**Введение**

В современных системах связи все больше требуются скоростные широкополосные каналы связи для передачи информации. Отвечать растущим объемам передаваемой информации можно, используя оптическое волокно.

Оптическое волокно в настоящее время считается самой совершенной, а также наиболее перспективной средой для передачи больших потоков информации на большие расстояния.

Волоконная оптика обеспечила себе гарантийное развитие в настоящем и будущем.

В межрегиональном масштабе следует выделить строительство волоконно-оптических сетей синхронной цифровой иерархии (*SDH*).

Экономические аспекты оптического волокна также говорят в его пользу. Волокно изготавливается из кварца, основу которого составляет двуокись кремния, широко распространенного, а потому не дорогого материала, в отличии от меди. Стоимость волокна по отношению к медной паре соотносится как 2:5. По всему миру в настоящее время поставщики услуг связи за год прокладывают десятки тысяч километров волоконно-оптических кабелей. Ведутся интенсивные исследования в области волоконно-оптических технологий такими крупнейшими компаниями как Lucent Technologies, Norton, Siemens, IBM, Corning, Alcoa Fujikura.

Крупным производителем оптических соединителей в России является фирма «Перспективные Технологии». Основными поставщиками оптических шнуров в России являются фирмы «Вимком-Оптик», «Телеком Комплекс Сервис». Многие потребители оптических шнуров имеют собственную сборку (РОТЕК, ЭЛОКОМ).

В процессе эксплуатации ВОСПИ можно отметить ряд их достоинств:

– Высокая помехозащищенность от внешних электромагнитных воздействий, которая решает проблемы электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств.

– Широкая полоса пропускания. Обуславливается высокой несущей частотой (возможность передачи по одному оптическому волокну информации в несколько терабит).

– Малое затухание светового сигнала в волокне. В настоящее время промышленное оптическое волокно имеет затухание 0,2 – 0,3 дБ на длине волны 1,55 мкм в расчете на 1 км. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяют строить участки линий без ретрансляции протяженностью до 100 км и более.

– Низкий уровень шумов.

– Малый вес и объем.

– Высокая защищенность от несанкционированного доступа (трудно подслушать информацию, не нарушая приема-передачи).

– Длительный срок эксплуатации. Процесс деградации волокна значительно замедлен и срок службы ВОК составляет примерно 25 лет.

Волоконно-оптические сети имеют недостатки:

1. Высокая стоимость интерфейсного оборудования. Также требуется высоконадежное коммутационное оборудование, оптические соединители, разветвители, аттенюаторы.

2. Дорогостоящий монтаж и обслуживание оптических линий.

3. Требуется специальная защита волокна.

**1. Волоконно-оптические системы передачи информации**

1.1 Принципы построения ВОСПИ

Оптические волокна производятся разными способами, они обеспечивают передачу оптического излучения на разных длинах волн, имеют различные характеристики и выполняют различные задачи. Все оптические волокна делятся на две основные группы: многомодовые MMF и одномодовые SMF.

Наиболее очевидным путем увеличения информационной емкости волоконно-оптических систем связи является расширение спектральной области для передачи информации. Практически все современные системы связи работают в диапазонах длин волн λ=1,3 мкм и λ=1,55 мкм. Использование всего спектрального диапазона волокна позволяет резко увеличить информационную емкость волоконно-оптических систем со спектральным уплотнением каналов. С учетом дальнейшего прогресса волоконно-оптических технологий можно предположить, что используя только спектральный интервал 1,2 – 1,7 мкм, в будущем можно будет передавать по одному волокну информацию со скоростью в 1000 тбит/с. Для реализации таких систем связи потребуются новые исследования и разработка новой элементной базы.

Информация, которая должна быть передана в виде электрического сигнала, модулирует световой поток, который передается по волоконным световодам или через атмосферу.

Шумовой характер излучения источников света, как правило, ограничивает применяемые виды модуляции излучателей и в практически используемых системах, находят место модуляции по интенсивности излучения. На приемном конце переданная информация демодулируется. Основным элементам построения ВОСПИ соответствует структурная схема, приведенная на рис. 1.1.

1

2

3

5 6

1. Источник сигнала
2. Усилитель-модулятор
3. Лазерный излучатель
4. ВОК (волоконно-оптический кабель)
5. Фотодиод
6. Усилитель

Рисунок 1.1 – Структурная схема ВОСПИ

Передающие оптические модули РОМ-3155 выпускаются на основе импортных MQW InGaAsP/InP Фабри Перо лазерных диодов, интегрированных со схемой управления с дифференциальным PECL – входом. Модули имеют TTL – вход включения лазерного излучения и выход аварийного состояния лазерного диода (открытый коллектор). Предназначены для работы в цифровых волоконно-оптических линиях связи со скоростью передачи информации 2..155 Мбит/с. Технические характеристики приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Технические характеристики передатчиков

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | *РОМ* – 3155 |
| Длина волны излучения, нм | 1290..1330 |
| Скорость передачи, Мбит/с. | 2..155 |
| Мощность излучения, дБм | -3..0 |
| Тип оптического волокна | одномодовое |
| Тип разъема | *FC/PC* |
| Тип корпуса | *DIL* – 14 |
| Напряжение питания, В | 4,75.. 5,25 |

При передаче на большие расстояния, когда отношение сигнал/шум на выходе приемника становится недостаточным, в тракт включают ретрансляторы. Для передачи сигнала обычно используют световые импульсы. При этом применяют два вида модуляции: аналоговая, при которой информация передается изменением амплитуды, ширины или положения импульсов и цифровая – с кодированием информации комбинацией группы импульсов.

В данном дипломном проекте разрабатывается ФПУ для ВОСПИ, использующей аналоговую модуляцию. При аналоговой передаче, информационный сигнал модулирует поднесущую частоту, как правило, СВЧ диапазона, которая в свою очередь управляет мощностью излучателя. Прием во всех случаях осуществляется с помощью фотоэлектрических полупроводниковых приемников излучения, преобразующих энергию колебаний оптического диапазона в электрическую энергию. Электрический сигнал усиливается до необходимого уровня усилителем низкой частоты.

При разработке радиооптических преобразователей, используемых в аналоговых ВОСПИ, являющихся оптическими линиями связи между аналоговым фотоусилителем (АФУ) и входом приемника ДЦВ диапазона, необходимо выполнить два основных требования:

– при введении оптической линии между АФУ и приемником, электрическая пороговая чувствительность всей системы не должна ухудшаться, то есть отношение сигнал/шум должно оставаться прежним;

– динамический диапазон изменения передаваемого полезного радиосигнала не должен быть меньше 60 дБ для КВ диапазона и не меньше 40–45 дБ для ДЦВ диапазона.

Для удовлетворения этих требований всей ВОСПИ, необходимо обеспечить их выполнение каждым элементом ВОСПИ: УМ, лазерным излучателем, ВОК, ФПУ.

В аналоговой ВОСПИ между АФУ и радиоприемником используются два радиооптических преобразователя: передающий радиооптический преобразователь, расположенный непосредственно в АФУ и выполняющий прямое радиооптическое преобразование сигнала; приемный радиооптический преобразователь, находящийся на приемном конце ВОСПИ перед входом радиоприемника и осуществляющий обратные преобразования оптического сигнала в радиосигнал.

В качестве прямого радиооптического преобразователя выступает усилитель-модулятор, возбуждаемый от радиосигнала с АФУ и модулирующий этим усиленным радиосигналом ток лазерного излучателя.

