



Научно-практический журнал. Основан в 2005 году. Предыдущее название «Вестник ВИЭСХ». Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Журнал входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальностям: 2.4.5 / 4.3.1 / 4.3.2. Входит в базу данных AGRIS и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

Редакционная коллегия:

Д.А. Тихомиров, д.т.н., профессор РАН, член-корр. РАН (главный редактор)
А.В. Виноградов, д.т.н., профессор (заместитель главного редактора);
А.Ю. Измайлов, д.т.н., профессор, академик РАН, член Президиума РАН;
Я.П. Лобачевский, д.т.н., профессор, академик РАН;
А.С. Дорохов, д.т.н., профессор, академик РАН;
А.Н. Васильев, д.т.н., профессор;
Д.А. Будников, д.т.н.;
М.М. Благовещенская, д.т.н., проф.;
М.Г. Тягунов, д.т.н., профессор;
В.И. Зацепина, д.т.н., профессор.

Иностранные члены редколлегии:

И.И. Гируцкий, д.т.н., профессор (Беларусь);
А.Б. Оспанов, д.т.н., профессор, член-корр. НАН РК (Республика Казахстан);
П.А. Утениязов, д.т.н., с.н.с. (Республика Узбекистан);
Пандиан Васант, д-р философии (Малайзия);
В. Вивекананд, д-р философии, доцент (Индия);
Салам Чафик-Тома, профессор (Франция).

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-74528 от 14.12.2018 г.
Адрес издателя, редакции и типографии: 109428, Москва,
1^й Институтский проезд, 5, стр. 1.
Телефон: (499)174-88-11; (499)174-89-01
E-mail: vestnikviesh@gmail.com
Ответственный секретарь
Р.М. Нурбагандова

Редактор
Т.В. Бердникова
Компьютерный оригинал-макет
В.В. Бижаев

Перевод – Константин Моренко

Выходит 4 раза в год (Свободная цена)

Дата выхода в свет 15.12.2025 г.
Формат 60×84/8. Объем 13,25 печ. л.
Тираж 100 экз. Печать цифровая.

Отпечатано в типографии
ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
ISSN 2658-4859

Содержание номера

Электрофизические воздействия на материалы и среды

- Рудобаица С.П., Карташов Э.М., Зуева Г.А.
Математическое моделирование теплообмена при СВЧ-конвективной
сушке дисперсных материалов 3
Васильев А.А., Ярушко Т.П.
Разработка системы управления СВЧ-сушилкой зерна 10

Электроснабжение и электрооборудование

- Наумов И.В., Подъячих С.В., Иванов Д.А., Ямицкова И.В., Бутина Н.И.
Оценка уровня несбалансированного электропотребления во внутренних
электрических сетях административных помещений 17
Виноградов А.В., Виноградова А.В., Ван А.Г.
Система базовых показателей надёжности электрических сетей для анализа
журналов отключений 30

Тепло-энергообеспечение и энергосбережение

- Кузьмичев А.В., Тихомиров Д.А., Хименко А.В.
Радиационный теплообмен в помещении животноводческого здания 41
Яшин И.С., Тихомиров Д.А., Ламонов Н.Г., Васильев А.А.
Энергоэффективность применения термоэлектрического теплового насоса
в сушильных установках малой мощности 48

Автоматизация и управление технологическими процессами

- Самарин Г.Н., Попов А.Н.
Исследование элементов автоматической системы для отпугивания
краснокишечной норки ультразвуком 57
Стерхова Т.Н., Шамигурина А.А., Кутергин Д.С.
Программное средство для проектирования цифровых фильтров в системах
информационной безопасности объектов электроэнергетики 65
Юферев Л.Ю., Масчев О.В.
Сравнительный анализ беспилотного видеомониторинга и традиционного
фитосанитарного обследования агрокультур 71

Электропривод и мобильные установки

- Буторин В.А., Ляховецкая Л.В., Царев И.Б., Плешакова А.Ю.
Наработка до проведения первого контроля технического состояния
обмоток электродвигателя в сельском хозяйстве 77
Владыкин И.Р., Владыкин Д.И.
Энергетическая и экономическая выгода системы автоматического управления
электропривода расположения солнечных элементов 83

