

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов

Рассмотрены основы теории фильтрации, типы фильтров, методы их расчёта и реализации. Кратко описаны активные фильтры на основе операционных усилителей, программные и аппаратные цифровые фильтры. Изложены методы синтеза и воспроизведения специальных весовых функций, позволяющих повысить помехозащищённость современных автоматических средств измерения. Приведены конкретные примеры расчета и реализации типовых фильтров.

Для инженерно-технических и научных работников, занятых разработкой и эксплуатацией измерительной аппаратуры, может быть полезна студентам вузов.

Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов. — Ленинград, издательство Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.— 192 с.

Рецензент И. А. Караванов

Редактор Ю. В. Долгополова

Содержание книги Фильтрация измерительных сигналов

Предисловие

Глава первая. Преобразование Фурье

1. Ряд Фурье
2. Интеграл Фурье и преобразование Лапласа
3. Основные свойства преобразования Фурье

Глава вторая. Основные сведения о спектрах

4. Что такое спектр?
5. Спектры некоторых простых сигналов
6. Соотношение спектров одиночного и периодического сигналов
7. Текущий спектр

Глава третья. Энергетический спектр

8. Спектры энергии и мощности
9. Энергетический спектр случайного процесса
10. Соотношение между энергетическим спектром и корреляционной функцией случайного процесса

Глава четвертая. Спектры дискретизированных сигналов

11. Влияние дискретизации на спектр сигнала
12. Теорема Котельникова
13. Дискретное преобразование Фурье
14. Основные свойства ДПФ
15. Быстрое преобразование Фурье
16. Z-преобразование

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Глава пятая. Преобразование сигналов линейными цепями и общие сведения о фильтрах

17. Преобразование детерминированного сигнала линейной цепью
18. Преобразование стационарного эргодического случайного сигнала линейной цепью
19. Назначение и типы фильтров

Глава шестая. Активные фильтры

20. Аппроксимация характеристик фильтров
21. Схемы активных фильтров
22. Расчет активных фильтров

Глава седьмая. КИХ-фильтры, подавляющие помехи с линейчатым спектром

23. Общий подход к синтезу импульсных КИХ-фильтров, подавляющих периодическую помеху
24. Синтез помехоподавляющих ВФ путем применения циклотомических полиномов
25. Некоторые свойства помехоподавляющих ВФ
26. Равноамплитудные весовые функции

Глава восьмая. Усредняющие КИХ-фильтры

27. Усредняющие окна
28. Оптимальные усредняющие окна
29. Окна с целочисленными весовыми коэффициентами
30. Весовые функции для измерительных каналов с модуляцией-демодуляцией сигнала
31. Весовые функции, уменьшающие погрешности квантования цифровых частотомеров

Глава девятая. Общие методы реализации и расчета дискретных и импульсных фильтров

32. Реализация дискретных и импульсных КИХ-фильтров
33. Реализация дискретных и импульсных БИХ-фильтров
34. Расчет дискретных КИХ-фильтров
35. Расчет дискретных БИХ-фильтров

Список литературы

Список литературы

1. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Высшая школа, 1988
2. Ван-дер-Варден Б. Л. Алгебра. М.: Наука, 1979.
3. Вишенчук И. М. Выполнение операции усреднения в измерительных приборах методом весовых функций // Измерения, контроль, автоматизация. 1980. № 3, 4. С. 17—22.
4. Гехер К. Теория чувствительности и допусков электронных цепей. М.: Советское радио, 1973.
5. Голд Б., Рэйдер Ч. Цифровая обработка сигналов / С приложением работы Д. Кайзера «Цифровые фильтры». М.: Советское радио, 1973.
6. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов.— 4-е изд., перераб. и доп. М.: Радио и связь, 1986.
7. Гутников В. С. Интегральная электроника в измерительных устройствах. Л.: Энергоатомиздат, 1988.
8. Гутников В. С. Методы реализации специальных весовых функций в измерительных