Лазерные модули для ВОЛС

Лазерные модули с оптическим волокном изготавливаются на основе импортных MQW InGaAsP/InP Фабри Перо лазерных диодов. Выпускаются в неохлаждаемом исполнении, а также в корпусе DIL – 14 со встроенном элементом Пельтье и в корпусе типа «оптическая розетка». Технические характеристики приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Технические характеристики.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | LFO-14-i | LFO-17-i | LFO-17m-i | LFO-18-i |
| Мощность излучения, мВт | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |
| Длина волны излучения, нм | 1310 | 1310 | 850 | 1550 |
| Тип оптического волокна | SM | MM | MM | SM |
| Тип разъема | FC/PC | FC/PC | FC/PC | FC/PC |

Радиооптический преобразователь, осуществляющий обратное преобразование оптического сигнала в радиосигнал, состоит из фотодиода и усилителя, то есть представляет из себя фотоприемное устройство.

Фотоприемные модули для ВОЛС

Фотоприемные модули серий PD-1375-ip/ir для спектрального диапазона 1100..1650 нм изготавливаются на основе импортных InGaAs PIN – фотодиодов. Выпускаются в неохлаждаемом исполнении, а также в корпусе типа «оптическая розетка» для стыковки с одномодовым волокном, оконцованным разъемом «FC/PC».

1.2 Потери и искажения ВОСПИ

Волоконно-оптические линии связи, используемые для передачи информации, не должны ухудшать характеристики электрических сигналов, то есть должны удовлетворять заданному динамическому и частотному диапазонам. Для удовлетворения всей ВОСПИ необходимо обеспечить их выполнение каждым элементам ВОСПИ: усилителем – модулятором; лазерным излучателем; оптическим кабелем; фотоприемным устройством

Потери оптической мощности в волоконно-оптических системах передачи происходят в основном на неоднородностях оптического волокна и соединениях. Кроме них существуют различные виды допусков на ухудшение характеристик.

Рассмотрим их влияние на параметры ВОСПИ:

– обычно между полупроводниковым лазером и разъемом ВОК ставится оптический изолятор, ослабляющий отраженный от торца волокна сигнал. Помимо этого ослабления он вносит затухание и в прямом направлении. Величина этого затухания около 1 дБ;

– с течением времени происходит деградация лазерного диода и выходная оптическая мощность снижается. Чтобы система не прекратила свое нормальное функционирование, должен быть оставлен запас на величину этого снижения. В среднем для полупроводникового лазера она составляет 0,8 дБ;

– как известно в оптическом волокне существует дисперсия – зависимость фазовой скорости распространения волны, от какого либо параметра (в общем случае).

Рассмотрим дисперсные характеристики одномодового волокна, как наиболее оптимального по параметру погонного затухания.

В одномодовом волокне существует два вида дисперсии: волноводная и материальная – зависимость фазовой скорости моды от частоты при распространении колебаний в материале. Суммарная дисперсия такого одномодового волокна определяется как сумма двух видов дисперсий:

δτΣ = δτ*B* + δτ*м*

Величина этих составляющих имеет одинаковый порядок, а функциональная зависимость от длины волны у них имеет разный знак. В результате этого на некоторой частоте сумма этих двух величин дает ноль – дисперсия отсутствует.

График изменения дисперсии в зависимости от длины волны представлен на рис. 1.3.

1000

1200

1400

1600

1800

Λ,нм

δτΣ

10

20

-10

-20

Рисунок 1.2 – График изменения дисперсии в зависимости от длины волны

Исходя из графика в данной системе, выбрана длина волны 1,3 мкм. Величина дисперсии в связи с разбросом спектральных параметров волокна, обычно равна 2–5 нс/м.км. В соответствии с этим ощутимого ослабления сигнала из-за полной дисперсии не ожидается.

Для запаса на возможное ухудшение проводящих свойств волоконно-оптического кабеля вследствие старения отводится величина 1 дБ.

На оптический дистанционный контроль вводится запас 0,2 дБ.

Потери на переходных соединителях оконечного оборудования оцениваются величиной 3 дБ.

Кроме отражения от входного торца оптического волокна существует отражение от всех разъемных соединений, что вносит в оптический сигнал дополнительные шумы. И соответствует эквивалентному уменьшению мощности сигнала на 0,8 дБ.

Прочие, неучтенные потери принимаются равными 3 дБ.

Выходная оптическая мощность лазера с оптическим изолятором составляет 3 дБ. Эти параметры участвуют в составлении запаса мощности ВОСПИ.

Разрабатываемая ВОСПИ должна обеспечить передачу электрического сигнала без или с допустимыми уровнями искажений. К основным искажения, которые могут возникнуть в аналоговой ВОСПИ, относятся нелинейные и линейные искажения.

Нелинейные искажения в наших условиях приводят к ухудшению отношения сигнал/шум, то есть к ухудшению чувствительности, а также к появлению ложных сигналов приема.

Линейные искажения приводят также к ухудшению отношения сигнал/шум. Наиболее опасными искажениями являются нелинейные, которыми и будет определяться динамический диапазон ВОСПИ, особенно интермодуляционные искажения, создающие помехи с частотами (*mfi* + *nfj*). Поэтому выбор структуры ВОСПИ, схематических решений составляющих узлов будет направляться на обеспечение минимизации собственных шумов и нелинейных искажений всей ВОСПИ. Очень велики требования, предьявляемые к ВОК.

1.3 Искажения сигналов в одномодовой аналоговой ВОСПИ

Структура построения ВОСПИ в этом случае соответствует варианту: лазерный излучатель одномодовой ВОК.

При этой структуре, возникновение искажений заключается в том, что при возбуждении одномодового волокна одномодовым, особенно одночастотным лазером, режим работы такого лазера очень сильно зависит от величины отраженного от неоднородности волокна (оптические разъемы, соединения, оптическая площадка фотодиода на приемном конце) оптического сигнала.

Этот отраженный оптический сигнал приводит к появлению дополнительного шума излучения лазера, перескоку мод лазера, релаксационному режиму работы, что в конечном итоге проявляется в увеличении нелинейности ватт / амперной характеристике лазера.

При коротких длинах ВОСПИ, что характерно для нашего случая, и малом затухании оптического сигнала в волокне, эти искажения оказываются очень чувствительными.

Допускаемая мощность обратного оптического сигнала, поступающего на выход лазера должна быть *Р*обр. ≤(0,3÷1,0)% от мощности излучения лазера. В этом случае режим работы лазера не нарушается и не возникает дополнительных шумов и нелинейных искажений.

Искажения в тракте распространения оптического сигнала и режим работы лазерного излучателя сильно зависят от условий эксплуатации ВОК. Если при эксплуатации происходят механические колебания вращения кабеля то это приводит к изменению затухания оптического сигнала из-за появления местной неоднородности и, следовательно, к изменению интенсивности обратного отраженного оптического сигнала, приводящего к изменению режимы работы лазера. Для устранения этого влияния лазерные излучатели должны выполняться с оптическим изолятором на выходе с разверткой Дразв.≥30÷40 дБ по оптической мощности.