Возобновляемая и нетрадиционная энергетика

- Гамова А.А., Моренко К.С.
Использование гибридных энергокомплексов на базе ветровой энергии
на Крайнем Севере 91
Сафонов А.В., Ковалев Д.А., Ковалев А.А.
Оценка эффективности работы установки по выращиванию микроводоросли
с использованием атмосферного воздуха как источника CO₂ 100

Electrical Technology and Equipment in the Agro-Industrial Complex

The editorial board of the journal:

Dmitriy A. Tikhomirov, Dr.Sc.(Eng.),
Professor of the RAS, Corresponding
Member of the RAS (Editor in Chief);
Aleksandr V. Vinogradov, Dr.Sc.(Eng.),
Professor (Deputy Editor);
Andrey Yu. Izmaylov, Dr.Sc.(Eng.),
Professor, Member of the RAS,
Member of the Presidium of the RAS;
Yakov P. Lobachevskiy, Dr.Sc.(Eng.),
Professor, Member of the RAS;
Alexey S. Dorokhov, Dr.Sc.(Eng.),
Professor, Member of the RAS;
Aleksey N. Vasil'ev, Dr.Sc.(Eng.),
Professor;
Dmitry A. Budnikov, Dr.Sc.(Eng.);
Margarita M. Blagoveshchenskaya,
Dr.Sc.(Eng.), Professor;
Mikhail G. Tyagunov, Dr.Sc.(Eng.),
Professor;
Violetta I. Zatsepina, Dr.Sc.(Eng.),
Professor.

Foreign members of the Editorial Board:

Ivan I. Girutsky, Dr.Sc.(Eng.),
Professor (Belarus);
Asan B. Ospanov, Dr.Sc.(Eng.), Prof.,
Corresponding Member of NAS RK
(Republic of Kazakhstan);
Pulat A. Uteniyazov, Dr.Sc.(Eng.),
Chief Specialist,
(Republic of Uzbekistan);
Vasant Pandian, Dr. Philosophy,
Senior Lecturer, (Malaysia);
V. Vivekanand, Dr. Philosophy,
Assistant Professor (India);
Salam Chafik-Toma, Professor
(France).

PUBLISHER, EDITORIAL OFFICE'S AND PRINTING HOUSE ADDRESS

109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5, bld. 1.
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01
<http://www.vimsmit.com>
E-mail: vestnikviesh@gmail.com

EXECUTIVE EDITORS:

Nurbagandova R.M.
Berdnikova T.V.,
Bizhaev V.V.,
Translation into English –
Konstantin Morenko

Published 4 times per annum (Free price)

Release date 15.12.2025.
The format is 60×84/8.
Volume 13.25 printed sheet.
The circulation is 100 copies
Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science

ISSN 2658-4859

Contents

Electrophysical effects on materials and media

- Rudobashita S.P., Kartashov E.M., Zueva G.A.*
Mathematical modeling of heat and mass transfer during microwave convective drying
of dispersed materials 3
Vasilev A.A., Yarushko T.P.
Development of a control system for a microwave grain dryer 10

Power supply and electrical equipment

- Naumov I.V., Podyachikh S.V., Ivanov D.A., Yamshchikova I.V., Butina N.I.*
Assessment of the unbalanced power consumption in the internal electrical grids
of administrative premises 17
Vinogradov A.V., Vinogradova A.V., Van A.G.
The system of basic reliability indicators of electric grids for the analysis
of logs of outages 30

Heat supply and energy saving

- Kuzmichev A.V., Tikhomirov D.A., Khimenko A.V.*
Radiation heat exchange in the premises of a livestock building 41
Yashin I.S., Tikhomirov D.A., Lamonov N.G., Vasilyev A.A.
Energy efficiency of using a thermoelectric heat pump in low-power drying units 48

Automation and technological processes control

- Samarin G.N., Popov A.N.*
Investigation of the elements of an automatic system for scaring red book mink
with ultrasound 57
Sterkhova T.N., Shamshurina A.A., Kutergin D.S.
Software tool for designing digital filters in information security systems
of electric power facilities 65
Yuferev L.Yu., Mashev O.V.
Comparative analysis of unmanned video monitoring and traditional phytosanitary
survey of crops 71

