## СОДЕРЖАНИЕ

## ВВЕДЕНИЕ 2

1.Анализ технического задания 6

2.Выбор и обоснование структурной схемы устройства защиты 10

## 3. Описание принципа работы устройства 12

4. Реализация структурной схемы устройства. 14

## 5.Расчет отдельных элементов схемы 29

## 6. Моделирование 34

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ 37

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 38

## ПРИЛОЖЕНИЯ ВВЕДЕНИЕ

Анализ различных способов получения информации о конкурентах позволил установить, что подслушивание телефонных переговоров в ряде случаев может являться одним из эффективных способов несанкционированного доступа к конфиденциальной информации. Это объясняется тем, что в настоящее время обмен информацией по телефону является очень распространенным и практически во всех случаях, когда абонентам не требуется письменного документа и имеется возможность воспользоваться телефонной связью, они ею пользуются. Даже в тех случаях, когда требуется письменный документ, абоненты довольно часто ведут по телефону предварительные переговоры.

Предотвращение перехвата речевой информации может осуществляться с помощью приборов для постановки заградительной помехи.

Эти приборы предназначены для защиты телефонных линий практиче­ски от всех видов прослушивающих устройств. Достигается это путем под­мешивания в линию различного вида дополнительных сигналов (загради­тельная помеха) и изменения стан­дартных параметров телефонной ли­нии (обычно в разумных пределах из­меняется постоянная составляющая напряжения на линии и ток в ней) во всех режимах работы. Для того, что­бы помеха на линии не сильно меша­ла разговору, она компенсируется пе­ред подачей на телефонный аппарат владельца прибора. Во избежание ана­логичных неудобств, для дальнего або­нента, помеха подбирается из сигналов, которые затухают в процессе прохождения по линии или легко фильтруются абонентским комплек­том аппаратуры городской АТС. Для “хорошего” воздействия помехи на аппаратуру перехвата, ее уровень обычно в несколько раз, а иногда и на порядки превосходит уровень полезного (речевого) сигнала в линии.

Указанные помехи обычно воздей­ствуют на входные каскады, каскады АРУ, узлы питания аппаратуры пере­хвата, что проявляется в перегрузке входных цепей, выводе их из линейно­го режима. Как следствие, злоумыш­ленник вместо полезной информации слышит шумы в своих наушниках.

Некоторые виды помех позволяют воздействовать на телефонные радио­ретрансляторы таким образом, что происходит смещение или «размытие» несущей частоты передатчика, резкие скачки частоты, искажение формы вы­сокочастотного сигнала, перемодуляция, постоянное или периодическое понижение мощности излучения. Кроме того, возможен “обман” систе­мы принятия решения, встроенной в некоторые виды перехватывающих устройств, и перевод их в «ложное со­стояние». В результате такие устройст­ва начинают бесполезно расходовать свои ограниченные ресурсы, напри­мер, звуковой носитель или элементы питания. Если в нормальном режиме некий передатчик работал периодиче­ски (только при телефонных пере­говорах), а автоматическая система регистрации включалась только при наличии радиосигнала, то теперь она работает постоянно и злоумышленни­ку приходится прибегать к услугам оператора для отделения полезной ин­формации (если она осталась), что за­частую может быть неприемлемо.

Все сказанное свидетельствует о высокой эффективности защиты, обеспечиваемой постановщиками за­градительной помехи, однако иимприсущи некоторые недостатки.

Постановщики заградительной помехи обеспечивают защиту теле­фонной линии только на участке от самого прибора, к которому подклю­чается штатный телефонный аппарат, до городской АТС. Поэтому остается опасность перехвата информации со стороны незащищенной линии про­тивоположного абонента и на самой АТС. Поскольку частотный спектр помехи располагается выше частотного спектра речевого сигнала, теоретичес­ки достаточно легко очистить полез­ный сигнал от помехи.

Несмотря на столь серьезные недо­статки, постановщики заградитель­ных помех получили, пожалуй, наи­большее распространение среди всех других видов техники, предназначен­ной для защиты телефонной линии. Одной из причин такой популярности является необходимость покупки все­го одного прибора для защиты своего «плеча» телефонной линии, а это — существенная экономия средств.

Если четко представить себе зада­чи, решаемые этими приборами, то оказывается, что они не защищают от аппаратуры прослушивания, установ­ленной непосредственно на АТС. Не защищают они и от специальной ап­паратуры, имеющей достаточно боль­шие габариты и применяемой, как правило, стационарно. Однако, подоб­ная аппаратура имеется только у про­фессионалов из спецслужб и недо­ступна большинству потенциальных злоумышленников, поэтому вероят­ность перехвата информации такими способами достаточна низка иеюможно пренебречь. Зато лучшие об­разцы постановщиков помехиочень эффективно противостоят широко распространенной малогабаритной технике перехвата, вероятность уста­новки которой на линию суще­ственно выше.

Зная о принципиальных недостат­ках, разработчики стараются компен­сировать их обеспечением комплекс­ного подхода к решению проблемы за­щиты телефонной линии. Для этого в состав приборов вводятся системы для обнаружения несанкционированных подключений. Порой такие системы ничем не уступают анализаторам теле­фонных линий, причем пользователь получает их в дополнение к основным защитным функциям прибора и за су­щественно меньшие деньги. Кроме того, лучшие приборы защиты позволя­ют вести борьбу со всем спектром су­ществующей на сегодняшний день малогабаритной техники перехвата.