**1.4 Экспериментальные наблюдения и измерения искажений сигналов в аналоговых ВОСПИ**

Экспериментальные исследования искажений сигнала производились двухмодовым и одномодовым методами. В качестве регистрирующей аппаратуры использовался осциллограф, селективный микровольтметр В6–10, а также измеритель радиопомех *SMV* – 8,5. Наблюдения и измерения искажений сигнала проводились как в КВ, так и ДЦВ диапазонах. Исследовалось при этом влияние как ВОК, так и лазерных излучателей на качественную и количественную картину искажений радиосигналов.

**1.5 Определение основных характеристик оптических излучателей и фотоприемников**

Кроме вышеперечисленных искажений в аналоговой ВОСПИ возможно возникновение искажений сигнала в ФПУ при использовании в качестве фотодиодов лавинных фотодиодов (ЛФД), которые обладают малыми собственными шумами, но создают значительные нелинейные искажения при небольшом уровне сигнала. У ЛФД динамический диапазон достигает величины не более 40 дБ. Для достижения большего динамического диапазона изменения радиосигнала, лазерные излучатели должны обладать очень малыми собственными шумами, а также иметь строго линейную ватт / амперную характеристику, обеспечивающую динамический диапазон изменения радиосигнала, особенно для КВ диапазона, более 60 дБ. по интермодуляционным искажениям второго порядка.

Все эти требования лазерные излучатели и фотодиоды должны обеспечивать во всем требуемом диапазоне радиосигнала, то есть от *f*н=60 кГц. до *f*в=500 МГц.

Кроме искажения сигнала, возникающих в ВОСПИ из-за влияния оптоэлектронных элементов (ВОК, лазерные излучатели, фотодиоды) в аналоговых ВОСПИ используются и чисто электронные элементы (транзисторы, диоды, микросхемы), которые в свою очередь, создают дополнительные искажения, частотные искажения. Для исключения их влияния, динамический диапазон устройств, созданных на этих элементах – усилителей, модуляторов для модуляции лазерных излучателей, а также усилителей для фотоприемных устройств, должен быть больше, чем динамический диапазон самих лазерных излучателей, то есть более 70 дБ. в КВ диапазоне и более 56 дБ. в ДЦВ диапазоне.

**1.6 Волоконно-оптический кабель**

В настоящее время в качестве линии оптического сигнала используется ВОК. Для наших целей, так как сигнал узкополосный, может быть использован как многомодовый, так и одномодовый ВОК. Рассмотрим затухание сигнала в этих ВОК. Величина погонного затухания очень сильно зависит от длины волны, применяемой для передачи информации ВОК.

Как видно из графиков, рациональнее использовать одномодовый ВОК, работая на волнах 1300 нм.

Исходя из условий эксплуатации (постоянные механические воздействия с различной частотой и усилением) в ВОСПИ могут возникать дополнительные искажения сигнала в зависимости от того, каким лазерным излучателем возбуждается какое оптическое волокно.

При возбуждении одномодовым излучателем одномодового волокна, дополнительных нелинейных искажений при механических воздействиях на волокно не происходит (т. к. не происходит эффекта перемешивания мод) т.е. не появляются дополнительные ложные сигналы с частотами *f*=(*mf*1± *nf*2), а также не изменяется уровень принимаемого сигнала (это явление отсутствует и при возбуждении многомодовым излучателем многомодового волокна). Таким образом, для исключения влияния механических воздействий, необходимо построение аналоговой ВОСПИ по структуре: одномодовый излучатель – одномодовый ВОК.

Рекомендуемый вариант построения ВОСПИ имеет свои достоинства и недостатки: одномодовый излучатель – одномодовый кабель, малое затухание, но требуется высокая точность настройки разъемов.

В нашем случае не требуется частых разъединений, а необходимо только первоначальное подключение. Поэтому ограничения на монтировку нас особо не стесняют.

**1.7 Излучатели**

Выполнение требований технического задания по частотному диапазону (*F*в ≤ 400 МГц) приводит к тому, что в качестве излучателя может быть использован излучатель ИЛПН – 206 с ОИ.

Источник оптического излучения должен излучать световой поток на длине волны, соответствующей одному из минимумов полных потерь в ОВ, обеспечивать эффективный ввод излучения в ОВ, иметь малые габариты, вес и потребляемую мощность, отличаться простотой, надежностью и долговечностью. Для возбуждения лазерного излучателя необходим усилитель – модулятор. К УМ предъявляются требования: отношение сигнал/шум на выходе, должно быть равным сигналу / шуму на его входе; динамический диапазон по оптическому, а тем более по электрическому сигналу должен быть *D* ≥ 60 дБ.

**1.8 Фотоприемные устройства (ФПУ)**

Одним из главных функциональных элементов схемы среди блоков волоконно-оптической системы передачи является фотоприемное устройство. Фотоприемник изготавливается из полупроводниковых материалов. Существуют определенные требования к его качеству и надежности, поскольку отказ любого элемента данного ФПУ приводит к нарушению правильной работы всего ствола линии.

Качество работы ФПУ характеризуется следующими основными параметрами: чувствительностью, динамическим диапазоном, коэффициентом ошибок.

Фотодетектор должен вносить минимальные шумы в приемную систему, отличаться стабильностью рабочих характеристик, иметь небольшие размеры, быть высоконадежным и недорогим.

Приемные оптические модули серии PD-155-ip и PROM-155 выпускаются на основе импортных InGaAs/InP PIN – фотодиодов, интегрированных с малошумящим трансимпедансным усилителем со встроенной системой АРУ и дифференциальным выходом. Модель PROM-155 дополнительно имеет встроенный усилитель-ограничитель и PECL – выход отсутствия сигнала в линии. Модули предназначены для работы в цифровых волоконно-оптических линиях связи со скоростью передачи информации 2..155 Мбит/c.

Технические характеристики оптических модулей приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Технические характеристики оптических модулей (Т = 25 0С)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметр | PD-155-ip | PROM-155 |
| Спектральный диапазон, нм | 1100..1650 | 1100..1650 |
| Скорость приема, Мбит/с | 2..155 | 2..155 |
| Мощность насыщения, дБм | +3 | +3 |
| Чувствительность, 155мБит/c | -36 | -36 |
| Тип оптического волокна | одномодовое | одномодовое |
| Тип разъема | FC/PC | FC/PC |
| Тип корпуса | 4-pin, DIL-8 | DIL-14 |
| Напряжение питания, В | 4,5.. 5,5 | 4,75.. 5,25 |

В связи с тем, что ВОСПИ должна функционировать постоянно, а на приемной стороне будет использован автономный источник питания, для увеличенного непрерывного времени работы линии необходимо иметь ФПУ с возможно меньшим уровнем потребления мощности.

Таким образом, целью настоящего дипломного проекта является разработка ФПУ для приема аналоговых оптических сигналов с длиной волны λ=1,3 мкм, удовлетворяющего всем вышеперечисленным требованиям, исходя из данных к дипломному проекту.

Как известно чувствительность любого усиливающего устройства потенциально ограничивается собственными шумами.

Усилитель разрабатываемого ФПУ не является исключением. Для того, чтобы была возможна устойчивая работа устройства, уровень сигнала должен превышать уровень шума в некоторое количество раз.

ФПУ должно обеспечивать заданное качество приема сигнала при минимально возможном уровне входной мощности. Удовлетворение этого требования позволит увеличить длину участка связи при фиксированной мощности передатчика или при той же длине снизить необходимую мощность передатчика. Уменьшение мощности передатчика в свою очередь создает предпосылку для увеличения срока службы лазера – самого надежного и дорогостоящего элемента ВОСПИ.

