Проектирование активных фильтров на интегральных операционных усилителях

Реферат

Целью данной курсовой работы является проектирование активного фильтра верхних частот, основанного на интегральном операционном усилителе.

Для исследования фильтра используются следующие методы: методы синтеза и анализа электронных схем, метод автоматического проектирования электронных схем, метод объектно-ориентированного программирования.

В представленной курсовой работе рассчитан активный фильтр верхних частот на основе интегрального усилителя построенный по схеме с многопетлевой обратной связью. Частота среза данного фильтра составляет 1000 Гц, коэффициент передачи в полосе пропускания равен 5, наклон АЧХ в полосе ограничения – 40 дБ/дек, неравномерность АЧХ в полосе пропускания - 20дБ.

АКТИВНЫЙ ФИЛЬТР, ИНТЕГРАЛЬНЫЙ ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ, АМПЛИТУДНО - ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ЧАСТОТА СРЕЗА, КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕДАЧИ, ПОЛОСА ПРОПУСКАНИЯ, ПОЛОСА ОГРАНИЧЕНИЯ.

## Содержание

# Введение

1. Существующие виды активных ВЧ фильтров
   1. Фильтры верхних частот на одном усилителе с положительным коэффициентом усиления
   2. Фильтры, реализующие комплексно-сопряженные нули.
   3. Фильтры на операционных усилителях
2. Синтез фильтра
   1. Анализ ТЗ
   2. Синтез схемы и расчет элементов фильтра.
3. Расчет АЧХ и ФЧХ фильтра на ЭВМ.

Заключение

Перечень ссылок

# Введение

В настоящее время в радиоэлектронике фильтры находят очень широкое применение.

Фильтры – это схемы, которые пропускают некоторые частоты и подавляют остальные. Различают фильтр нижних частот, фильтр верхних частот, полосовой фильтр и режекторный фильтр.

Фильтры бывают пассивные и активные. Пассивные фильтры строятся на пассивных элементах: резисторах, конденсаторах и катушках индуктивности. В активных фильтрах используются усилители, часто ОУ (операционные усилители), для улучшения их характеристик.

Активные фильтры имеют следующие преимущества:

1. Обеспечивают высокое входное сопротивление, поэтому не ухудшают эксплуатационные данные схемы.
2. Улучшают развязку. Поскольку перестраиваемые секции фильтра не связаны между собой.
3. Усиливают сигнал.
4. Катушки индуктивности в них могут быть заменены конденсаторами. Особенно в схемах на ОУ. Конденсаторы обычно менее дороги и более доступны.
5. Низкочастотные фильтры можно построить на элементах малых номиналов.

Целью данной курсовой работы является проектирование активного фильтра высоких частот основанного на интегральных операционных усилителях.

1. Существующие виды активных ВЧ фильтров

Рассмотрим методы реализации различных типов функций цепи, основанные на использовании схем фильтров, включающих как активные, так и пассивные элементы; из последних рассматриваются исключительно резисторы и конденсаторы. Такие фильтры относят к классу активных RС-фильтров или безиндуктивных фильтров.

Использование активных фильтров привлекательно по целому ряду причин и может быть предпочтительней пассивных RLС-эквнвалентов. Например, активные RС-фильтры обычно имеют меньшую массу и занимают меньше места, чем пассивные. Это имеет большое значение при использовании фильтров в аэрокосмических приборах. Другое преимущество—активные фильтры могут быть изготовлены в микромодульном исполнении при использовании технологии интегральных микросхем. Кроме того, они относительно недороги и могут производиться в массовом масштабе. С другой стороны, так как катушка индуктивности не может быть выполнена в интегральном исполнении, то пассивные схемы можно создать только с помощью дискретных компонентов. Этот вариант значительно дороже. По этим и ряду других причин во многих традиционных областях применения фильтров, особенно в радиосвязи, приходится проводить модернизацию, направленную на исключительное использование активных фильтров. В результате этого ежегодное производство активных фильтров оценивается миллионами, и многие компании предлагают их как стандартные блоки.

Одним из наиболее широко используемых типов активных RС-фнльтров являются RС-фильтры на усилителях.