Для того, чтобы устройству перехвата было сложнее отфильтровать помеху, ее спектр должен находиться как можно ближе к речевому спектру.

При этом амплитуда помехи должна превосходить полезный сигнал на 1-2 порядка.

Чрезвычайно сложно решить задачу фильтрации с помощью активного фильтра из-за очень широкого динамического диапазона смеси полезного сигнала и помехи, поскольку требуется достаточно высокое напряжение питания активного фильтра, а также увеличится потребляемый ток и, следовательно, габариты всего устройства.

## 1.АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Разрабатываемое устройство зашиты телефонной линии должно удовлетворять следующим требованиям, делающим его простым в эксплуатации и универсальным:

-устройство должно обеспечивать защиту телефонной линии от прослушивания;

* эксплуатация устройства должна быть предельно простой;
* время перехода в защищенный режим и выхода из него должно быть минимальным;

Задача проектирования заключается в необходимости обеспечения защиты канала связи, использованием метода маскирования речевого сигнала шумовой помехой. В ходе проектирования устройства необходимо учитывать параметры абонентских линий заключается и необходимую элементную базу.

Маскирование может быть реализовано одним из следующих способов:

* подача во время разговора в телефонную линию синфазного маскирующего низкочастотного (речевого диапазона) сигнала (метод синфазной низкочастотной маскирующей помехи);
* подача во время разговора в телефонную линию маскирующего высокочастотного сигнала звукового диапазона (метод высокочастотной маскирующей помехи);
* подача во время разговора в телефонную линию маскирующего высокочастотного сигнала ;
* подача в линию при положенной трубке маскирующего низкочастотного (речевого диапазона) сигнала (метод низкочастотной маскирующей помехи);

Суть метода синфазного маскирующего низкочастотного сигнала заключается в подаче в каждый провод телефонной линии с использованием единой системы заземления аппаратуры АТС и нулевого провода электросети 220В(нулевой провод электросети заземлен) согласованных по амплитуде и фазе маскирующих сигналов речевого диапазона частот (как правило, основная мощность помехи сосредоточена в диапазоне стандартного телефонного канала:300…3400Гц) В телефонном аппарате эти помеховые сигналы компенсируют друг друга и не оказывают мешающего воздействия на полезный сигнал (телефонный разговор). Если же информация снимается с одного провода телефонной линии, то помеховый сигнал не компенсируется. А так как его уровень значительно превосходит полезный сигнал, то перехват информации (выделение полезного сигнала) становится невозможным. В качестве маскирующего помехового сигнала, как правило, используются дискретные сигналы (псевдослучайные последовательности импульсов) речевого диапазона частот.

Метод синфазного маскирующего низкочастотного сигнала используется для подавления телефонных радиозакладок (как с параметрической, так и с кварцевой стабилизацией частоты) с последовательным (в разрыв одного из проводов) включением, а также телефонных радиозакладок и диктофонов с подключением к линии (к одному из проводов) с помощью индукционных датчиков различного типа.

Метод высокочастотной маскирующей помехи заключается в подаче во время разговора в телефонную линию широкополосного маскирующего сигнала в диапазоне высших частот звукового диапазона (то есть в диапазоне выше частот стандартного телефонного канала).

Данный метод используется для подавления практически всех типов подслушивающих устройств как контактного (параллельного и последовательного) подключения к линии, так и подключения с использованием индукционных датчиков. Однако эффективность подавления средств съема информации с подключением к линии при помощи индукционных датчиков (особенно, не имеющих предусилителей) значительно ниже, чем средств с гальваническим подключением к линии. В качестве маскирующего сигнала используются широкополосные сигналы типа “белого шума” или дискретные сигналы типа псевдослучайной последовательности импульсов. Частоты маскирующих сигналов подбираются таким образом, чтобы после прохождения селективных цепей модулятора закладки или микрофонного усилителя диктофона их уровень оказался достаточным для подавления полезного сигнала (речевого сигнала в телефонной линии во время разговоров абонентов), но в то же время эти сигналы не ухудшали качество телефонных разговоров. Чем ниже частота помехового сигнала, тем выше его эффективность и тем больше мешающее воздействие он оказывает на полезный сигнал. Обычно используются частоты в диапазоне от 6…8кГц до 16…20кГц. Такие маскирующие помехи вызывают значительное уменьшение отношения сигнал/шум и искажения полезных сигналов (ухудшение разборчивости речи) при перехвате всеми типами подслушивающих устройств. Для исключения воздействия маскирующего помехового сигнала на телефонный разговор в устройстве защиты устанавливается специальный низкочастотный фильтр с граничной частотой 3,4 кГц, подавляющий помеховые сигналы и не оказывающий существенного влияния на прохождение полезных сигналов. Аналогичную роль выполняют полосовые фильтры, установленные на городских АТС, пропускающие сигналы, частоты которых соответствуют стандартному телефонному каналу (300Гц…3,4кГц), и подавляющие помеховый сигнал.

Метод низкочастотной маскирующей помехи заключается в подаче в линию при положенной трубке маскирующего сигнала (наиболее часто, типа “белого шума”) речевого диапазона частот и применяется для подавления проводных микрофонных систем, использующих телефонную линию для передачи информации на низкой частоте, а также для активизации диктофонов, подключаемых к телефонной линии с помощью адаптеров или индукционных датчиков, что приводит к сматыванию пленки в режиме записи шума.