ФПУ должно сохранить требуемое качество приема при изменении уровня входного сигнала (ФПУ должно иметь необходимый динамический диапазон работы).

Динамический диапазон – отношение максимальной средней мощности оптического сигнала на входе приемного оптического модуля, при котором характеристики модуля не выходят за допустимые пределы.

В разрабатываемом фотоприемном устройстве задано значение динамического диапазона по электросигналу ≥ 50 дБ.

Таким образом, фотоприемное устройство характеризуется системой параметров, важнейшими из которых являются:

– рабочая длина волны, для которой нормированы параметры премного оптического модуля;

– полоса пропускания, то есть интервал частот, в котором модуль коэффициента передачи больше или равен половине его максимального значения;

– напряжение шума, то есть среднеквадратичного значения флуктуации выходного напряжения в заданной полосе частот в отсутствие оптического сигнала на его входном оптическом торце;

– отношение сигнал/шум – отношение амплитуды переменной составляющей выходного напряжения при заданных характеристиках принимаемого оптического сигнала к среднеквадратичному значению флуктуаций выходного напряжения при приеме немодулированного оптического излучения той же средней мощности;

– порог чувствительности – минимальная средняя мощность оптического сигнала на входе при заданных характеристиках этого сигнала, при котором обеспечивается заданное отношение сигнал/шум или заданный коэффициент ошибок. Усреднение обычно производится в течении интервала времени во много раз превышающего период модулирующей частоты или длительности светового импульса.

Фотоприемные устройства также должны позволять осуществлять стыковку с каналообразующей или другой оконечной аппаратурой.

Вместе с тем, в ВОСПИ возникают специфические помехи, связанные с распространением сигналов по световодам.

Режимы работы ФПУ ВОСПИ существенно отличаются от режимов ФПУ, применяемых в атмосферной связи или оптической локации. Главное отличие состоит в стабилизации канала и отсутствии фоновой засветки.

Техника фотоприемных устройств развивается в направлениях повышения быстродействия, освоения новых спектральных диапазонов, совершенствования технологии изготовления, конструкции и улучшения основных параметров в соответствии с приведенными требованиями.

**2. Выбор и обоснование структурной схемы**

ФПУ является составной частью линейного тракта и служит связующим звеном между ВОК и приемником.

Фотодиоды изготавливаются из разных материалов. Рабочие диапазоны длин волн, в которых достигается максимальная эффективность фотодиодов для разных полупроводниковых материалов, приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Рабочие диапазоны длин волн

|  |  |
| --- | --- |
| Материал | Диапазон принимаемых длин волн λ, нм |
| Кремний | 400–1000 |
| Германий | 600–1600 |
| GaAs | 800–1000 |
| InGaAs | 1000–1700 |
| InCaAsP | 1100–1600 |

Рассмотрим более подробно этот важный узел ВОСПИ.

Фотоприемник служит для приема (детектирования) и преобразования оптических сигналов в электрические. Фотоприемник имеет оптический вход (управляющая цепь) и электрический выход (сигнальная цепь). Параметры ФПУ должны быть согласованы с источником излучения и оптической линией связи, с одной стороны, и с электрической нагрузкой, включающей в себя любой требуемый преобразователь электрических сигналов: усилитель, модулятор, декодер, с другой стороны. Как элемент оптической цепи фотоприемник может работать как в аналоговом, так и в цифровом режимах, что определяется формой оптического сигнала, поступающего на его вход.

Фотоэлектрическое преобразование позволяет получить параметры сигнала, при которых аппаратура, подключенная к выходу ФПУ, может нормально функционировать.

Особенности ВОСПИ определяют выбор принципа оптического детектирования, его приборную и аппаратурную реализацию.

Преимущественно распространен принцип прямого детектирования, основу которого составляют полупроводниковые фотоприемники. Ему присущи простота реализации, схемная минимизация, возможность микроминиатюризации и интеграции на уровне фотопреобразований, высокое быстродействие.

Конструктивно ФПУ состоит из фотодиода и широкополосного высокочувствительного усилителя.

Усилители ФПУ традиционно делятся на предварительный и оконечный усилитель.

Фотоэлектрический полупроводниковый приемник излучения преобразует оптический сигнал в электрический. В качестве приемника излучения чаще всего используют фотодиод или лавинный фотодиод.

Предварительный усилитель (ПУ) – усиливает сигнал, обеспечивая наибольшее отношение сигнал/шум. Главной задачей проектирования ФПУ является достижение минимального порога чувствительности. Чем меньше этот порог, тем больше длина регенерационного или усилительного участка. Поэтому ПУ должен быть хорошо согласован с ФЭППИ, обеспечивая эффективную передачу энергии сигнала и малый уровень шума. Входной каскад ПУ выполняется на биполярном транзисторе и имеет входное сопротивление, равное внутреннему сопротивлению ФЭППИ.

Оконечный усилитель (ОУ) – осуществляет усиление, понижающее выходное сопротивление ФПУ, необходимое для работы устройства обработки сигнала.

ФПУ, как правило, работает при уровнях входной мощности, превышающих порог чувствительности. Запас входной мощности необходим для обеспечения надежности связи, так как с течением времени, вследствие старения лазера, мощность передатчика уменьшается.

Приемник излучения и его рабочий режим выбирается исходя из заданных спектрального диапазона порога чувствительности, быстродействия и требуемого динамического диапазона.

В большинстве случаев приходится делать выбор между p-i-n – фотодиодом и лавинным фотодиодом. Последний, хотя и позволяет выиграть в пороге чувствительности, работает в меньшем диапазоне температур, часто требует повышенного напряжения питания, стабилизации режима. Надежность ЛФД, включенного в конкретную схему, может оказаться меньше надежности p-i-n – фотодиода. Уступает ЛФД, p-i-n – диоду и в пределах линейности характеристики детектирования. В качестве фотодиода в аналоговых ВОСПИ с большим динамическим диапазоном используется p-i-n – диод. ЛФД не используется, так как имеет малый динамический диапазон из-за сильной зависимости коэффициента умножения от сигнала.

Следующим узлом ФПУ является предварительный усилитель (ПУ). Шумовые свойства предусилителя, зависят от многих факторов: схемы реализации, типа фотодетектора, рабочей полосы частот, типа используемых транзисторов, коэффициента шума транзистора, выбора его рабочей точки, технологии изготовления, наличия и вида корректируемого фильтра. Для требуемого частотного диапазона шумовые параметры биполярного и полевого транзистора соизмеримы.

После выбора приемника излучения и типа транзистора входного каскада необходимо проектирование схемы предварительного усилителя. Предварительный усилитель (ПУ) усиливает электрический сигнал, обеспечивая наибольшее отношение сигнала к шуму. ПУ должен быть хорошо согласован с приемником излучения, обеспечивая одновременно эффективную передачу энергии сигнала и малый уровень шума. Для= получения   
малошумящего усиления применяются схемы самой различной структуры: усилители могут быть дифференциальными и недифференциальными, содержать или не содержать цепи обратной связи и согласующие цепи.

Классификация схем осуществляется по нескольким направлениям. По способу преобразования сигнала во входной цепи различают усилители фотонапряжения, фототока, преобразователи токонапряжения и другие. По величине входного сопротивления усилители подразделяются на высокоимпендансные и низкоимпендансные. Усилители с глубокой обратной связью по напряжению называют трансимпендансными.