Electric drive and mobile units

- Butorin V.A., Lyakhovetskaya L.V., Tsarev I.B., Pleshakova A.Yu.*
Operating time until the first technical condition inspection of electric motor windings
in agriculture 77
Vladykin I.R., Vladykin D.I.
Energy and economic benefits of the automatic control system for the electric drive
of the solar cells 83

Renewable and unconventional energy

- Gamova A.A., Morenko K.S.*
The use of hybrid energy complexes based on wind energy in the Far North of Russia 91
Safonov A.V., Kovalev D.A., Kovalev A.A.
Evaluation of the efficiency of a microalgae cultivation system using atmospheric air
as a source of CO₂ 100

Полные тексты статей размещаются на сайте электронной научной библиотеки: elibrary.ru.
Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.



Программное средство для проектирования цифровых фильтров в системах информационной безопасности объектов электроэнергетики

Татьяна Николаевна Стерхова,

кандидат технических наук, доцент, e-mail: tatiana.sterh@mail.ru;

Анастасия Андреевна Шамшурина,

студент;

Данил Сергеевич Кутергин,

студент

Удмуртский государственный университет, Ижевск, Российская Федерация

Реферат. В современных системах информационной безопасности особую актуальность приобретают эффективные методы обработки сигналов для защиты данных от помех, кибератак и несанкционированного доступа. Цифровые фильтры, в частности, с конечной импульсной характеристикой и бесконечной импульсной характеристикой, играют ключевую роль в решении этих задач. Их ручное проектирование остается сложным и трудоемким процессом, что обуславливает необходимость разработки специализированного программного обеспечения. (Цель исследования) Разработать программный комплекс на языке Python, обеспечивающий автоматизацию полного цикла проектирования цифровых фильтров (FIR и IIR) для систем информационной безопасности. (Материалы и методы) Определили основные задачи: создание инструмента для расчета коэффициентов фильтров с конечной импульсной характеристикой и с бесконечной импульсной характеристикой, реализация визуализации их амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик, обеспечение возможности экспорта результатов для использования во встраиваемых системах. (Результаты и обсуждение) Установили, что полнофункциональный программный комплекс позволяет: проектировать фильтры с заданными параметрами; визуализировать их частотные характеристики; экспортировать коэффициенты для дальнейшего использования. Выявили, что сравнительный анализ показал, что фильтры с конечной импульсной характеристикой обладают линейной фазовой характеристикой и устойчивостью, но требуют большие вычислительных ресурсов, тогда как фильтры с бесконечной импульсной характеристикой более эффективны по количеству коэффициентов, но могут вызывать фазовые искажения. (Выводы) Показали, что разработанное программное средство успешно решает задачи автоматизации проектирования цифровых фильтров для систем информационной безопасности, значительно ускоряя процесс разработки и повышая точность расчетов. Констатировали, что практическая значимость работы подтверждается возможностью использования программы как в учебном процессе, так и в реальных проектах по защите информации. Отметили, что отдельного внимания заслуживает применение разработки в электроэнергетике, где цифровые фильтры играют критически важную роль в обеспечении стабильности и безопасности энергосистем.

Ключевые слова: цифровые фильтры, информационная безопасность, Python, автоматизация проектирования, фильтры, обработка сигналов.

Для цитирования: Стерхова Т.Н., Шамшурина А.А., Кутергин Д.С. Программное средство для проектирования цифровых фильтров в системах информационной безопасности объектов электроэнергетики // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2025. Т. 72. N4. С. 65-70. DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-4-65-70. EDN: BTJLET.