Исходя из требований, предъявленных в техническом задании наилучшим вариантом является реализовать метод низкочастотной маскирующей помехи.

Наиболее информативным легко измеряемым параметром телефонной линии является напряжение в ней при положенной и поднятой трубке. Это обусловлено тем, что в состоянии, когда телефонная трубка положена, в линию подается постоянное напряжение в пределах 60…64В (для отечественных АТС) или 25…36В (для импортных мини АТС) При поднятии трубки в линию от АТС поступает сигнал, преобразуемый в телефонной трубке в длинный гудок, а напряжение в линии уменьшается до 10…12В. Если к линии будет подключено закладное устройство, то эти параметры изменятся (напряжение будет отличаться от типового для данного телефонного аппарата).

## 2.ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙСХЕМЫ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТЫ

Основной задачей устройств, с помощью которых осуществляется маскирование речевого сигнала, является перекрытие по диапазону частот речевого сигнала. Происходит наложение мощной помехи на полезный сигнал.

На передающей стороне шумовая помеха складывается с защищаемым сигналом, а на приемной полезный сигнал выделяется из смеси сигнала с шумовой помехой.

Для получения защищенного канала связи разрабатываемое устройство защиты должно формировать псевдослучайную последовательность, которая лежит за пределами речевого диапазона. Нижняя граница спектра мощности помехи не менее 3500Гц, согласно техническому заданию.

Проектируемое устройство защиты телефонной линии должно иметь тактовый генератор для формирования псевдослучайной последовательности, фильтры для выделения полезного речевого сигнала полосой 300…3400Гц и фильтры для выделения помехи с нижней границей не менее 3500Гц, а также сумматоры для формирования смеси полезного сигнала с помехой. Все эти элементы располагаются как на приемной, так и на передающей стороне.Схема канала связи с использованием устройства защиты представлена на рисунке 2.1

# .



Рисунок 2.1 Схема канала связи

## 3.ОПИСАНИЕ ПРИНЦИПА РАБОТЫ УСТРОЙСТВА

Речевой сигнал, поступающий на вход телефонной линии, обрабатывается ФНЧ. При этом ФНЧ осуществляет выделение стандартного речевого сигнала полосой 300…3400Гц. Отфильтрованный сигнал в сумматоре складывается с шумовой помехой, которую получают следующим образом: импульсы с тактового генератора подаются на вход генератора ПСП. Вырабатываемая генератором псевдослучайная последовательность преобразуется в шумовую помеху с помощью ЦАП. Затем ограничиваем полученную помеху с помощью ФВЧ, поскольку согласно условию технического задания нижняя граница спектра мощности помехи не менее 3500Гц. После того как отфильтрованный речевой сигнал складывается с внеполосной шумовой помехой, практически невозможно распознать речь при несанкционированном подключении к каналу связи на приемной стороне.

После того как смесь сигнала с шумовой помехой проходит через АТС на передающей стороне на выходе АТС появляется только речевой сигнал, к которому вновь добавляется шумовая помеха. Шумовую помеху получаем также как и на приемной стороне. Из полученной смеси сигнала с шумом выделяем стандартный телефонный сигнал и подаем этот сигнал в телефонную линию, где он будет услышан абонентом.

Зная полосы частот, которые занимают помеха и речевой сигнал можно оценить параметры, которыми должен обладать ФНЧ, чтобы выделять полезный сигнал и ФВЧ для выделения заградительной помехи с требуемой полосой.

Шум и помехи при передаче в аналоговых сетях проявляются в наибольшей степени во время пауз в разговоре, когда амплитуда сигнала мала. Сравнительно небольшой уровень шума, который возникает во время пауз в разговоре, может оказаться весьма раздражающим фактором для слушателя. В то же время такой же уровень шума или помехи во время разговора или помехи во время разговора оказывается практически неощутимым.

Следовательно, качество передачи аналоговой речи определяет абсолютный уровень шума свободного канала. Принятое значение отношения сигнал-шум при передаче от одного оконечного устройства до другого в аналоговой сети связи составляет 46 и 40 дБ соответственно для местных и междугородных линий связи. Отношение сигнал-шум в отдельных системах передачи обязательно выше указанных значений.

Спектр помехи должен находиться как можно ближе к речевому спектру, а амплитуда помехи должна превосходить полезный сигнал на 1-2 порядка.

Т.к. средняя мощность речевого сигнала 88мкВт, а мощность помехи не менее 50мВт, то учитывая, что сопротивление телефонной линии 600Ом, определим уровень помехи и полезного сигнала:

Рп=Uср.п2/R; Pc=Ucp.c /R.



Исходя из полученных значений Uср.п  и Uср.с :



Т.к. уровень помехи во много раз превосходит полезный сигнал, можно обеспечить маскирование полезного сигнала помехой. Для выделения полезного сигнала на приемной стороне фильтр должен уменьшать мощность помехи не менее чем в 10000 раз, тогда ее мощность станет равной 5мкВт, а амплитуда 5,48\*10-4В и можно будет беспрепятственно отделить полезный сигнал от помехи.

Поскольку ширина спектра речевого сигнала ограничивается полосой пропускания ФНЧ, а заградительная помеха ограничивается ФВЧ, то должно обеспечиваться подавление помехи не менее 40дБ.