Рассмотрим подробнее свойства каждой схемы. Основные преимущества дифференциальных усилителей – это низкие требования к абсолютной величине номиналов элементов и высокая помехозащищенность. Вместе с тем, дифференциальные усилители уступают обычным по шумовым характеристикам: уровень шума в них на 3–5 дБ выше. Дифференциальные усилители применяются в монолитных интегральных схемах и в тех случаях, когда весьма важным требованием может оказаться помехозащищенность, например в вычислительных (схемах) сетях.

Среди схем без обратной связи наибольшее распространение получили высокоимпендансные усилители на полевых транзисторах. Низкоимпендансные усилители применяются главным образом на СВЧ.

Низкоимпендансным усилителем принято называть усилитель с входным сопротивлением 50 Ом. Достоинством усилителя первого типа является возможность достижения минимального порога чувствительности, а недостатками: сравнительно низкий динамический диапазон, высокая чувствительность к действию электромагнитных помех, необходимость индивидуальной настройки, использование высокого входного сопротивления (единицы, десятки МОм), которые приводят к интегрированию сигнала во входной цепи, вызывают частотные искажения. При этом возрастает отношение сигнала к шуму первого каскада усилителя.

Хотя использование большого входного сопротивления помогает максимизировать отношение сигнал/шум в приемнике оптических сигналов, однако оно одновременно порождает неудобства, вызванные необходимостью осуществлять значительную по величине коррекцию.

Первое неудобство состоит в том, что коррекция должна быть индивидуально приспособлена для каждой схемы. Она не может быть установлена заранее. Причина в том, что коэффициент усиления должен изменяться по закону: *G*(*f*) = *G*0· (1+*j*·2*p*·*f*·*С*·*R*), а значения *С*вх и *R*вх изменяются от прибора к прибору от схемы к схеме и часто зависят от температуры. В результате каждая схема должна настраиваться индивидуально.

Вторая проблема в том, что значительное изменение коэффициента усиления с частотой означает уменьшение динамического диапазона усилителя.

Положительная обратная связь вводится для компенсации входной емкости. Величина сопротивления нагрузки рассчитывается по формуле

(2.1)



Только входная емкость (*С*вх) берется компенсированной. Активный, как правило, фильтр *K*(*jw*), формирует требуемую частотную характеристику.

Схема с низким входным сопротивлением не нуждается в коррекции АЧХ.

Использование хорошего лавинного фотодиода с коэффициентом усиления *М*=20, и более гарантирует обеспечение режима детектирования, ограниченного дробным шумом.

Однако, это справедливо для фотодетектора на *p*-*i*-*n* – фотодиоде и увеличение шума в этом случае может быть значительным.

Такой усилитель требует только расчета сопротивления нагрузки Rн по известной, в общем случае, входной емкости и требуемой полосе частот:

.



Хотя входной импульс малой величины и обеспечивает большой динамический диапазон, тепловые шумы ограничивают возможности применения в системах связи.

Обычно предпочитают использовать усилитель с обратной связью. Его основное преимущество – отсутствие необходимости осуществлять какую-либо коррекцию. Шумы такого усилителя могут быть много меньше, чем у обычного усилителя напряжения без коррекции.

Такой усилитель рассматривается как преобразователь фототокнапряжение. Его коэффициент преобразования, равный отношению , имеет размерность сопротивления. С сопротивлением передачи «трансимпедансом» и связано название схемы на рис. 2.4. При достаточно большом (бесконечном) усилении в отсутствии обратной связи сопротивление передачи равно *R*ос. В отличии от схемы без обратной схемы, где резистор нагрузки имеет то же сопротивление передачи (*R*н=*R*ос), нагрузка в виде трансимпедансного усилителя усиливает мощность. Благодаря действию обратной связи происходит снижение входного сопротивления и может исчезнуть необходимость высокочастотной коррекции, увеличивается динамический диапазон. Выигрыш в динамическом диапазоне примерно равен соотношению коэффициентов усиления при разомкнутой и замкнутой цепи обратной связи.



Использование общей параллельной отрицательной обратной связи позволяет получить очень хорошую стабильность режимов работы по постоянному току всех транзисторов, а также одновременно осуществить коррекцию частотной характеристики ФПУ, выполненное применением данной структуры обеспечивает динамический диапазон на 10 дБ больше, чем усилитель высокоимпедансный, при увеличении шумов примерно на 1 дБ.

Основная проблема усилителей данного типа – обеспечение их устойчивости. Использование протяженной цепи обратной связи, охватывающей усилитель с большим коэффициентом усиления и высоким входным импедансом, делает схему усилителя склонной к самовозбуждению на высоких частотах, вследствие возникновения положительной обратной связи через транзисторную емкость.

Чтобы избежать самовозбуждения, требуется тщательная, продуманная компоновка и эффективная экранировка элементов схемы. Так наименьшими шумами обладают высокоимпедансные усилители с интегрированием во входной цепи. По динамическому диапазону на первом месте оказывается трансимпедансный усилитель, за ним следует низкоимпедансный и высокоимпедансный. По рабочему диапазону частот первенство принадлежит низкоимпедансному усилителю. В меньшем диапазоне частот возможно применение высокоимпедансного и особенно трансимпедансного усилителей.

Учитывая все достоинства и недостатки схем усилителей, выбираем схему трансимпедансного усилителя*.*

В данном дипломном проекте разрабатывается фотоприемное устройство для короткой линии связи (1 км.).

Предполагаем, что на выходе ФПУ находится профессиональный радиоприемник. ФПУ в нашем случае без системы автоматической регулировки усиления (АРУ), так как есть вероятность, что устройство АРУ будет откликаться на помеху.

**3. Выбор и обоснование принципиальной схемы ФПУ**

**3.1 Выбор и обоснование принципиальной схемы предварительного усилителя ФПУ**

В соответствии со структурной схемой приведенной ранее, ФПУ конструктивно делится на два функционально независимых усилителя: предварительный и оконечный.

Рассмотрим предварительный усилитель. Основным требованием, при соблюдении прочих условий (заданной полосы пропускания) предъявляемых к предварительному усилителю является обеспечение заданного отношения сигнал/шум.

Динамический диапазон фотоприемного устройства по минимальному сигналу определяется собственными шумами ФПУ, которые состоят из шумов фотодиода и шумов усилителя.

От выбора типа транзистора, используемого во входном каскаде, зависит шум усилительной схемы.

Для требуемого частотного диапазона шумовые параметры биполярного транзистора (БП) и полевого транзистора (ПТ) соизмеримы, поэтому выбираем биполярный транзистор при использовании которого проще осуществить заданный частотный диапазон.

Эти токи определяются из следующих выражений (3.1) – (3.4)

; (3.1)



; (3.2)



; (3.3)



; (3.4)



где *I*ф0 – постоянный ток засветки; *RIN* = – 155дБ / Гц – относительная интенсивность шума; – диапазон принимаемых частот; *К* – постоянная Больцмана; *Т* – температура (в Кельвинах).



Постоянная оптическая мощность, величина которая определяется исходной рабочей точкой на вольт – амперной характеристике лазера для получения минимальных нелинейных искажений (комбинационные искажения) и потерями в ВОК, падающая на фотодиод, создает фототок сигнала и фототок фоновой засветки, определяемыми постоянной оптической мощностью, определяется соотношением

*i*ф= *l*·*P*св/η·*h*·ν или *i*ф=*А*·*Р*св, *А*=*l*/η·*h*·ν,

где

*Р*св – падающая на ФД оптическая мощность;

η – квантовый выход;

*h* – 6,63·10-34 – постоянная Планка;

ν – частота света.