Существуют два общих метода использования активных RС-фильтров при реализации функции цепи. Первый из них—метод каскадной реализации. Этот метод называется так потому, что реализуемая функция сначала факторизуется (разлагается на произведение сомножителей второго порядка). Каждый сомножитель реализуется затем отдельно активной RС-схемой, после чего каскадируется, или последовательно соединяется с другими, чтобы реализовать функцию цепи в целом. Отдельные активные RС-схемы, конечно, должны быть синтезированы так, чтобы он" не взаимодействовали друг с другом.

Второй общий метод использования RС-схем для реализации функций цепей — метод непосредственной реализации, в котором для реализации функции в целом используется одна единственная схема.

Каскадный метод использования активных RС-схем для реализации функции цепи дает много преимуществ инженеру-проектировщику. Прежде всего, любая рассматриваемая RС-схема, требуемая для реализации звена второго порядка обычно относительно проста, а число требуемых элементов невелико. В результате этого процедура синтеза, необходимая для определения значений элементов, обычно несложна и позволяет легко учесть дополнительные ограничения, такие как использование стандартных номиналов элементов или ограничения, накладываемые при минимизации чувствительности. Другое преимущество состоит в том, что каждое звено второго порядка можно индивидуально настроить для реализации соответствующей характеристики. Это, конечно, значительно легче, чем пытаться настроить схему, в которой все элементы взаимодействуют друг с другом; именно это и происходит, когда используется непосредственный метод реализации.

В качестве активного элемента активного RС-фильтра можно использовать любой тип управляемого источника, на практике чаще всего используется один ИНУН (источник напряжения, управляемый напряжением).

Идеально ИНУН представляет собой четырехполюсник, который характеризуется следующими свойствами: 1) бесконечно большим входным полным сопротивлением; 2) нулевым выходным полным сопротивлением; 3) выходным напряжением, пропорциональным входному, причем коэффициент пропорциональности обычно называют коэффициентом усиления. Коэффициент усиления может быть положительным (в этом случае говорят, что ИНУН неинвертирующий) или отрицательный (в этом случае говорят, что он инвертирующий). Среди других причин широкого распространения ИНУН как активного элемента активных RС-фильтров можно указать на легкость его реализации с помощью операционного усилителя.

Из практики известно, что использование неинвертирующего ИНУН дает лучшие результаты.

1.1 Фильтры верхних частот на одном усилителе с положительным коэффициентом усиления

Обобщенная передаточная функция по напряжению ФВЧ второго порядка имеет вид

(1.1)



В этом выражении Н0 — коэффициент передачи на бесконечно большой частоте, ωn – собственная частота, Q –добротность.

Преобразуя (1.1) получаем:

(1.2)



Сравнивая (1.1) и (1.2) и анализируя результат можно получить первый вариант расчетных формул. Выбирая R2=R4=R и С1=Сз=С, получаем:

; 1/Q=3-K; H0=K, (1.3а), (1.3б), (1.3в)



Реализацию ФВЧ второго порядка можно получить подстановкой К=1. Полагая m=С3/С1, и n=R4/R2 и подставляя С1=С и R2=R, получаем вместо (1.2)

(1.4)



Сравнивая полученное с (1.1), находим еще один вариант расчетных формул (вариант 2):

(1.5)



Отсюда видно, что для любого заданного значения п минимум 1/Q достигается при m=1. Так как обычно желательно иметь минимум 1/Q для любого заданного п, то примем m=1. В этом случае (1.5) упрощается и принимает вид

(1.6)



В другом используемом на практике наборе номиналов элементов RС-фильтра верхних частот на одном усилителе с положительным коэффициентом усиления, емкости обоих конденсаторов имеют равные номиналы, а коэффициент усиления ИНУН равен двум. Тогда нормированные значения С1=С3=С и K=2. Используя выражение (1.2), в этом случае находим

(1.7)



Преимущество структурs Саллена и Ки на усилителе с положительным коэффициентом усиления заключается в том, что она характеризуется в общем случае простыми расчетными соотношениями; проектировщик имеет возможность легко управлять значениями номиналов элементов и их разбросом; кроме того, допустимо использовать небольшие значения коэффициента усиления ИНУН, которые удобны тем, что их легко стабилизировать. Есть также и некоторые недостатки; основной из них состоит в том, что она характеризуется высокими значениями чувствительности, если с их помощью пытаются реализовать схемы с высоким Q.