Scientific article

Software Tool for Designing Digital Filters in Information Security Systems of Electric Power Facilities

Tatyana N. Sterkhova,
Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: tatiana.sterh@mail.ru;
Anastasiya A. Shamshurina,
student;
Danil S. Kutergin,
student

Udmurt State University, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. *In modern information security systems, effective signal processing methods are of particular relevance to protect data from interference, cyber attacks and unauthorized access. Digital filters, in particular, with finite impulse response and infinite impulse response, play a key role in solving these problems. Their manual design remains a complex and time-consuming process, which necessitates the development of specialized software. (Research purpose) The research purpose is developing a software package in Python that provides automation of the full design cycle of digital filters (FIR and IIR) for information security systems. (Materials and methods) The main tasks were defined: creating a tool for calculating the ratios of filters with finite impulse response and with infinite impulse response, visualizing their amplitude-frequency and phase-frequency characteristics, providing the ability to export the results for use in embedded systems. (Results and discussion) It has been established that a fully functional software package allows: designing filters with specified parameters; visualizing their frequency characteristics; exporting ratios for further use. It was found that a comparative analysis showed that filters with a finite impulse response have a linear phase response and stability, but require more computational resources, while filters with an infinite impulse response are more efficient in terms of the number of ratios, but can cause phase distortion. (Conclusions) It was shown that the developed software tool successfully solves the problems of automating the design of digital filters for information security systems, significantly speeding up the development process and increasing the accuracy of calculations. It was stated that the practical significance of the work is confirmed by the possibility of using the program both in the educational process and in real information security projects. It was noted that special attention should be paid to the application of the development in the electric power industry, where digital filters play a critical role in ensuring the stability and safety of power systems.*

Keywords: digital filters, information security, Python, design automation, filters, signal processing.

For citation: Sterkhova T.N., Shamshurina A.A., Kutergin D.S. Software tool for designing digital filters in information security systems of electric power facilities.. *Electrical technology and equipment in the Agro-Industrial Complex*. 2025. Vol. 72. N4. 65-70 (In Russian). DOI: 10.22314/2658-4859-2025-72-4-65-70. EDN: BTJLET.

Современные исследования в области цифровой обработки сигналов (ЦОС) подчеркивают возрастающую роль цифровых фильтров в системах информационной безопасности. FIR- и IIR-фильтры стали неотъемлемым компонентом систем защиты данных благодаря их способности эффективно подавлять шумы и противодействовать киберугрозам [1]. Однако, согласно исследованиям Проакиса и Манолакиса, процесс проектирования таких фильтров остается сложной инженерной задачей, требующей:

- точного расчета коэффициентов с учетом частотных характеристик;
- комплексного анализа устойчивости системы;
- оптимизации вычислительной сложности.

В работе Оппенгейма и Шафера показаны традиционные методы проектирования, характеризующиеся высокой трудоемкостью и субъективностью, что подтверждает необходимость разработки специализированных программных решений для автоматизации этих процессов.

Цель исследования – разработать программный комплекс на языке Python, обеспечивающий автоматизацию полного цикла проектирования цифровых фильтров (FIR и IIR) для систем информационной безопасности, включая: расчет оптимальных коэффициентов, анализ устойчивости, визуализацию амплитудно-частотных (АЧХ) и фазочастотных (ФЧХ) характеристик, а также экспорт результатов для практического применения.

Материалы и методы. Методы проектирования *FIR*-фильтров. Для автоматизированного расчета коэффициентов *FIR*-фильтров применили три ключевых метода:

Оконный метод с использованием функций Хэмминга. Данный подход обеспечивает простоту реализации, но требует оптимизации порядка фильтра.

Метод частотной выборки, основанный на дискретизации желаемой АЧХ.

Метод Ремеза (минимаксная аппроксимация), позволяющий минимизировать максимальную ошибку в полосах пропускания и задерживания.

Представили установку по схеме, показанной на рисунке 1.

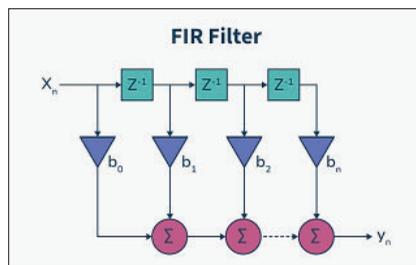


Рис. 1. Упрощенная схема *FIR*-фильтра
Fig. 1. Simplified *FIR* filter diagram

Методы проектирования *IIR*-фильтров. Для *IIR*-фильтров использовали:

Билинейное преобразование для перевода аналоговых прототипов (Баттерворта, Чебышева) в цифровую область.