При *Р*св на выходе НЛПН равном 0,5мВт на ФПУ будем иметь

*I*ф0=*А*·*Р*св/*D*, где *D* – потери в линии.

С учетом потерь на двух оптических разъемах (α=1дБ/км) и затуханием ОК (α=1дБ/км) суммарные потери *D*=3дБ/км, что составляет 10*lgD*=10*lg*3=0,5 раз.

,



*А* = 0,7 Вт/А.

Подставляя фототок *I*ф0 в выражение (1) и (2) получим следующие соотношения

*i*2ш,ф0 = 2*I*ф0Δ*f* = 32·10-19·1,75·10-4 = 5,6·10-15А2,



*i*2ф,ш = *I*2ф0·10*RIN*/10·Δ*f* = (0,175·10-3)2·10-15·106 = 3,06-1·10-17A2.

т.е. мы выяснили, что шумовой ток, создаваемый постоянной оптической мощностью за счет *RIN* на два порядка меньше шумового тока, создаваемого постоянной фоновой засветкой и, соответственно, его влиянием в нашем случае можно пренебречь.

Таким образом, чем меньше ток базы, тем меньше шумы транзистора, но при малых токах ухудшается *h*21, а также ухудшаются частотные свойства, ухудшается *f*т, поэтому для вышесказанного частотного диапазона компромиссным решением будет использование СВЧ транзистора при токах покоя (*I*к ≈ 1÷2 мА).

Формула коэффициента шума показывает справедливость этих допущений.

Например, при *R*г = 1 кОм (эквивалентное сопротивление нагрузки ФД по переменному току), более нежелательно из-за больших частотных искажений.

При *f*в ≥ 400МГц необходимо использовать СВЧ транзистор 2Т3114В-6, у которого *fг*р ≈ 4,7ГГц при *I*к = 2мА

,



где

*r*’б – сопротивление тела базы;

*r* б’э – сопротивление базы-эмиттер;

*h*21э – 100;

*r*’б – 5 Ом (для транзистора 2Т382А);

*R*г=*R*1‌‌‌‌‌||*R*2||*R*4≈1кОм;

*r*б’э=26/*I*к·*h*21.

При токе *I*к=2мА, *h*21э=100, *r*’б=10 Ом.

При этих данных *r*б’э=1,3кОм; *F*=1,45 эквивалентный шумовой ток, учитывающий *R* транзистора, равен

для *f*=1МГц



При минимизации собственных шумов ФПУ и максимизации динамического диапазона к построению электрической принципиальной схемы ФПУ и выбору режимов транзисторов его каскадов, особенно выходных, предъявляются противоречивые требования.

Во-первых, транзисторы выбираются СВЧ диапазона, например 2Т3114В-6, маломощные, с *f*гр≥4 ГГц.

Ток покоя входного каскада нами уже выбран из условия минимизации шумов.

Транзистор 2Т3114В-6 имеет следующие параметры:

*P*к доп = 25 мВт;

*I*к доп = 15 мА;

*U*к доп = 5 В;

*f*г= 4,7 ГГц;

*h*21= 100;

*C*к = 0,4 пФ;

*r*расч = 6 нс.

Чтобы совместить эти противоречивые требования (минимальные шумы, максимальный частотный и динамический диапазон), входной каскад выполняется по схеме эмиттерного повторителя*,* который обладает этими свойствами.

Второй каскад для обеспечения заданного частотного и динамического диапазонов выполняется по каскадной схеме с местной обратной связью (ОС). В качестве 2-го и 3-го каскадов используется СВЧ микросхема типа М 45121–2.

Наличие во втором каскаде ФПУ обратной связи увеличивает особенно динамический диапазон, а также и частотный, при этом не ухудшаются шумовые свойства ФПУ, так как первый каскад создает требуемое усиление по мощности.

Это же позволяет ток покоя каскадной схемы выбрать достаточно большим, что в свою очередь увеличивает глубину обратной связи и тем самым уменьшает нелинейные и частотные искажения.

Электрические параметры микросхемы приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1 – Электрические параметры микросхемы

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Параметры, единицы измерения | Норма | |
| Не менее | Не более |
| 1. Верхняя частота рабочего диапазона, МГц | 1000 | - |
| 2. Коэффициент шума в режиме преобразования, дБ | - | 10 |
| 3. Верхняя граница линейности АЧХ по сжатию *К*р на 1дБ, мВт | 0,1 | - |
| 4. Развязка между каналами, дБ | 30 | - |
| 5. Коэффициент передачи по мо – щности в режиме усиления, дБ | - | 5 |
| 6. Допустимая входная мощность, мВт | - | 5 |
| 7. Минимальная наработка, час | 25000 | - |
| 8. 90 – процентный ресурс, час | 40000 | - |
| 9. Масса, г | - | 1,5 |

3.2 Выходной каскад

Выходной каскад для согласования с внешней нагрузкой выполнен по схеме эмиттерного повторителя. При этом Rн=50 Ом и ток покоя выбирается достаточно большим.

В качестве выходного транзистора VT2 можно использовать тот же транзистор, что и в предварительном усилителе: 2Т3114В-6.

Учет всех этих рекомендаций позволил реализовать схему ФПУ, которая изображена на рис. 3.2 и 3.3.

Первые три транзистора охвачены общей отрицательной обратной связью (ОООС), что позволяет увеличить частотный и динамический диапазоны без ухудшения чувствительности.

Анализ принципиальной схемы ФПУ показывает, что использование в качестве входного каскада эмиттерного повторителя позволяет решить одновременно много задач:

– уменьшить нелинейные искажения входного каскада;

– увеличить его частотный диапазон;

– уменьшить нелинейные искажения второго каскада путем увеличения глубины местной ОС за счет малого выходного сопротивления эмиттерного повторителя.

Все это не ухудшает чувствительности ФПУ, так как входной каскад в h21 раза усиливает мощность сигнала.

Определим граничную частоту усиления ФПУ

*U*2(*p*) = τ1(*p*)·*K*(*p*) = *Ј*ф·*Z*вх·*F*·*K*(*p*),

где

*U*2(*p*) – напряжение на входе ФПУ;

*U*1(*p*) – напряжение на нагрузке ФД, т.е. комплексном сопротивлении по переменному току, действующему между базой входного транзистора и общим проводом;

*К*(*р*) – общий коэффициент усиления всех каскадов ФПУ, кроме выходного;

*Ј*ф – фототок сигнала;

*Z*вх – входное сопротивление ФПУ при действии общей ОС, охватывающей первые два каскада.

В нашем случае *К*(*р*) = *К*1(*р*)·*К*2(*р*) ≈ *К*1·*К*2 ≈ *К*2, так как *К*1 = 1 и усиление этих каскадов можно считать в нашем частотном диапазоне постоянным.

Тогда, при *Z*вх,*F*= *Z*вх, *F*кз = 1, *F*хх = 1+*КВ*(*р*),



где *В(р*) =; = *R*г·*С*вх; *Z*вх = ;



получим



1 + *B*0*K* = *F*0, , *K*2 = 4



Частота верхнего среза для входных каскадов ФПУ (первого и второго) при действии общей ООС равна

,



,



.