1.2 Фильтры, реализующие комплексно-сопряженные нули

Рассмотрим реализации активных фильтров для обобщенной передаточной функции второго порядка. Их обычно относят к биквадратным функциям фильтрации. Общий вид биквадратных передаточных функций по напряжению второго порядка такой

(1.8)



где Н — постоянная, ωz и ωp— нули и полюсы, соответствующие собственным частотам, а Qz и Qp—добротности комплексных нулей и полюсов. Предполагается, что нули могут быть вещественными или комплексными и что они могут быть расположены в любом месте на плоскости комплексной частоты, включая и правую полуплоскость.

Первый тип биквадратного фильтра реализуется на основе схемы с одним усилителем и конечным коэффициентом усиления.

Предполагая, что нули расположены ближе к началу координат, чем полюсы, получаем следующие расчетные соотношения:

; ; (1.9а), (1.9б)



; Н=К (1.9в), (1.9г)



Множитель т можно выбрать произвольно.

Второй тип биквадратного фильтра реализуется одним усилителем с бесконечным коэффициентом усиления. Здесь используется операционный усилитель с дифференциальным входом. Передаточную функцию такого фильтра легко найти

(1.10)



Если Y1+Ya+Y4=Y2+Yb+Y3 или Ya=Y2+Y3 или Yb=Y1+Y4, то (1.10) примет вид

(1.11)



В третьем типе реализации биквадратного фильтра используются два операционных усилителя. Анализ этой схемы дает

,что совпадает с (1.11).



Рассмотрим еще одну реализацию биквадратного фильтра. В ней используются двойные Т-образные цепи в качестве пассивных компонентов. Передаточная функция фильтра по напряжению

(1.12), где



b+2=g+e; f+2=d; T=RC. (1.13)

Из (1.8) и (1.13) получаем

; ;



;; . (1.14)



Если Н0, ωp, ωz, Qp и Qz подлежат определению, то приведенные уравнения можно разрешить относительно параметров а, Ь, е, f, g, R и С.

Для ФВЧ g=b=0, e=2, 2+f=d.

1.3 Фильтры на операционных усилителях

Ранее были рассмотрены RС-фильтры на усилителях, причем главным образом фильтры, в которых в качестве усилителя использовался ИНУН, имеющий относительно низкий коэффициент усиления, обычно в диапазоне от 1 до 5. В этой главе проанализируем другие тины фильтров с усилителями, и, прежде всего, фильтр на усилителе, в качестве которого используется ИНУН с бесконечно большим, в идеале, коэффициентом усиления, т. е. операционный усилитель. Фильтр с таким усилителем в качестве активного элемента будем называть фильтром с бесконечно большим коэффициентом усиления, где слово бесконечный, конечно, относится к коэффициенту усиления активного элемента, а не к коэффициенту усиления схемы в целом. Такой тип фильтра имеет как преимущества, так и недостатки, если сравнивать его с теми типами, которые рассматривались до этого.

Рассмотрим в реализацию фильтра высоких частот с многопетлевой обратной связью.

Его передаточная функция определяется:

(1.15)



Её можно представить в виде

(1.16)



Заметим, что требуются 3 конденсатора, т.е. полученная реализация неканоническая. Приравнивая (1.15) и (1.16), получаем

; (1.17а)



; (1.17б)



. (1.17в)



Набор расчетных соотношений можно преобразовать к более удобному виду, полагая, при этом С1=С3=С, где С выбирается из конструктивных соображений. В результате получаем

; (1.18а)



; . (1.18б), (1.18в)



Вследствие того, что технология изготовления активных приборов получила значительное развитие, многие традиционные установки оказываются недействительными. Одной из таких установок было использование как можно меньшего числа активных приборов. Это привело к появлению фильтров на одном усилителе, которые были рассмотрены в предыдущих параграфах. Однако с точки зрения современной технологии интегральных схем часто оказывается, что нет смысла минимизировать число активных элементов. Поэтому, если реализации на нескольких усилителях могут обеспечить лучшие характеристики, то они могут оказаться предпочтительными по сравнению с реализациями на одном усилителе. Познакомимся с двумя видами реализации на нескольких усилителях. Они называются резонаторными реализациями и реализациями по методу переменных состояния. В них используются от двух до четырех операционных усилителей в зависимости от желаемых характеристик фильтра.