## 4.РЕАЛИЗАЦИЯ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА.

Разрешающие способности любой реальной системы и используемой при ее испытаниях измерительной аппаратуры по амплитуде и по частоте ограничены. Поэтому реакция системы на непрерывный сигнал может быть изучена, если заменить последний импульсным сигналом с соответствующим образом подобранной дискретностью распределения амплитуд. Генератор непрерывных псевдослучайных сигналов можно заменить импульсным генератором. Его точную импульсную копию легко создать, заменив потенциометры импульсными элементами. Так как спектр импульсного сигнала наряду с основной частотой содержит гармоники, спектр сигнала на выходе генератора будет богаче, чем спектр колебания. Подбирая соотношения между амплитудами составляющих спектра сложного выходного сигнала за счет изменений его формы, можно получить заданные амплитудные и спектральные характеристики при использовании электрических простейших связей между каскадами генератора.

Импульсы тактового генератора ГТИ поступают на цепочку, состоящую из N соединенных по счетным входам триггеров (счетчик импульсов). Если частота следования импульсов ГТИ равна f0, то частота импульсов на единичном выходе i-го триггера fi=f0/ 2i, где i= 1,2,…,N. Через сопротивления Ri напряжения поступают на нагрузочное сопротивление R0. Если выполнить условие Ri >>R0, то ui(t)=Uki\*1i(t), а



где ki=R0/Ri; U-амплитуды импульсов на выходах триггеров.

Измеряя регулировкой Ri соотношения между амплитудами суммируемых сигналов, можно в широких пределах изменять амплитудные и спектральные характеристики выходного сигнала.

Значения амплитуд спектральных составляющих суммарного сигнала будут определяться значениями амплитуд составляющих Ui , т.е. значениями сопротивления Ri. Меняя Ri можно трансформировать форму, а следовательно, и спектр выходного сигнала.

Анализ формы и спектра возможен только в том случае, если Ri меняется по тому или иному закону в зависимости от номера каскада i.

Один из возможных законов. Сложение сигналов с равными амплитудами. Для простоты предположим, что Ui=U и первый импульс приходит в момент t=T0. Форму выходного сигнала можно определить, составив таблицу состояний триггеров и суммируя напряжения каскадов. Напряжение на выходе схемы может принимать только N+1 значений. Вероятности появления на выходе схемы различных уровней напряжений будут различными. Последнее обстоятельство, а также весьма ограниченный набор возможных уровней напряжения и неравномерность спектра сигнала являются его недостатком. Улучшить качество сигнала можно, сделав амплитуды суммарных сигналов Uki различными.

Выбор числа сумматоров и точек их подключения определяется тем, какой сигнал требуется получить от генератора. Для получения последовательностей с максимальным периодом достаточно иметь один сумматор.

Максимальной длина периода получается только при суммировании сигналов с выходов определенных каскадов регистра. От того, как соединены каскады и каковы их начальные состояния, зависит форма сигнала, т. е. порядок чередования в нем нулей и единиц.

Имея запись реализации псевдослучайного сигнала, мы обнаружим, что в среднем за каждой единицей будут с вероятностями



встречаться единицы и нули соответственно.

Очевидно, что при N→∞ P11→P01→1/2.

В псевдослучайной последовательности максимальной длины серии из одной единицы будут встречаться 2N-2 раз, из двух единиц 2N-3 раз и т. д. До серии из N единиц, которая встретится один раз.



Тактовый генератор реализуем на микросхеме К555Г3, которая представляет собой два ждущих мультивибратора с возможностью перезапуска. Каждый из мультивибраторов представляет собой триггер с двумя выходами Q и Q и дополнительной логикой на входе, имеющей три входа: вход сброса R (активный уровень -низкий) и два входа запуска А и В. Вход А – инверсный с активным низким уровнем, а вход В – прямой с активным высоким уровнем напряжения. Длительность выходного импульса можно рассчитать по формуле:

τи. вых.=0,28СτRτ(1+0,7/Rτ);

Выходной импульс можно оборвать, подав на вход сброса R напряжение низкого уровня.

Если мультивибратор АГ3 запущен, то выходной импульс можно продолжить (перезапустить), подав на вход А напряжение низкого уровня (или на вход В –высокого). С момента перезапуска до окончания импульса пройдет время τи. вых., определяемое времязадающими элементами Rτ и Сτ.

Условное обозначение микросхемы представлено на рисунке 4.2



Рисунок 4.2 Микросхема К555АГ3

Таблица состояний микросхемы АГ3



Для анализа аналоговых и цифровых систем часто необходимы случайные последовательности сигналов. Их можно генерировать, подключив, например, естественный источник шумового напряжения к входу триггера Шмитта. При этом получаются двоичные сигналы со статистическим распределением. Распределение временных интервалов логических единиц и нулей произвольное, т. е. в их последовательности не наблюдается никакой закономерности. Если такая последовательность повторяется через определенный период времени, то она называется псевдослучайной. Система не может отличить псевдослучайную последовательность от истинно случайной, если число периодов в последовательности превышает емкость ее памяти. Это условие в большинстве случаев выполняется легко.

Большое преимущество псевдослучайных последовательностей заключается в том, что получаются воспроизводимые результаты и возможно снятие осциллограмм. Кроме того, псевдослучайный последовательности для низкочастотного диапазона получить значительно легче, чем при использовании большинства естественных источников шума.