Метод инвариантной импульсной характеристики для сохранения временных свойств аналогового фильтра.

Собрали установку по схеме, представленной на рисунке 2.

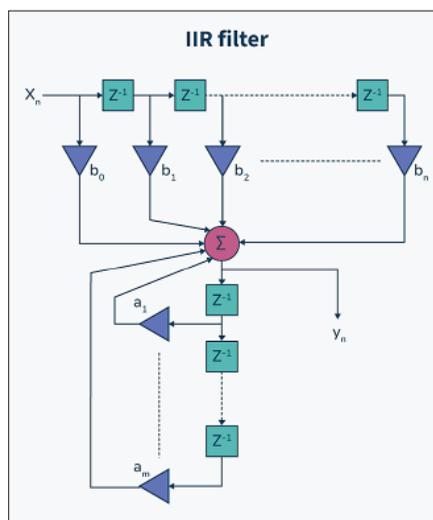


Рис. 2. Упрощенная схема *IIR*-фильтра
Fig. 2. Simplified *IIR* filter diagram

Результаты и обсуждение. Проектирование цифровых фильтров начинается с определения их коэффициентов, которые полностью характеризуют свойства фильтра. Для *FIR*-фильтров (с конечной импульсной характеристикой) коэффициенты непосредственно представляют собой отсчеты импульсной характеристики $h(n)$, тогда как для *IIR*-фильтров (с бесконечной импульсной характеристикой) требуется расчет коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции [2, 3].

Оконный метод. Наиболее распространенный подход, основанный на умножении идеальной бесконечной импульсной характеристики на оконную функцию $w(n)$ конечной длины [4]:

$$h(n) = h_i(n) \cdot w(n),$$

где n – порядок фильтра;

$h_i(n)$ – идеальная бесконечная импульсная характеристика;

$w(n)$ – оконная функция.

Метод Ремеза (оптимальный). Итерационный алгоритм минимизации максимального отклонения реальной АЧХ от желаемой в полосах пропускания и задерживания использует алгоритм обмена Ремеза для равномерного распределения ошибки.

Билинейное преобразование. Один из методов синтеза дискретного фильтра с заданными свойствами по аналоговому прототипу. В этом методе переход из s -области в z -область осуществляется с помощью следующего билинейного преобразования. Позволяет преобразовать аналоговый прототип в цифровой фильтр через замену переменных:

$$s = \frac{2}{\Delta t} \cdot \frac{z-1}{z+1},$$

где t – период дискретизации.

Если подать на вход *FIR*-фильтра единичный импульс, рано или поздно система придет в исходное состояние, и на выходе будут нули. *FIR*-фильтр представляет собой массив из M коэффициентов. Зависимость n -го выхода фильтра $y(n)$ от входа $x(n)$ определяется по формуле [5]:

$$y(n) = \sum_{k=0}^{M-1} h(k) \cdot x(n - k).$$

IIR-фильтр – это один из классов линейных систем, не зависящих от времени. Можно представить функцию фильтра в виде разностного уравнения:

$$y[n] = - \sum_{k=1}^N a_k y[n - k] + \sum_{k=0}^M b_k x[n - k],$$

где $y[n]$ – текущий выходной сигнал на момент времени n (результат фильтрации) [6];

$x[n]$ – текущий входной сигнал на момент времени n (исходные данные);

N – порядок рекурсивной части (количество прошлых выходных значений, учитываемых в вычислениях);

a_k – коэффициенты знаменателя передаточной функции (отвечают за рекурсивную часть, то есть влияние прошлых выходных значений);

M – порядок нерекурсивной части (количество прошлых входных значений);

b_k – коэффициенты числителя передаточной функции (отвечают за нерекурсивную часть, то есть влияние текущего и прошлых входных значений).

Программное средство для автоматизации проектирования цифровых фильтров разработали на языке *Python* с использованием библиотек *NumPy*, *SciPy* и *Matplotlib*. Его основная цель – упростить процесс создания *FIR*- и *IIR*-фильтров для систем информационной безопасности, где критически важны эффективная обработка сигналов и защита данных от помех.