Реализации фильтров по методу переменных состояния (они также называют КНN-фильтрами по начальным буквам фамилий авторов, которые ввели их в практику), исключительно гибки, имеют хорошие характеристики и низкую чувствительность. Эти реализации широко используются разработчиками фильтров широкого применения. Название переменные состояния происходит от переменных, рассматриваемых в теории пространства состояний, методы которой используются для решения дифференциальных уравнений, применяемых в процессе синтеза реализации.

Передаточная функция фильтра верхних частот, при таком типе фильтра, имеет вид:

, (1.19)



где . (1.20)



Заметим, что реализации ФВЧ является неинвертирующей.

; , (1.21а), (1.21б)



(1.21в)



Если выбрать R5=R6, R1=R2=R3 и С1=С2=С, то (1.21) примет вид:

; . (1.22)



Для выбранных соотношений, используя (1.22), можно описать следующую процедуру синтеза.

1. Полагаем, что ωn и Q заданы.
2. Выбираем удобные значения для С1=С2=С и R3=R5=R6.
3. Вычисляем ; . (1.23)



1. Н0 принимает вид (1.24)



Одна из причин популярности фильтров на основе переменных состояния — низкие чувствительности основных характеристик. Чувствительности добротности к коэффициенту усиления операционного усилителя для данной реализации имеют порядок Q/K0, где К0 — коэффициент усиления операционного усилителя при разомкнутой петле обратной связи. Вследствие такой низкой чувствительности фильтр на основе переменных состояния успешно использовался для реализации передаточных функции с добротностью до нескольких сотен. Методы построения таких фильтров можно распространить на случай п-го порядка.

2. Синтез фильтра

2.1 Анализ технического задания

Из анализа технического задания следует, что нам необходимо спроектировать активный фильтр верхних частот. Фильтр должен быть основан на интегральном операционном усилителе.

Основные параметры фильтра следующие:

1. Частота среза: f0=1000 Гц,
2. Коэффициент передачи в полосе пропускания: К0=5,
3. Наклон АЧХ в полосе ограничения: n=40 дБ/дек.,
4. Неравномерность АЧХ в полосе пропускания: ∆К=20 дБ

Анализируя эти параметры, видно, что для их выполнения достаточно реализации фильтра верхних частот второго порядка.

Наиболее удобной для расчета фильтра с указанными параметрами является схема фильтра верхних частот с многопетлевой обратной связью, на основе одного операционного усилителя с бесконечным коэффициентом усиления. Такая схема обеспечивает наклон АЧХ в полосе пропускания 40 дБ/дек.

Основным достоинством данной схемы является относительно небольшая чувствительность характеристик фильтра к отклонениям значений элементов.

2.2 Синтез схемы и расчет элементов фильтра

Для синтеза заданного фильтра ,прежде всего, необходимо определить его передаточную функцию.

Обобщенная передаточная функция по напряжению фильтра верхних частот второго порядка имеет вид

(2.1)



В этом выражении Н0 — коэффициент передачи на бесконечно большой частоте, ωn – собственная частота, Q –добротность.

(2.2)



Для схемы фильтра с многопетлевой обратной связью передаточная функция по напряжению имеет вид (учитываем что К стремиться к ∞):

(2.3)



где Y1=sC1, Y2=sC2, Y3=sC3, Y5=G5, Y6=G6. Передаточная функция фильтра с многопетлевой обратной связью принимает вид:

(2.4)



Её можно представить в виде

(2.5)



Приравнивая (2.4) и (2.5), получаем

; (2.6)



; (2.7)



k0=. (2.8)



Зная, что из (2.7) получаем:



(2.9)



При C2=C3=C и R1=R2=R получим:

(2.10)



Для реализации максимально плоской характеристики надо задать С1=С3=С , тогда остальные компоненты схемы можно рассчитать по формулам:



(2.11)



Синтез заданного фильтра начнем с выбора операционного усилителя. Операционный усилитель выбирается из условия

(2.12)



Для нашего случая кГц.