Для генерации псевдослучайных последовательностей применяют регистр сдвига, в который определенным образом вводится обратная связь. Обратная связь создается на основе элементов ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ.

Апериодические кодовые последовательности, который может генерировать n-разрядный регистр сдвига, имеют разрядность N=2n –1 бит. С помощью 4-разрядного регистра сдвига можно, следовательно, получить псевдослучайную последовательность с максимальной длиной 15 бит. Подобная схема представлена на рисунке 4.3.

Рисунок 4.3 Генератор псевдослучайных последовательностей с n=4 бит.



Для объяснения принципа действия схемы предположим, что регистр сдвига находится в состоянии х1=1 и х2=х3=х4=0. При поступлении первого тактового импульса информация сдвигается на разряд вправо. Так как после окончания тактового импульса у=х3⊕х4 =0, то первый каскад устанавливается в нуль. После первого тактового импульса получаем состояние х2=1 и х1=х3=х4=0. Поскольку у в этом случае еще остается равным нулю, то после второго тактового импульса в регистр сдвига опять будет введен нуль. После второго такта получим состояние х3=1 и х1=х2=х4=0. Но теперь у=1. В результате в следующем такте будет вводиться единица, т. е. х1=х4=1 и х2=х3=0, 15-й тактовый импульс опять устанавливает исходное состояние. Естественно, что цикл может начаться с любого другого кода, в том числе и с запрещенного состояния, которое блокирует схему. Необходимо, следовательно, воспрепятствовать появлению этого кода при включении или сбое. Для этого можно применить логическое устройство, показанное на рисунке4.4.



Рисунок 4.4

При появлении состояния 0000 на выходе элемента НЕ-ИЛИ устанавливается «1». Эта единица подается на вход регистра сдвига через элемент ИЛИ. Так как в нормальном режиме состояние 0000 не возникает, введенные дополнительные логические элементы не нарушают процесса функционирования.

Совершенно безразлично, с какого выхода снимается псевдостатическая последовательность, поскольку та же самая последовательность поступает с временным сдвигом с каждого выхода.

Таблица состояний 4-разрядного генератора последовательностей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| Х1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Х2 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Х3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Х4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| у | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |

Чтобы действительно достичь максимальной длины периода N=2n-1, необходимо подключить логические схемы цепей обратной связи к строго определенным выходам, во всяком случае к выходу последнего разряда. Какие еще выходы должны быть использованы в линиях обратной связи, зависит от разрядности регистра сдвига.

Для многих применений необходимо преобразовать цифровой шум в аналоговый. Для этого достаточно подключить к выходу фильтр нижних частот, частота среза которого мала по сравнению с тактовой частотой. Напряжение при этом становится тем больше, чем чаще появляются единицы. Значительно большая полоса частот шумов достигается в случае, когда все число, которое находится в регистре сдвига, вводится в цифро-аналоговый преобразователь.

Для реализации 4-разрядного регистра возьмем микросхему К555ИР19, которая представляет собой четырехразрядный параллельный регистр с D –триггерами и буферными входами для разрешения записи данных EI. Условное обозначение регистра приведено на рисунке 4.5.



# Рисунок 4.5 Микросхема К555ИР19

# Таблица состояний регистра КР55ИР19



После того как мы сформировали маскирующую помеху необходимо преобразовать ее в аналоговую форму. Для этих целей применяется ЦАП.

Наиболее скоростные ЦАП имеют токовые аналоговые ключи. Поскольку сверхскоростной ОУ выполнить на этомже кристалле пока сложно, предпочтение отдается внешним дискрет­ным ОУ, включаемым для преобразования выходного тока ЦАП в уровни выходного напряжения (0...Uшк). К преобразователям подобного рода относится ИС К594ПА1. Она представляет собой 12-разрядный ЦАП параллельного двоичного входного кода в вы­ходные уровни тока.

Схема ЦАП содержит три группы элементов, связанных меж­ду собой на выходе делителями тока. Каждая группа—это четы­рехразрядный ЦАП с суммированием токов. Выходной ток пер­вого ЦАП непосредственно поступает на выход прибора. Выход­ные токи двух других ЦАП, образующие младшие разряды, по­ступают на выход через делители тока 1/16 и 1/128 (резисторы R15 и R17). Масштабные резисторы R16 и R18 служат для соз­дания цепи обратной связи внешнего ОУ. Таким приемом гаран­тируются малые дрейфы выходного напряжения ЦАП, посколь­ку резисторы матрицы токов и масштабные резисторы для внеш­него ОУ изготовлены на одном кристалле. Резистор R21 служит для перевода (смещения) ОУ в режиме двухполярного выходно­го сигнала. Отслеживающий усилитель У, транзистор УТ1 и рези­сторы Rэт и Rдиф образуют схему формирования опорного напря­жения, задающую смещение на общую базовую шину всех источ­ников тока. Взвешивание разрядных токов внутри схемы ЦАП, выполняемое в два приема (в эмиттерных цепях транзисторов— источников тока используются резисторные матрицы как взвешен­ного типа в старших разрядах (R—8R), так и лестничного типа R—2R в младших разрядах), позволило сузить в матрицах диапа­зон номиналов резисторов до 1 :4 вместо требуемого в матрицах с прямым взвешиванием диапазона 1 :2048. Для поддержания по­стоянной плотности токов через эмиттерные переходы источни­ков токов с двоичным взвешиванием применены транзисторы, у которых площади эмиттеров пропорциональны токам соответст­вующих разрядов. Это позволяет сохранить постоянным падение напряжения на эмиттерных переходах вне зависимости от то­ка разряда и получить необходимую линейность.

