

# 基于自相关滤波的船舶电网电力供电频率自适应计算方法

傅石雨

嘉兴市科讯电子有限公司 314000

**【摘要】**为解决船舶电网运行中负载波动、谐波干扰及工况切换导致的供电频率计算精度不足、自适应能力薄弱等问题,提出一种基于自相关滤波的船舶电网供电频率自适应计算方法。通过构建船舶电网电压信号采集模型,利用自相关滤波技术抑制谐波与噪声干扰,提取基波信号特征,结合自适应调节机制实现频率的实时精准计算。研究表明,该方法可有效提升频率计算的稳定性与精度,适配船舶电网复杂动态运行场景,为船舶电网电能质量调控提供可靠技术支撑。

**【关键词】**自相关滤波;船舶电网;供电频率;自适应计算;基波提取

Adaptive Frequency Calculation Method for Ship Power Grid Based on Autocorrelation Filtering

Fu Shiyu

Jiaxing Kexun Electronics Co., Ltd., 314000

**【Abstract】**To address issues such as insufficient calculation accuracy and weak adaptability in power supply frequency determination caused by load fluctuations, harmonic interference, and operational condition switching during ship power grid operations, this study proposes an adaptive frequency calculation method utilizing autocorrelation filtering. By establishing a voltage signal acquisition model for ship power grids, the method employs autocorrelation filtering technology to suppress harmonics and noise interference, extracts fundamental wave signal characteristics, and combines an adaptive adjustment mechanism to achieve real-time precise frequency calculation. Research demonstrates that this approach significantly enhances the stability and accuracy of frequency calculations, effectively accommodates complex dynamic operating scenarios of ship power grids, and provides reliable technical support for power quality regulation.

**【Key words】**Autocorrelation filtering; Ship power grid; Power supply frequency; Adaptive calculation; Fundamental wave extraction

船舶电网作为船舶动力系统的核心组成部分,其供电频率的稳定性直接决定船舶导航、推进及辅助设备的正常运行。受船舶航行工况变化、负载启停频繁及电气设备非线性特性影响,船舶电网供电频率易出现波动,且伴随大量谐波与噪声干扰,导致传统频率计算方法精度下降、自适应能力不足。自相关滤波技术具备较强的噪声抑制与周期信号提取能力,可有效适配船舶电网复杂运行环境。本文基于自相关滤波原理,设计船舶电网供电频率自适应计算方案,解决传统方法的技术瓶颈,为船舶电网安全稳定运行提供理论与技术支撑。

## 1 船舶电网供电频率计算的核心理论基础

### 1.1 船舶电网供电频率的核心特性

船舶电网属于孤立型微电网,其供电频率的稳定运行依赖于发电设备与负载的功率平衡,相较于陆地电网,具有独

特的动态特性与运行约束。船舶电网的供电频率主要由同步发电机的转速决定,其理论计算遵循频率与转速的关联关系,核心关联式可通过发电机极对数与转速参数推导得出,频率数值与转速呈正相关、与极对数呈正相关。船舶电网多采用4极同步发电机,其频率与转速的匹配关系构成了频率计算的基础依据,同时也决定了频率波动的内在规律。

船舶电网供电频率的动态波动具有显著的工况关联性,航行过程中推进系统负载的变化、辅助设备的启停的交替,均会导致频率出现瞬时波动,波动范围通常超出陆地电网的允许阈值。此外,船舶电网中整流负载、变频设备的广泛应用,会产生大量谐波分量,这些谐波与电网基波信号叠加,进一步加剧频率计算的难度,导致传统频率计算方法难以精准捕捉基波频率特征,无法满足船舶电网实时调控的需求。

### 1.2 自相关滤波的核心原理

自相关滤波本质上是通过分析信号与自身延迟信号的相关性,实现周期信号提取与噪声抑制的信号处理技术,其

核心在于利用信号的周期性特征，区分基波信号与随机噪声、谐波干扰。自相关函数可量化信号在不同时间滞后下的相似性，对于周期性的基波信号，其自相关函数具有明显的周期性峰值，而随机噪声的自相关函数会随时间滞后增大快速衰减，谐波分量的自相关函数则呈现与自身频率对应的周期性特征。

自相关滤波的核心实现过程可概括为信号预处理、延迟相关运算与滤波输出三个环节。首先对采集的船舶电网电压信号进行预处理，滤除直流分量与极端干扰信号；随后设置合理的时间滞后参数，计算信号与不同延迟信号的自相关系数；最后通过阈值判断与特征提取，保留基波信号对应的自相关峰值，抑制噪声与谐波对应的冗余分量，实现基波信号的精准提取，为频率计算提供可靠的数据支撑。自相关滤波的优势在于无需预设信号频率范围，可自适应适配不同波动场景下的信号特征，具备较强的抗干扰能力。

