工作人员开展故障查找工作。软件系统能够对谐波数据加以存储并加以分析,借助历史数据的比较来预估供电系统运行趋向,即时察觉潜在的故障隐患,给船舶供电系统的保养检修赋予数据支撑,缩减故障出现的机率,保证船舶供电系统持续稳定运转。

4 软件变采样率技术应用的优化策略

4.1 算法优化提升分析精度与实时性

算法优化为软件变采样率技术的应用提供保证,是提高软件变采样率技术应用效果的主要途径。对于船舶供电系统频率波动大、谐波成分复杂的特性,要改进采样频率自适应调节算法,加快算法对基波频率改变的反应速度,保证采样频率可以及时跟上信号频率的变化,从而削减频谱泄露。改善谐波参数提取算法,取小波变换和傅里叶变换的长处,加强高次谐波、微弱谐波检测准确度,缩减信号处理时间,增强分析准确度和即时性。另外采用人工智能算法对谐波源实施智能识别,就谐波畸变趋向作出正确的预估,进而加强技术应用的智能化水准。

4.2 抗干扰能力的强化设计

船舶供电系统电磁环境复杂,电磁干扰会严重影响谐波信号的采集和分析精度,所以要强化软件变采样率技术的抗干扰能力。软件设计上可以采用数字滤波、自适应去噪算法来去除电磁干扰造成的噪声信号,提高信号的纯度,采样时序设计要避免在电磁干扰的影响下造成采样。从硬件配合的角度来加强数据采集模块的屏蔽设计,减小电磁干扰对采集信号的影响,保证采样的信号真实完整。依靠软硬件协同优化来提高软件变采样率技术在复杂电磁环境下对它的一种适应能力及可靠性。

4.3 与船舶供电系统的融合适配

软件变采样率技术的应用要充分考虑船舶供电系统结构

特点和运行需求,实现与现有系统深度融合适配。系统设计阶段要根据船舶供电系统容量、负荷分布、运行工况等参数来优化软件系统功能模块,保证技术应用与船舶供电系统运行特性相匹配。另外还需要保证船舶已有的监测、控制系统可以互相兼容,实现数据共享、协同工作,防止重复建设,减少改造成本。同时需要考虑船舶航行过程中环境适应性,优化软件系统稳定性和抗恶劣环境的能力,在高温、高湿、振动等恶劣环境下保证软件系统正常工作。

4.4 运维管理体系的完善

完善的运维管理体系是保证软件变采样率技术长期稳定使用的必要条件。需要建立完善的谐波分析数据存储和管理机制,对采集到的谐波数据及分析结果进行规范存储,为以后的故障排查、趋势分析提供数据支撑。创建技术运维管理规范,定时对软件系统进行升级和维护,及时修复软件中出现的漏洞,提高算法的表现效果,保证技术的应用稳定和牢固。同时对船舶供电系统操作软件系统、故障处理进行专业培训,提高操作人员的技术水平,使技术充分发挥出应有的作用,保证船舶供电系统安全稳定运行。

5 结论

船舶供电系统谐波污染问题会直接影响到船舶运行的安全性、可靠性,传统的固定采样率谐波分析技术已经不能满足船舶动态运行的要求了。软件变采样率电力谐波分析技术依靠自适应调节、精度高、实时性强、性价比好的特点,在船舶供电系统谐波检测、分析、治理和运行监测方面有广阔的应用前景。经过优化算法设计、加强抗干扰性、实现船舶供电系统深度融合、完善运维管理机制,可使该项技术的应用效果得到进一步提高,抑制谐波污染,提高船舶供电系统电能质量。随着船舶电气化的发展,软件变采样率技术会朝着更加智能、更加集成的方向发展,给船舶供电系统安全稳定运行提供更好的技术支持。

[参考文献]

- [1]张健鹏,吴振飞,王致远,等.基于三维监控多源接入的交直流一体化船舶岸电供电系统[J].港口科技,2025,(10):32-35+41.
- [2]邓鑫隆,胡蓉,许瑾,等.结合PCS与DGS的船舶应急供电系统[J].舰船科学技术,2025,47(12):98-105.
- [3]江桂利,李成.码头船舶智能供水供电系统设计与应用[J].集装箱化,2025,36(02):23-26.

作者简介:傅石雨,出生年月:1984年4月,男,汉族,籍贯:浙江嘉兴,学历:硕士,职称:中级工程师,研究方向:信息工程。