ФПУ может быть выполнен и на дискретных транзисторах, по приведенной выше схемотехнике, но при этом должны использоваться транзисторы с *f*г > (4÷5) ГГц.

Технология использования возможна гибридно-пленочная.

**4. Расчет фотоприемного устройства**

**4.1 Расчет выходного усилителя**

Расчет К – цепи по постоянному току включает выбор режимов транзисторов и расчет сопротивлений резисторов, обеспечивающих выбранные режимы и их стабильность. При этом мощности, потребляемые, от источников питания и сигнала должны быть минимальными.

Режим работы транзистора, определяемый положением исходной рабочей точки (точки покоя) на выходных характеристиках транзистора (рисунок 4.1), т.е. значениями тока покоя коллектора Iк к постоянной составляющей напряжения между коллектором и эмиттером Uк, должно быть таким, чтобы на внешней нагрузке обеспечивалось заданная (номинальная) мощность сигнала и параметры предельных режимов работы транзистора не превышали максимально допустимых значений.

Принимая во внимание потери мощности сигнала в выходной цепи, вносимые цепью обратной связи, выходной цепью транзистора, максимальное рабочее значение мощности, рассеиваемой на коллекторе транзистора составляет

*Р*кр макс < *i*k,

*Р*к доп = 100 мВт.

Определим режим работы выходного транзистора. Ток коллектора выходного транзистора был оговорен при выборе принципиальной схемы.

Для уменьшения нелинейных и частотных искажений ток покоя выбрали равным 10 мА исходя из того что

*R*кр макс ≈ *U*кэ·*I*к,

где *U*кэ – напряжение между коллектором и эмиттером ((5÷6) В).

Напряжение, гасимое на сопротивлении *R*19 находим, как разницу напряжения источника питания и падением напряжения на резисторе *R*20 и между коллектором и эмиттером.



=6,5 В,



Определим токи выходного каскада



где *h*21=среднее значение коэффициента усиления по току, ; *I*д – ток протекаемый через делитель напряжения. Для достаточной стабильности режима транзистора *I*д должен быть значительно больше *I*б, обычно принимают *I*д ≥ (5÷10) *I*б



Пусть *I*д = 10*I*б, тогда

,



*I*э = 10·10-3 + 0,1· 10-3 = 10,1 (мА),

*I*д = 10·0,1мА = 1 (мА).

Сопротивление резисторов делителя напряжения в цепи базы транзистора рассчитывается по формуле



*U*б0 = *U*бэ + *U*э0 = *U*бэ *+ I*к · *R*э(21).

При использовании в усилителе кремниевых транзисторов, значения напряжений база – эмиттер можно принять равным:

*U*бэ = 0,6В, тогда

,



.



По номиналам

*R*18 = 10 (кОм),

*R*19 = 1,1 (кОм).

Нелинейные искажения усилителя определяется выходным каскадом, ко входу которого приложено наибольшее напряжение сигнала, точнее нелинейностью характеристик транзистора этого каскада

*R*21 = *R*вых = 50 (Ом).

**4.2 Расчет предварительного усилителя (ПУ)**

ПУ усиливает электрический сигнал, обеспечивая наибольшее отношение сигнал/шум. Основные требования, предъявляемые к ПУ – минимальные шумы, максимальный частотный и динамический диапазоны. Как уже рассматривалось ранее, для удовлетворения этих требований входной каскад выполнен по схеме эмиттерного повторителя, который обладает этими свойствами.

Второй и третий каскады для обеспечения заданного частотного и динамического диапазонов выполняются по каскодной схеме. Весь ПУ охвачен общей ООС, что позволяет увеличить частотный и динамический диапазоны без ухудшения чувствительности.

Проведем расчет каскадов усиления по постоянному току. Расчет К – цепи по постоянному току включает выбор режимов транзисторов микросборки и входного каскада, а также расчет сопротивлений резисторов, обеспечивающих выбранные режимы и их стабильность, при этом мощности потребляемые от источника питания и сигнала должны быть минимальными.

Как уже было оговорено, входным выбирается маломощный транзистор СВЧ диапазона с *fm* > (4÷5) ГГц, например, 2Т 3114 В-В.

Он, а также транзисторы, входящие в состав СВЧ микросборки М45121–2, имеют следующие основные параметры

*Р*к доп = 100 мВт,

*I*к доп = 20 мА,

*U*к доп = 15 В,

τк = 1,5 нс,

*f*г = 5 ГГц,

*h*21 = 40 – 330,

*С*к = 0,6 пФ.

Из ранее рассмотренных соображений относительно широкополосности и собственных шумов ФПУ ток коллектора I каскада равен 2 мА. Ко II и III каскадам менее жестки шумовые требования и с целью улучшения частотных свойств, ток коллектора выбран в пределах 5 мА. Для расчета шумов величина сопротивления нагрузки фотодиода по переменному току *R*г в данной схеме рассчитывается как

*R*г = *R*2 || *R*4 || *R*1 = 1кОм.

При *R*г = 1кОм шумы *R*г и тока базы транзистора соизмеримы, если

*I*б = 20мкА



При приравнивании

,



получим

, при *R*Г = 1кОм,



*I*б = 20мкА.

Находим и наносим на схему (рис. 4.2) значение напряжения на всех узлах схемы относительно общего (заземленного) полюса источника питания. При этом следует учесть, что величина нагрузочных резисторов II – го и III – го каскадов (*R*7 и *R*15) должны быть не более 75Ом. Иначе ухудшатся частотные свойства усилителя. Исходя из этого, при коллекторных токах 5мА, на этих резисторах будет падение напряжения около 0,5 В.

Коэффициент передачи цепи обратной связи по постоянному току вычисляется по следующей формуле

, где



*R*вх(*VT*4) – входное сопротивление каскада с ОК.

*R*вх = *h*11+*R*э(1+*h*21).

Так как *R*вх » *R*1 и им можно пренебречь, тогда

.



Напряжение на базе *VT*1

*U*б0,1 = *U*к2 · *В*

*U*б0,1 = 11,5 · 0,37 = 4,2В, где

*U*б0,1 = *U*бэ,1 + *U*бэ,3 + *U*э,3.

При использовании в усилителе кремниевых транзисторов, значение напряжения база – эмиттер можно принять равным (0,6÷0,7) В.

Выбираем: *U*бэ,1 = 0,6 В, *U*бэ1,3 = 0,7 В. Тогда *U*э,3 = 4,2–1,3 = 2,9 В.

Напряжение на эмиттере первого транзистора находим следующим образом

*U*э,1 = τб0,1 – τбэ,1,

*U*э,1 = 4,2–0,6 = 3,6В.

Для широкополосного усилителя выбираем *U*э,2 = 4В

Следовательно

*U*э3 = *U*к,2 = *U*кэ,2 – *U*э,3,

*U*кэ,3 = 11,5 – 4 – 2,9 = 4,6 В.

Напряжение на базе второго транзистора

*U*б0,2 = *U*к,3 + *U*бэ,2 = (*U*э,3 + *U*кэ,3) + *U*бэ,2,

*U*б0,2 = (2,9 + 4,6) + 0,7 = 8,2 В.

Так как каскады II и III однотипны то постоянные напряжения транзисторов *T*4 и *T*5 соответствуют постоянным напряжениям транзисторов *T*2, *T*3 ИМС.

Зная все напряжения в схеме и токи каскадов сопротивление резисторов схемы

.