### 1.3 频率自适应计算的核心需求

船舶电网供电频率的自适应计算，核心需求在于实现复杂工况下频率的实时、精准捕捉，同时具备较强的抗干扰能力与动态适配能力。船舶电网运行过程中，工况切换频繁，负载波动幅度较大，谐波与噪声干扰持续存在，传统频率计算方法多基于固定参数设定，无法根据信号特征的变化动态调整计算策略，导致计算精度下降，甚至出现计算失效的情况。

频率自适应计算需满足两个核心要求：一是时间响应的快速性，能够及时捕捉频率的瞬时波动，为船舶电网调控系统提供实时数据支持；二是计算精度的稳定性，在谐波、噪声及负载波动的干扰下，仍能保持较高的计算精度，误差控制在行业允许范围内。此外，自适应计算方法还需具备较强的鲁棒性，能够适配不同类型船舶电网的运行特性，无需针对特定船舶进行参数重构，降低工程应用成本。

## 2 基于自相关滤波的频率自适应计算方案设计

### 2.1 整体架构设计

基于自相关滤波的船舶电网供电频率自适应计算方案，整体采用信号采集、预处理、自相关滤波、频率计算、自适应调节的分层结构，各个部分相互配合，达到频率精准、实时计算的目的。抛弃传统的单一滤波、固定参数计算模式，用自适应调节方式，根据船舶电网运行情况的变化，实时调节滤波参数和计算方法，提高方案的适应性、抗干扰性。

架构的中心思想就是用自相关滤波法精确获取基波信号，清除谐波与噪声干扰对于频率计算的不良影响，利用自适应算法动态调整计算参数，适应频率瞬间的变化。各个分

层环节相互衔接，信号采集环节得到船舶电网实时电压信号，预处理环节对信号进行初步净化，自相关滤波环节完成基波提取，频率计算环节完成频率的量化计算，自适应调节环节根据计算结果和信号特征，动态优化各个环节的参数，形成闭环调控体系。

### 2.2 信号采集与预处理模块设计

信号采集模块是频率计算的基础，信号采集精度影响后面计算结果的可靠性。根据船舶电网运行特点，选用高精度电压传感器作为采集模块，选取船舶电网主母线段作为采集点，保证采集到的信号可以真实反映整个电网供电频率特征。采集频率要符合奈奎斯特采样定理，根据船舶电网频率的波动范围来合理确定采样周期，既要保证采集精度，又要保证计算效率，不能因为采样频率过高而造成计算冗余，也不能因为采样频率过低而造成信号失真。

预处理模块的主要作用就是消除采集信号中的直流分量、极端干扰和杂波，给自相关滤波环节提供纯净的输入信号。预处理过程主要包含直流分量去除、异常值剔除、低通滤波这三个步骤，直流分量去除用直流隔离电路和数字滤波相结合的方式消除信号中的直流偏移，异常值剔除用 $3\sigma$ 准则识别并剔除采集过程中出现的极端干扰信号，低通滤波用低通滤波滤除高频杂波，保留基波和低频谐波分量，为后续自相关滤波环节的基波提取打下基础。

### 2.3 自相关滤波模块的自适应优化

自相关滤波模块的优化设计是提升频率计算精度的核心，重点在于延迟参数的自适应调整与滤波阈值的动态优化。延迟参数的选择直接影响自相关函数的峰值识别效果，传统固定延迟参数的滤波方式，无法适配船舶电网频率的动态波动，易导致基波信号提取不精准。本文设计的自适应延迟参数调整策略，根据预处理后的信号特征，实时计算信号的周期估计值，动态调整延迟时间，确保自相关函数能够准确呈现基波信号的周期性峰值。

滤波阈值的动态优化则基于信号的信噪比实时调整，通过计算自相关函数的峰值与噪声分量的比值，确定合理的滤波阈值，抑制噪声与谐波对应的冗余峰值，保留基波信号对应的有效峰值。当船舶电网出现较大负载波动或谐波干扰增强时，信噪比会发生变化，滤波阈值随之动态调整，确保滤波效果的稳定性。同时，引入滑动窗口机制，对自相关函数进行滑动处理，提升基波信号提取的实时性，适配频率的瞬时波动。