Одна из основных проблем – искажение графиков и их цветопередача [7]. Важный аспект программы – визуализация характеристик фильтров. С помощью библиотеки *Matplotlib* строятся графики АЧХ и ФЧХ, а также импульсного отклика [8]. Например, АЧХ *FIR*-фильтра с окном Хэмминга демонстрирует равномерное подавление в полосе задерживания, а ФЧХ *IIR*-фильтра Баттерворта – нелинейность фазы, что критично для систем с требованиями к временным задержкам. Импульсная характеристика *FIR*-фильтра, отображающая симметричность коэффициентов, подтверждает линейность фазы. Пользователь может настраивать параметры (частоту среза, порядок фильтра, тип окна), накладывать несколько графиков для сравнения и экспортировать результаты в форматы *PNG* или *PDF*.

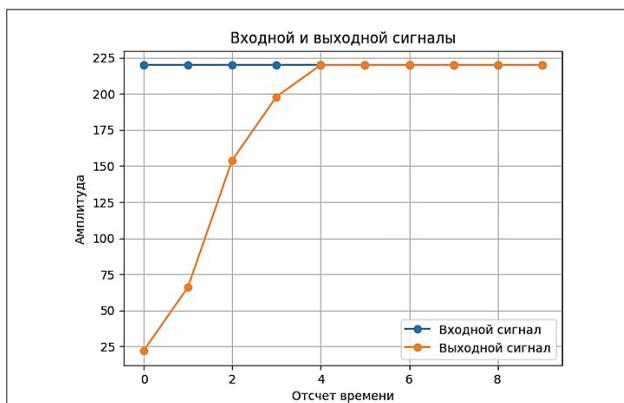


Рис. 3. График зависимости амплитуды входного и выходного сигналов от времени

Fig. 3. Dependence of the amplitude of the input and output signals on time

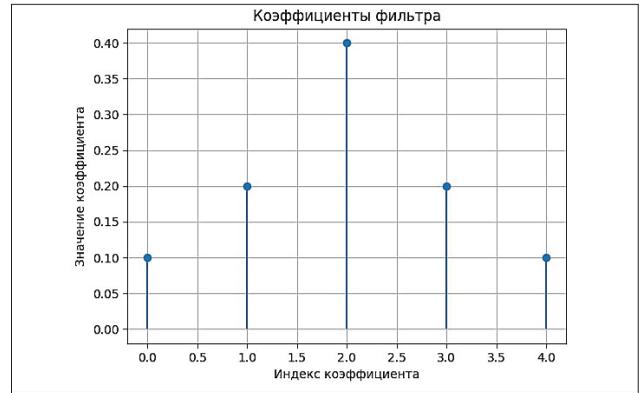


Рис. 4. График зависимости коэффициентов фильтров
Fig. 4. Dependence of the filter ratios

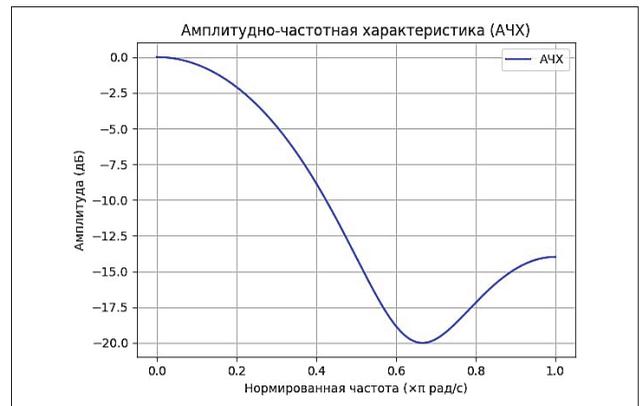


Рис. 5. График амплитудно-частотной характеристики
Fig. 5. Amplitude-frequency response