Наличие в ИС резисторов обратной связи и резистора сдвига уровня ОУ позволяет применять ИС К594ПА1 в режимах однопо­лярного и двухполярного выходных сигналов. На рисeнке при­ведена схема включения ЦАП в режиме однополярного сигнала для работы с ТТЛ цифровыми сигналами. В этой схеме резистор R19 (10,5 кОм) включается в цепь ООС ОУ. В режиме двухполярного выходного сигнала в цепь ООС ОУ включаются ре­зисторы R19, R20, (10,5—2,5 кОм), а инвертирующий вход ОУ че­рез резистор R21 присоединяется к источнику опорного напряже­ния через переменный резистор, который необходим для компенсации первичных ошибок ЦАП. ИС К594ПА1 может применять­ся и для преобразования цифрового кода, поступающего от КМОП ЦИС.

Рисунок 4.6 а)



Рисунок 4.6 б)

а) —функциональная схема (/—источники токов; 2—схема формирования опорного напря­жения; 3 — токовые ключи; 4 — схема сдвига (смещения) входных уровней; 5 — преобразо­ватель Uи п ). Выводы: 1,2—резистор смещения: 3—токовый выход (1); 4, 5 — резисторы обратной связи Rоc1 и Rос2; 6 —общий; 7 ... 18 — цифровые входы; 19, 20—плюс Uип:21—инвертирующий вход ОУ; 22—неинвертирующий вход ОУ; 23—Uоп; СЗР—старший значащий разряд; МЗР — младший значащий разряд;

На рисунке приведена схема включения преобразователя для получения однополярного выходного тока, при этом напря­жение питания Uип=5...15 В подключается к выводам *19* и *20.* Входное напряжение логического «0» должно быть не более 0,3 Uип, а входное напряжение логической «1»—не менее 0,7 Uип.

Для получения выходного биполярного тока необходимо выход 1 через резистор 50Ом подключить к источнику опорного напряжения, вывод 2 соединить с выводом 3, а вывод ОУ подключить к выводу 5.

В процессе маскирования речевой сигнал и помеху необходимо ограничить. Для этого используем активные фильтры, использующие для формирования частотной характеристики заданного вида как пассивные, так и активные элементы. Применение усилительных элементов выгодно отличает активные фильтры от фильтров на пассивных элементах. К преимуществам активных фильтров в первую очередь следует отнести:

способность усиливать сигнал, лежащий в полосе их пропускания;

возможность отказаться от применения таких нетехнологичных элементов, как индуктивности, использование которых несовместимо с методами интегральной технологии;

легкость настройки;

малые масса и объем, которые слабо зависят от полосы пропускания, что особенно важно при разработке устройств, работающих в низкочастотной области;

простота каскадного включения при построении фильтров высоких порядков.

Вместе с тем данному классу устройств свойственны следующие недостатки, которые ограничивают область их применения:

невозможность использования в силовых цепях, например в качестве фильтров выпрямителей;

необходимость источника, предназначенного для питания усилителя;

ограниченный частотный диапазон, определяемый собственными частотными свойствами используемых усилителей.

Требования к активным RC-фильтрам в силу специфики их построения несколько отличаются от обычно предъявляемых к частотным фильтрам.

Требования к частотной характеристике фильтра. Поскольку в активных RC-фильтрах существует усиление сигнала в полосе пропускания, то для них можно говорить о неравномерности усиления в полосе пропускания и относительном усилении в полосе задерживания.

Входное и выходное сопротивление фильтра. Применение активных элементов в фильтрах позволяет развязать фильтр со стороны входа и выхода без дополнительных схемных элементов. При этом входное и выходное сопротивления могут иметь чисто активный характер, т.е. не зависеть практически от частоты, как в полосе пропускания, так и в полосе задерживания. Каскадное включение звеньев производится не по принципу согласования (равенства входного и выходного сопротивлений стыкуемых звеньев), а соединением низкоомного выходного сопротивления с высокоомным входным и наоборот.

Условия параллельной работы фильтров. В случае активных RC-фильтров упрощаются условия параллельной работы. Поскольку фильтры с управлением по напряжению имеют большое выходное сопротивление, то они должны применятся для параллельной работы со стороны входа; источником сигнала при этом должен быть генератор напряжения. Для параллельной работы со стороны выхода целесообразно использовать фильтры с управлением по току, которые имеют высокое входное сопротивление; сопротивление нагрузки при этом должно быть значительно меньше высокоомного выходного сопротивления фильтра.

Динамический диапазон и нелинейные искажения. При использовании активных RС-фильтров эти характеристики требуют к себе большого внимания. Динамический диапазон сигналов ограничивается снизу уровнем шумов и наводок. Основным источником нелинейных искажений в активных RC- фильтрах являются активные элементы, построенные на основе усилителей. Поэтому в последних при высоких требованиях по нелинейности должна применяться отрицательная обратная связь.

Источники питания. Реализация некоторых характеристик в активных RС- фильтрах накладывает специфические требования на источники питания их активных элементов. Условия стыковки по постоянному току определяют количество и полярность источников питания, а динамический диапазон – величину питающего напряжения. Кроме того, повышаются требования в отношении пульсаций питающего напряжения, которые могут усиливаться в отдельных звеньях, представляя значительную помеху. Необходимо обратить внимание на внутреннее сопротивление источника питания, так как большая величина его может служить причиной недостаточного затухания в полосе задерживания фильтра.