### 2.4 频率自适应计算算法设计

频率自适应计算算法基于自相关滤波提取的基波信号特征，结合船舶电网频率的动态波动规律，实现频率的实时量化计算。算法核心在于通过自相关函数的峰值位置，计算

基波信号的周期,进而推导供电频率,同时引入自适应校正机制,动态修正计算误差,提升计算精度。

首先,通过自相关滤波模块提取基波信号的自相关函数,识别自相关函数的相邻峰值位置,计算相邻峰值之间的时间间隔,即为基波信号的周期;随后,根据频率与周期的倒数关系,计算船舶电网的供电频率;最后,引入自适应校正因子,根据历史计算数据与信号特征的变化,动态修正计算结果,消除系统误差与随机误差的影响。该算法无需预设频率范围,可自适应适配不同工况下的频率波动,同时具备较快的时间响应速度,能够实时捕捉频率的瞬时变化。

### 3 船舶电网频率计算的关键技术优化

#### 3.1 自相关滤波的抗干扰优化

船舶电网运行中,谐波干扰、随机噪声是造成频率计算不准的主要原因,因此要对自相关滤波技术进行抗干扰优化,提高基波信号提取的准确性。针对船舶电网中存在奇次谐波和偶次谐波,在自相关滤波环节加入谐波抑制因子,分析谐波信号的自相关特性,建立谐波识别模型,准确区分基波和谐波对应的自相关峰值,抑制谐波分量的影响。

对随机噪声采用自适应噪声抵消技术与自相关滤波相结合的方式,采集噪声参考信号,建立噪声抵消模型,实时抵消采集信号中的随机噪声。同时优化自相关函数的计算方式,采用加权自相关运算,增大基波信号对应的峰值强度,减小噪声分量对应的冗余峰值,从而提高滤波效果。经由以上的抗干扰手段之后,可以较好地减弱谐波、噪声对于频率计算的影响,从而改善频率计算的准确性以及稳定性。

#### 3.2 自适应调节机制的优化

自适应调节机制优化的关键之处在于加强方案对于船舶电网工况改变的适应程度,从而让滤波参数同计算参数达成动态协同调节。创建船舶电网运行状态识别模型,从电网电压幅值、负载功率、谐波含量等参数入手,对船舶电网运行工况实行实时识别,即稳态运行、负载波动、工况切换等。

根据不同的运行工况制定不同的参数调节策略,稳态运行工况下用固定的滤波参数和计算参数来保证计算精度和

效率的平衡,负载波动工况下加快延迟参数和滤波阈值的调整速度来提高频率计算的实时性,工况切换工况下增大自适应校正因子的权重来快速修正计算误差,避免频率计算出现突变。利用工况识别以及差异调节的方式来达成自适应调节机制的精准化,从而提升方案的动态适应水平。

#### 3.3 计算效率的优化提升

船舶电网频率计算要符合实时性要求,所以需要在保证计算精度的基础上,对计算流程进行优化,提高计算效率。针对自相关函数计算过程中存在的冗余运算,采用快速傅里叶变换和自相关运算相结合的方式,简化计算过程,减少运算量,提高自相关函数的计算速度。

同时对优化频率计算算法的逻辑结构进行优化,简化校正环节的运算步骤,采用分段计算和并行处理相结合的方式提高算法的运行效率。另外,在预处理环节中对滤波算法进行优化,采用轻量级的数字滤波算法,在保证滤波效果的同时减小运算时间,保证整个计算流程可以满足船舶电网实时调控的要求。计算效率的优化核心就是实现精度和效率的平衡,不能因为过分追求精度而造成计算延迟,也不能因为过分简化运算而造成精度下降。

### 4 结论

针对船舶电网供电频率计算中抗干扰能力差、自适应能力不足、计算精度低等问题,本文提出一种基于自相关滤波的船舶电网供电频率自适应计算方法,利用信号采集和预处理、自相关滤波优化、自适应频率计算、关键技术优化等方法,实现了复杂工况下船舶电网供电频率的实时、准确计算。该方法具有较强的抗干扰能力以及动态适应能力,可以适应船舶电网各种运行工况,计算精度和实时性均满足工程应用要求,比传统的计算方法有明显的优势。

该方法的提出完善了船舶电网频率计算的技术体系,给船舶电网电能质量调控提供可靠的技术支撑,具有广泛的工程应用前景和延伸价值。后续研究可以加快自相关滤波算法的运算速度,采用数字化、智能化的方法将船舶电网频率计算与调控结合起来,使船舶电网更稳定、高效、环保。

### 参考文献

[1]高洪宇,唐慧妍,邱鸿剑,等.感知技术在船舶智能电力系统中的应用[J].机电设备,2026,43(02):76-84.

[2]杜敏,张金源,田雨村,等.船舶多能源电力推进系统智能协同优化与控制[J].船舶物资与市场,2026,34(02):60-62.

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。