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

- устройствах // Измерения, контроль, автоматизация. 1983. № 2. С. 3—15.
9. Гутников В. С. Применение гребенчатой весовой функции в интегрирующих АЦП // Изв. вузов. Приборостроение. 1982. № 1. С. 3—7.
10. Гутников В. С. Применение операционных усилителей в измерительной технике. Л.: Энергия, 1975.
11. Гутников В. С., Ковшов В. Д. Использование финитных весовых функций при реализации метода коммутационного инвертирования в измерительных системах // Измерительная техника. 1985. № 3. С. 38—39.
12. Гутников В. С., Руколайне А. В. Синтез весовых функций, увеличивающих помехоподавление интегрирующих измерительных преобразователей // Общие вопросы теории и проектирования аналоговых измерительных преобразователей: Тез. докл. Всесоюз. научно-техн. конф. Ульяновск. 1978. С. 19—20.
13. Дёч Г. Руководство к практическому применению преобразования Лапласа и Z-преобразования. М.: Наука, 1971.
14. Джонсон Д., Джонсон Дж., Мур Г. Справочник по активным фильтрам. М.: Энергоатомиздат, 1983.
15. Зельдович Л. Б., Мышкис А. Д. Элементы прикладной математики. М.: Наука, 1972.
16. Зиновьев А. Л., Филиппов Л. И. Введение в теорию сигналов и цепей: Учебное пособие для радиотехн. специальностей вузов. М.: Высшая школа, 1968.
17. Измеритель частоты и длительности периода с весовой обработкой М. М. Мичурина, В. Г. Патюков, М. К. Чмых, С. В. Солдатов // Методы и аппаратура для измерения сдвига фаз: Сб. научн. тр. // Ин-т физики СО АН СССР, Красноярск, 1980. С. 14—20.
18. Каппелини В., Константи́дис А. Дж., Эмилиани П. Цифровые фильтры и их применение. М.: Энергоатомиздат, 1983.
19. Коган Ш. М. Низкочастотный токовый шум со спектром типа 1 в твердых телах // Успехи физических наук. Т. 145. 1985. Вып. 2. С. 285—328.
20. Лэм Г. Аналоговые и цифровые фильтры / Пер. с англ. М.: Мир, 1982.
21. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях: В 2-х томах. Пер. с франц. М.: Мир, 1983.
22. Михотин В. Д., Чувыкин Б. В., Шахов Э. К. Методы синтеза весовых функций для эффективной фильтрации измерительных сигналов // Измерения, контроль, автоматизация. 1981. № 5. С. 3—12
23. Помехозащищенность и помехоустойчивость преобразования электрических измерительных сигналов / Д. Гернинг, М. М. Дорожовец; С. С. Обозовский и др. // Измерения, контроль, автоматизация. 1983. Вып. 4 (48). С. 20—29.
24. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ. М.: Мир, 1978
25. Ребане Р. П., Тилинин А. И. О формировании весовых функций для обработки сигналов методом свертки / Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи: Тез. докл. республ. научн.-техн. конф., посвященной Дню радио. Таллинн. 1980. Эстонское Республ. правление НТО радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова. С. 25—36.
26. Сиберг У. М. Цепи, сигналы, системы: В 2-х ч. М.г Мир, 1988.
27. Харкевич А. А. Спектры и анализ. — 4-е изд. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962.
28. Хургин Я. И., Яковлев В. П. Финитные функции в физике и технике. М.: Наука, 1971.
29. Хэррис Ф. Использование окон при гармоническом анализе методом дискретного преобразования Фурье // ТИИЭР, 1978. № 1. С. 60—67.
30. Чмых М. К. Весовой метод повышения точности и помехоустойчивости цифровых

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

измерителей частоты // Автометрия. 1979. № 4. С. 135—137.

31. Чмых М. К. Повышение помехоустойчивости весовых методов обработки сигналов // Изв. вузов. Приборостроение. 1986 № 10. С. 7—11.

32. Шахов Э. К., Михотин В. Д. Интегрирующие развертывающие преобразователи напряжения. М.: Энергоатомиздат, 1986.

33. Шевчук В. В. Способ уменьшения аддитивной погрешности в измерительных устройствах // Автометрия. 1978. № 4. С. 25—29.

34. Шумаров Е. В. Метод синтеза одноуровневых весовых функций, обеспечивающих высокое подавление сетевых помех // Автоматика и телемеханика. 1986. № 1. С. 162—168.