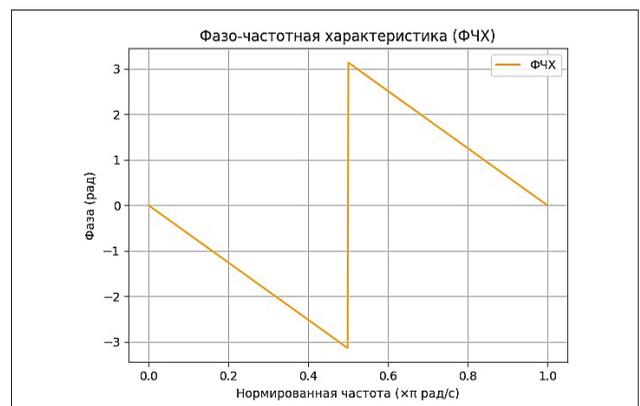


Рис. 6. График фазочастотной характеристики
Fig. 6. Phase-frequency response

Рисунки 3-6 показывают визуализацию программы для *FIR*-фильтра.

Рисунки 7-9 демонстрируют визуализацию характеристик для *IIR*-фильтра.

Примеры графиков иллюстрируют ключевые особенности фильтров. На графике АЧХ *FIR*-фильтра (нормированная частота по горизонтальной оси и амплитуда в децибелах по вертикальной) четко видны полоса пропускания, переходная область и полоса задерживания. ФЧХ *IIR*-фильтра, где груп-

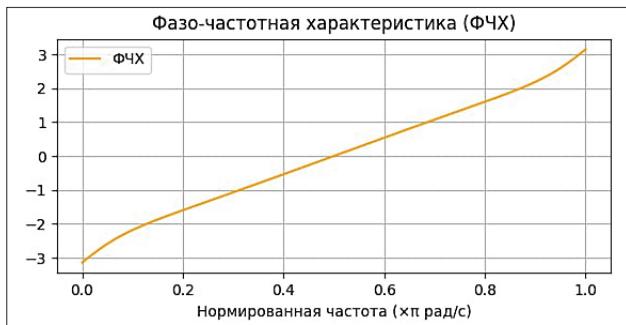


Рис. 7. График фазочастотной характеристики
Fig. 7. Phase-frequency response

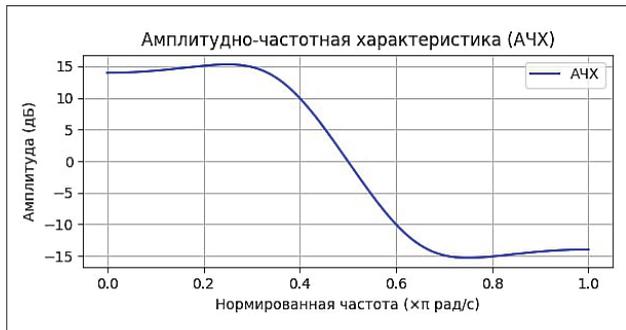


Рис. 8. График амплитудно-частотной характеристики
Fig. 8. Amplitude-frequency response

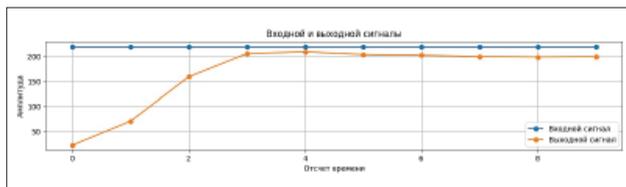


Рис. 9. График зависимости амплитуды входного и выходного сигналов от времени
Fig. 9. Dependence of the amplitude of the input and output signals on time

повая задержка вычисляется как производная фазы, демонстрирует нелинейность, что ограничивает применение таких фильтров в системах с требованиями к сохранению формы сигнала [9].

Выводы. Разработанное программное средство значительно сокращает время проектирования цифровых фильтров – с дней до минут. Интуитивный интерфейс, возможность визуализации компромиссов между *FIR* и *IIR*, а также экспорт результатов делают его универсальным инструментом для образовательных и промышленных проектов в области защиты информации. Программа не только автоматизирует расчеты, но и повышает точность проектирования цифровых фильтров, обеспечивающих безопасность информации объектов КИИ (Критическая информационная инфраструктура), включающих объекты электроэнергетики.