Целесообразно рассматривать реализацию различных типов фильтров звеньями не выше второго порядка, что позволяет получить приемлемую стабильность характеристики фильтра.

Маскирующую помеху ограничиваем ФВЧ, а речевой сигнал ФНЧ.

Для наложения помехи на речевой сигнал применяем инвертирующий сумматор, предназначенный для формирования напряжения, равного усиленной алгебраической сумме нескольких входных сигналов, т. е. выполняет математическую операцию суммирования нескольких входных сигналов. При этом выходной сигнал дополнительно инвертируется. Рассмотрим сумматор, выполняющий данную операцию для четырех входных напряжений. Схема инвертирующего сумматора приведена на рисунке 4.7.

Считая ОУ идеальным можно сказать, что Uвх н=Uвхи.

Однако, согласно приведенной схеме Uвх и =0.Следовательно, и Uвх н=0. В этом случае для инвертирующего входа согласно первому закону Кирхгофа можно записать:

* Uвых/Roc = Uвх1/R1+Uвх2/R2 + Uвх3/R3 +Uвх4/R4, откуда не представляет труда получить выражение для исходного напряжения: Uвых=-Uвх1Roc/R1-Uвх2Roc/R2- Uвх3Roc/R3-Uвх4Roc/R4,т. е. сигнал на выходе равен инверсии от алгебраической суммы входных сигналов, взятых со своими масштабными коэффициентами.



Рисунок 4.7 Схема инвертирующего сумматора

В частном случае, если R1=R2=R3=R4=R, из предыдущего выражения получим:

Uвых=-(Uвх1+Uвх2+Uвх3+Uвх4)Roc/R,

Это выражение справедливо для любого числа входных напряжений. Если в схеме выбрать R1=R2=…=Rn и Roc=R/n,то получим

Uвых= -(Uвх1+Uвх2+….+Uвхn)/n.

Следовательно, на выходе схемы будет формироваться напряжение, равное инвертированному среднему арифметическому от n входных напряжений.

## 5.РАСЧЕТ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СХЕМЫ.

Чтобы получить большое отношение сигнал-шум, предпочтительно звенья фильтра располагать в порядке возрастания значений добротности Q, избегая, по возможности, включения звена верхних частот на входе схемы в целом.

Рассчитаем ФНЧ Р0220, реализованный на активной RС-схеме с граничной частотой полосы пропускания f=3,4кГц.

Передаточная функция ФНЧ Р0220, взятая из таблиц, имеет вид

Hu(p)= U0(p)/U2(p) = C(p2-2α1p+γ1) = 0,204124(р2+3,130169р+4,8989800).

Для реализации передаточной функции используется схема, приведенная на рисунке5.1



Рисунок 5.1

Так как выполняется условие, заданное выражением C≥3/4γ и добротность полюса .



### Нормированные значения элементов схемы, приведенной на рисунке, при u=4/3 и К=1/(uCγ1)=0,75, полученного из выражения К =1/uCγ равны:



;



;



; r5=1;



;



;



При использовании серийных операционных усилителей вместо идеальных следует иметь в виду, что конечное произведение коэффициента усиления на ширину полосы должно быть значительно выше граничной частоты полосы пропускания фильтра. Чтобы учесть конечные входное и выходное полные сопротивления W1 и W2 операционного усилителя, в качестве нормирующего сопротивления взять



Например, для операционного усилителя типа μА 741 с W1≈1Мом и W2≈100Ом получаем, что Rв=10кОм.

При расчете фильтра важно убедиться, что отклонения емкостей и сопротивлений от их номинальных значений меньше, чем отклонения параметров усилителей.

Вычисление фактических значений элементов при Rв =10кОм fв =3,4кГц и Св =4,681Нф дает:

R1 =15,86кОм; R2 =47,57кОм; R3 =4,855кОм; R4= 30,00кОм;

R5 =10,00кОм; C1=3,080нФ, С2=2,515нФ.

Выбираем номиналы: R1=16кОм; R2=47кОм; R3=51кОм; R4=30кОм; R5=10кОм; C1=0,0033мкФ; C2=0,0022мкФ.

Чтобы не появились нелинейные искажения вследствие перегрузки, при использовании операционного усилителя типа μА 741 с напряжением источника питания ± 15В (среднеквадратическое значение). Отношение сигнал-шум около 115 дБ. Ранее оговаривалось, что требуемое отношение сигнал-шум должно быть не менее 40 дБ, а так как с помощью этого фильтра можно реализовать отношение 115 дБ, то он удовлетворяет предъявляемым требованиям.

Аналогом операционного усилителя μА 741, на котором реализуется ФНЧ, является микросхема К140УД7.

Операционный усилитель КР140УД7 имеет сложный входной усилитель, что позволяет повысить входное сопротивление до 100кОм. В состав ОУ входит схема стабилизатора. Схема имеет внутренний конденсатор коррекции Cк с номиналом 30пФ, поэтому АЧХ ОУ полностью скорректирована. Наклон АЧХ (-20 дБ/дек.) и постоянный фазовый сдвиг на высоких частотах, равный 900 , допускают использование ОУ в режиме повторителя без дополнительных элементов частотной коррекции. Для увеличения скорости нарастания выходного напряжения до 10 В/мкс к выводу 12 подключается конденсатор С1 емкостью 150 пФ. Схема балансировки ОУ состоит из одного внешнего переменного резистора, подключаемого к выводам 3 и 9.