Исходя из этого условия, выбираем операционный усилитель К140УД7.

Используя вышеописанную процедуру синтеза подбираем элементы фильтра.

Задаем С1=С3=С=62 пФ, тогда согласно (2.11) получаем:



Для нормальной работы фильтра полученные сопротивления должны удовлетворять условиям:

(2.13)



Для операционного усилителя К140УД7:

Rвх ≥ 0,4 МОм

Rвых ≈ 200 Ом

Тогда предельные сопротивления равны:



Как мы видим, рассчитанные сопротивления удовлетворяют условию (2.13).

3. Расчет АЧХ и ФЧХ фильтра на ЭВМ

В предыдущей части мы рассчитали параметры фильтра, которые обеспечили бы заданные параметры фильтра, однако в реальности мы не можем взять резисторы и конденсаторы с номиналами точно соответствующими рассчитанным, так как необходимо (и более рационально) выбирать элементы из современной элементной базы со стандартными номиналами.

Прежде всего нам необходимо выбрать стандартные резисторы и конденсаторы, с номинальными значениями, максимально приближенными к рассчитанным.

Из существующей элементной базы можно выбрать такие, ближайшими по номиналам, элементы:

Конденсаторы С1, С3:

К10-17-1-50 В-62 пФ±5%-В ОЖО.398.137ТУ;

Конденсатор С2:

К10-17-1-50 В-12 пФ±5%-В ОЖО.398.137ТУ;

Резистор R5:

МЛТ-1-2,4кОм±2% ОЖО.467.157ТУ;

Резистор R6:

МЛТ-1-20кОм±2% ОЖО.467.157ТУ.

При изменении параметров элементов заданная амплитудно-частотная характеристика фильтра измениться, кроме того, характеристика может измениться из-за погрешностей, вносимых реальными элементами.

Для оценки реальных параметров фильтра можно провести расчет фильтра на ЭВМ.

В настоящее время существует много компьютерных программ, позволяющих произвести виртуальное проектирование электрических схем любой сложности. К таким программам относятся Excel Eda, Electronics Workbench, OrCAD. Эти программы позволяют произвести расчет схемы по постоянному току, расчет частотных характеристик, расчет переходных процессов, Фурье-анализ, анализ спектра внутренних шумов, анализ нелинейных и интермодуляционных искажений, многовариантный анализ, температурные испытания схемы, расчет относительной чувствительности характеристик схемы к изменениям параметров выбранного компонента, расчет на наихудший случай и другие виды анализа.

Для проверки основных параметров фильтра верхних частот достаточно произвести расчет АЧХ и ФЧХ фильтра. Для этого строим на ЭВМ схему фильтра с вышеопределенными параметрами и производим анализ.

Полученные АЧХ и ФЧХ приведены в приложении.

Заключение

В ходе выполнения данного курсового проекта был построен активный фильтр верхних частот на интегральном операционном усилителе. Принято решение проектировать фильтр второго порядка. Рассмотрены аналогичные фильтры и выбрана схема фильтра наиболее подходящая для условий, указанных в ТЗ. Такой схемой является схема с многопетлевой обратной связью на усилителе с бесконечно большим коэффициентом усиления. Произведен синтез элементов фильтра.

Из современной элементной базы выбраны такие элементы фильтра: резисторы типа МЛТ-1, конденсаторы типа К10-17-1, операционный усилитель К140УД7.

С помощью средств ЭВМ произведен анализ полученной схемы, построены ее АЧХ и ФЧХ. Из анализа частотных характеристик определены такие параметры, как частота среза, составляющая 1014,5 Гц, и коэффициент передачи – 4,95. Эти значения близки к заданным, что позволяет сказать, что синтез фильтра произведен верно. Небольшие отклонения параметров объясняются не идеальностью компонентов фильтра, невозможностью элементов с номиналами, точно соответствующими рассчитанным.

Перечень ссылок

1. Расчет электронных схем, под ред. Изьюровой Н.И. – М.: Радио и связь, 2007.-386с.

2. Хьюлсман Л.П., Аллен Ф.Е. Введение в теорию и расчет активных фильтров. – М.: Радио и связь, 2004.-384с.

3. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы: Справ./Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Прохоренко. – Мн.: Беларусь, 1994.-591с.