Библиографический список

1. Туманова К.С. К вопросу о цифровых фильтрах // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. 2013. N4. С. 203-206. EDN: REBIVD.
2. Юлдашева М.Т. Коррекция динамических погрешностей измерительных преобразователей с помощью цифровых фильтров // *Молодой ученый*. 2017. N4(138). С. 93-95. EDN: XSCIGH.
3. Гадзиковский В.И. Две формы представления передаточных функций полосовых и режекторных рекурсивных цифровых фильтров // *Вестник УГТУ-УПИ*. 2004. N18(48). С. 74-77.
4. Торгушин И.В. Цифровые фильтры с конечной импульсной характеристикой // *Молодой ученый*. 2021. N19(361). С. 28-30. EDN: IHQTAА.
5. Каплун Д.И. Разработка и исследование нерекурсивных цифровых фильтров без умножений // *Современные проблемы науки и образования*. 2012. N4. С. 117. EDN: PBIQRH.
6. Исаков В.Н., Тимошенко П.И. Локальная интерполяция и аппроксимация в задачах эвристического синтеза цифровых фильтров // *Российский технологический журнал*. 2018. Т. 6. N4(24). С. 42-64. EDN: XYDYTB.
7. Быков Р.Е. Цифровые фильтры цветности в задачах обработки видеоизображений // *Биотехносфера*. 2010. N3(9). С. 42-48. EDN: SZBSJN.
8. Исаков В.Н. Сходимость при регулярной интерполяции и локальные интерполяционные базисы // *Наукоемкие технологии*. 2013. N4. С. 40-46. EDN: PZKPGN.
9. Романюк Ф.А., Гурьянчик О.А., Ковалевский А.В. Цифровые фильтры для микропроцессорных защит электроустановок // *Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*. 2005. N5. С. 17-20 EDN: LASLNT.

References

1. Tumanova K.S. On the issue of digital filters. *Fundamental and applied research: problems and results*. 2013. N4. 203-206 (In Russian). EDN: REBIVD.
2. Yuldasheva M.T. Correction of dynamic errors of measuring transducers using digital filters. *Young Scientist*. 2017. N4(138). 93-95 (In Russian). EDN: XSCIGH.
3. Gadzikovskiy V.I. Two forms of representation of transfer functions of bandpass and notch recursive digital filters. *Bulletin of UGTU-UPI*. 2004. N18(48). 74-77 (In Russian).
4. Torgushin I.V. Digital filters with finite impulse response. *Young Scientist*. 2021. N19(361). 28-30 (In Russian). EDN: IHQTAА.

5. Kaplun D.I. Designing and research of non-recursive digital filters without multiplications. *Modern Problems of Science and Education*. 2012. N4. 117 (In Russian). EDN: PBIQRH.
6. Isakov V.N., Timoshenko P.I. Local interpolation and approximation in tasks of heuristic synthesis of digital filter. *Russian Technological Journal*. 2018. Vol. 6. N4(24). 42-64 (In Russian). EDN: XYDYTB.
7. Bykov R.E. Using digital chromaticity filters in video processing. *Biotechnosphere*. 2010. N3(9). 42-48 (In Russian). EDN: SZBSJN.
8. Isakov V.N. Convergence of regular interpolation and local interpolation bases. *Science Intensive Technologies*. 2013. N4. 40-46 (In Russian). EDN: PZKPGN.
9. Romaniyuk F. A., Guryanchik O. A., Kovalevsky A.V. Digital filters for microprocessor protection of electrical installations. *Energetika. Proceedings of CIS Higher Education Institutions and Power Engineering Associations*. 2005. N5. 17-20 (In Russian). EDN: LASLNT.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Стерхова Т.Н. – общее руководство, организация процесса написания статьи;

Шамшурина А.А. – оформление текста, формулировка тезисов, оформление рисунков;

Кутергин Д.С. – анализ литературы, написание программы.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Sterkhova T.N. – general management, organization of the article writing process;

Shamshurina A.A. – text formatting, formulation of theses, and drawing design;

Kutergin D.S. – literature analysis, and writing the program.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 05.08.2025

Статья принята к публикации 20.10.2025