# Рисунок 5.2

В случае фильтра верхних частот выражение для передаточной функции имеет вид:

Нu(p) = U0(p)/U2(p) = C(p2 -2αp + γ)/p2 .

Если выполняется условие С≥ 3 /4 , то эта передаточная функция реализуется схемой, показанной на рисунке , и заданными расчетными соотношениями. При оптимальном коэффициенте усиления u= 1+r4/r3 =4/3 и



нормированные значения элементов можно найти по формулам

; r1=0,69;



; r2=0,836;



r3=3; r4=1;

; C1=0,62



C2=0,209



C3=2 ;



Фактические значения элементов имеют значения:

R1=6,9кОм; R2=8,36кОм; R3=-30кОм; R4=10кОм;

C1=2,82нФ; C2=0,948нФ; C3=0,948нФ.



Исходя из рассчитанных значений выбираем номиналы:

R1=6,8кОм; R2=8,2кОм; R3=30кОм; R4=10кОм;

С1=0,0033мкФ; C2=0,001мкФ; С3=0,015мкФ.



Рисунок 5.3 Схема ФВЧ второго порядка (n=2)

В качестве ОУ выбираем К140УД22, аналогом которого является μА 747.Его схема приведена на рисунке 5.3.



# Рисунок 5.4 Схема операционного усилителя КР140УД22

# Таблица Параметры операционных усилителей

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип микросхем | Куuх103 | Uсм,  мВ | ΔUcм,  мкВ/0С | Iвх,  нА | ΔIвх,  нА | f1,  МГц | Uвых,  В/мкс | Кос,  дБ | Uвх,  В | Uвых,  В | Uпит,  В | Iпот,  мА |  |  |
| КР140УД7 | 50 | 4 | 6 | 200 | 50 | 0,8 | До 10 | 70 | 12 | 11,5 | ±15 | 2,8 |  |  |
| К140УД22 | 25 | 10 | - | 0,2 | 0,05 | 5 | 12 | 80 | 10 | 11,5 | ±15 | 4 |  |  |

**6.МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЛЬТРОВ.**

В условиях производства получаемые номиналы емкостей имеют неизбежные отклонения от расчетных, что вызвано погрешностями измерительной аппаратуры и многими другими причинами. Затем, в процессе эксплуатации наблюдается дальнейший уход от фактических величин схемных элементов с течением времени («старение») и под влиянием изменения внешних условий: температуры, влажности, атмосферного давления. Производственные отклонения величин схемных элементов от номиналов и отчасти эксплуатационные изменения их имеют случайный характер. Поэтому решение задачи правильного определения производственных допусков на величины схемных элементов связано со статистикой. Методика решения этой задачи состоит в моделировании на ЭВМ достаточно большого числа схемных реализаций с элементами, величины которых отклоняются от номиналов в заданных пределах по случайному закону.

При использовании моделирования для исследования влияния разбросов элементов на амплитудно-частотную характеристику фильтров за один вариант принимается рассмотрение одной реализации схемы фильтра при заданных значениях величин элементов, допусков и интервалов исследуемых частот.

Непрерывное ужесточение технических требований, предъявляемых к электрическим фильтрам, вызывает увеличение объема необходимых при проектировании вычислений. Объем вычислительной работы особенно велик при использовании методов расчета по рабочим параметрам, а они и только они и применяются при проектировании активных RС- фильтров. Использование ЭВМ позволяет не только ускорить проведение расчетов, но и просчитать большое количество возможных вариантов и выбрать из них наилучший.

Можно определить границы изменения характеристик фильтров при вариациях величин схемных элементов от их номинальных значений за счет производственных допусков, влияния температуры и других окружающих условий, с течением времени и т.д. Становится реальной полная автоматизация проектирования фильтра – от задания технических требований до получения электрической схемы и данных о ее поведении в различных эксплуатационных условиях, влиянии разброса величин элементов в условиях серийного промышленного выпуска и т. д.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы было разработано устройство, которое позволяет защищать телефонную линию от прослушивания. Спроектированное устройство обеспечивает маскирование телефонного сигнала внеполосной шумовой помехой. Устройство соответствует требованиям надежности, экономичности.

В ходе проектирования были получены технические параметры устройства, а также наглядное представление отдельных компонентов устройства с помощью моделирования.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Знаменский А. Е. , Теплюк И. Н. Активные RC-фильтрв.-М.: Связь. 1970,280с.
2. Бобнев М. П. Генерирование случайных сигналов.-М: Энергия. 240с.
3. Р. Зааль.Справочник по расчету фильтров.-М: Радио и связь. 1983,75с.
4. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы: Справочник/ С.В. Якубовский, Л. И. Ниссельсон, В. И. Кулешова и др.; под ред.С.В. Якубовского.-М.: Радио и связь. 1989, 486с.
5. У.Титус, К. Шенк. Полупроводниковая схемотехника.-М: Мир. 1982,512с.
6. В помощь радиолюбителю. Справочник.Вып.№ 109. Сост. И. Н. Алексеев.1989.
7. Конфидент.№4, 2001.