35. Шумаров Е. В., Попов В. С. Реализация ступенчатых весовых функций с высоким подавлением сетевых помех // Метрология. 1984 № 6. С. 21—28.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Фильтрация представляет собой одну из самых распространенных операций обработки сигналов. Цель фильтрации состоит в подавлении помех, содержащихся в сигнале, или в выделении отдельных составляющих сигнала, соответствующих тем или иным свойствам исследуемого процесса.

В электрических и электронных измерительных устройствах уже давно находят применение различные типы С-фильтров. С появлением доступных и дешевых интегральных, операционных усилителей получили широкое распространение активные фильтры. Теория этих фильтров разработана достаточно хорошо, сформулированы четкие рекомендации по их расчету и проектированию. Прогресс в развитии цифровых интегральных схем, повсеместное применение микропроцессоров для цифровой обработки измерительной информации обусловили интерес разработчиков измерительной аппаратуры к цифровым фильтрам. Теория этих фильтров сформировалась относительно недавно, вопросам их анализа и синтеза посвящено большое число книг, в которых неискушенному читателю разобраться подчас весьма не просто.

Активные фильтры и цифровые фильтры — это устройства, которые используются в различных областях техники. В последние десятилетия интенсивно развивались также методы фильтрации, специфичные именно для измерительной техники. Это методы, основанные на реализации специальных весовых функций. Получаемые при этом фильтры очень близки по своим свойствам к цифровым фильтрам, но могут быть установлены как в цифровой, так и в аналоговой части средства измерения. В последнем случае могут быть получены некоторые преимущества в сравнении с цифровой фильтрацией: отсутствие погрешности квантования, сокращение части измерительного канала, для которой необходимо предусматривать расширенный диапазон изменения сигнала, учитывающий возможную помеху.

Первоначальный замысел данной книги предполагал изложение материала, относящегося лишь к синтезу и воспроизведению специальных помехоподавляющих весовых функций (эти методы фильтрации в настоящее время описаны преимущественно в журнальных статьях и диссертациях). Однако по предложению издательства решено было написать книгу, в которой бы с единых позиций были рассмотрены все основные типы фильтров, применяемых в измерительной технике.

ЗАВОД НИЗКОВОЛЬТНОГО И ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Поскольку фильтрация сигнала заключается в целенаправленном изменении соотношения между различными компонентами спектра сигнала, то первые четыре главы книги посвящены теории спектров. Далее, в пятой главе, рассматриваются общие вопросы, относящиеся к воздействию фильтра на обрабатываемый сигнал. Шестая глава книги посвящена краткому изложению методов проектирования активных фильтров. После этого описываются методы фильтрации, основанные на реализации специальных весовых функций, и затем излагаются общие методы проектирования цифровых фильтров.

Объем книги невелик. Поэтому естественно, что в нее не вошли многие разделы, относящиеся к особенностям различных методов фильтрации. По этой же причине в книге часто отсутствуют полные и строгие выводы сложных математических соотношений. Автор старался излагать материал так, чтобы он был доступен студенту старшего курса института или инженеру, в практической деятельности которого встречаются задачи в области обработки измерительных сигналов. Хотя книга и носит более прикладной, чем теоретический характер, вместе с тем она содержит много математических выкладок. Это объясняется как спецификой рассматриваемых вопросов, так и тем, что современному специалисту для понимания физического принципа действия соответствующего устройства часто требуется первоначально осознать те теоретические зависимости, которые положены в его основу.

Значительная часть материала книги неоригинальна. Здесь автор пытался кратко, понятно и последовательно изложить вопросы, которые уже рассмотрены в солидных монографиях и учебниках. В части, касающейся подавления помех в измерительных устройствах, имеются результаты, полученные автором и научным коллективом, работающим под его руководством.

Автор отдает себе отчет в том, что в книге возможны различные неточности, и будет благодарен всем, кто поможет их устранению. В этом плане большая работа уже проделана доцентом И. А. Карабановым, которому автор искренне признателен за тщательность и благожелательность, проявленные при рецензировании книги.

Отзывы о книге, замечания и пожелания просим направлять в адрес издательства: 191065, Ленинград, Марсово поле, 1, Ленинградское отделение Энергоатомиздата.

[Скачать книгу Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов.](#) Ленинград, Издательство Энергоатомиздат, 1990