По номиналу принимаем *R*9 = *R*16 = 510 Ом

.



Для достаточной стабильности режима транзисторов *Т*2, *Т*4, *Т*5 ток, протекающий через делитель напряжения в цепи базы *I*д берем равным 1мА.

Сопротивление делителя в цепи базы *VT*1 должны с одной стороны удовлетворять условию *R*г = *R*2 || *R*4 || *R*1 = 1кОм, а с другой стороны, обеспечивать необходимое напряжение смещения (4,2 В).

Величина *R*2, исходя из смещения на *T*3 и тока коллектора, *VT*1 выбрана 1,8 кОм, следовательно



(*R*1||*R*4 = x)

x · 1,8 = x + 1,8;

0,8x = 1,8;

x = 2,25.

Решив систему уравнений, найдем необходимые величины резисторов *R*1 и *R*4



Выберем: *R*1 = 3,6 кОм и *R*4 = 6,2 кОм.

Сопротивления резисторов делителя напряжения в цепи базы *Т*2, *Т*6 рассчитываются по следующим формулам

.



Эти резисторы выберем равными 7,5 кОм,

.



Примем номиналы этих резисторов равными 3,9 кОм.

Для расчета базового делителя транзистора *Т*5 используется аналогичная методика. Ток делителя выберем равным 1 мА, что соответствует номиналам резисторов



Ближайшими к этим будут номиналы: 8,2 кОм и 3,6 кОм, соответствующие резисторам *R*11 и *R*12.

Местную ОС в цепи эмиттера *Т*3 создает цепочка *R*10; *C*5, а также *R*17; *C*7 в III – ем каскаде ФПУ.

Необходимое значение ОС: *F* = 1 + *S* · *R*эос.

Коэффициент усиления усилителя без ОС (*К*) должен быть достаточным для обеспечения заданного значения *К*, при требуемой величине *F*



По номиналу *R*ЭОС(*R*10) = 22 Ом, тогда требуется глубина местной обратной связи равной

*F* = 1 + 0,2 · 2,2 = 5,5.

Цепь Г – образных RC фильтров в цепи питания используется из условия выполнения двух требований:

– минимальные потери напряжения источника питания;

– обеспечение устранения самовозбуждения из-за паразитной обратной связи между каскадами на сопротивлении питающих проводов и внутренним сопротивлением источника питания.

**4.3 Расчет частотных характеристик цепи усилителя**

Определим граничную частоту усиления ФПУ. Коэффициент усиления К цепи, как функцию передачи информации линейной цепи, представить в операторной форме:



где *U*2(*p*) – напряжение на выходе фотоприемного устройства; *U*1(*p*) – напряжение на нагрузке ФД т.е. на комплексном сопротивлении по переменному току, действующему между базой входного транзистора и общим проводом; *К*(*р*) – общий коэффициент усиления всех каскадов ФПУ, кроме выходного; *J*ф – фотопоток сигнала; *Z*вх,*F* – входное сопротивление ФПУ при действии общей ОС, охватывающей первых 2 каскада.

В нашем случае *К*(*р*) = *К*1(*р*) · *К*2(*р*) и *К*(*р*) = *К*1 · *К*2 = *К*2, так как *К*1 = 1 и усиление этих каскадов можно считать в нашем частотном диапазоне постоянным.

Тогда при использовании формулы Блеймана, найдем *Z*вх,*F*

,



*F*кз = 1, *F*xx = 1 + *к*β(*р*), где



В результате получим

.



1+ *B*0 · *K* = *F*0 – глубина местной гальванической обратной связи.

*В*0 – коэффициент передачи по петле обратной связи.

Частота верхнего среза для входных каскадов ФПУ (первого и второго) при действии ООС равна



Определим напряжение шумов на выходе ФПУ

,



*I* = *IR*Г + *I*б + *I*д0 = 50мкА + 20мкА + 180мкА = 0,25мА/

Чтобы пренебречь шумами измерительного приемника, которые в полосе частот 20 кГц составляет 0,5 мкВ, увеличим напряжение шумов на выходе ФПУ в 3 раза



**4.4 Оптимизация характеристик цепи ПУ**

Программы моделирования электрических цепей (такие как OrCAD PSPICE, Micro-Cap, Electronics Workbench) во многих задачах обеспечивают удовлетворительный анализ переходного процесса. Однако в некоторых случаях расчет занимает очень много времени и точность может быть значительно ниже, чем необходимо, так как множество точек переходного процесса необходимо вычислить с помощью традиционной процедуры интегрирования.

В программе FASTMEAN используются новые решения матричных рекуррентных уравнений. Этот алгоритм совершенно отличается от обычно используемых в программах. Вместо отдельных точек функции переходного процесса вычисляются коэффициенты разложения в ряд Тейлора в матричной форме. Это позволяет найти значение функции для любого момента времени внутри заданного шага, который может быть больше (в сотни, тысячи раз и более), чем обычный шаг в широко используемых программах. В некоторых случаях, переходный процесс во всем временном интервале может быть рассчитан за один шаг.

Увеличение числа членов разложения в ряд Тейлора вместо увеличения числа маленьких шагов позволяет существенно уменьшить время расчета и, в то же время, увеличить его точность. Однако, максимальное число членов ряда Тейлора ограничено возможностями современного компьютера и составляет 70–80 членов. Вычисление большего числа членов может привести к большей ошибке, чем ожидается, или к совершенно неверному результату (при вычислении более 100 членов), но это происходит не по вине метода, а из-за ограниченности разрядной сетки компьютера и, следовательно, из-за ошибок округления.

Математические основы этих решений разработаны проф. Артымом А.Д. и проф. Филиным В.А. (Россия, г. Санкт-Петербург, Государственный Университет Телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, кафедра Теории Электрических Цепей). Впоследствии, проф. Артым, проф. Филин и их коллеги разработали совершенно новую программу и применили ее для решения серьезных практических задач. Данная версия *FASTMEAN* предназначена для привлечения внимания специалистов и научных коллективов ВУЗов, интересующихся проблемами анализа сложных переходных процессов в цепях (также с переключениями), которые трудно рассчитать с большой точностью и скоростью традиционными методами.

На панели инструментов есть 3 группы элементов: Основные, Источники и Активные. Выберите одну из них, и появится окно с доступными элементами. Выберите нужный нажатием на соответствующую кнопку и поместите его на схему щелчком левой кнопки мыши. После того, как вы закончили добавлять элемент, нажмите правую кнопку мыши или соответствующую кнопку в окне.

Вы можете легко изменить параметры элемента, дважды щелкнув на нем мышью и введя необходимые значения в окне диалога. Вы можете вращать и отображать элемент: выделите его и нажмите нужную кнопку на панели инструментов. Используйте команды Вырезать (*Ctrl*+*X)*, Копировать (*Ctrl*+*C*), Вставить (*Ctrl*+*V*) для работы с буфером обмена. Когда Вы выделяете элементы и нажимаете Вырезать или Копировать, программа помещает их в буфер обмена, используя свой формат, и как точечный рисунок, так что Вы можете использовать изображение схемы в других приложениях.

Вы можете соединить элементы проводами с помощью мыши, перетаскивая указатель от одного вывода к другому. Чтобы соединить более двух проводов вместе, используйте Соединитель (группа Основных элементов). Можно подтащить провод от вывода к другому проводу – программа автоматически соединит их, добавив Соединитель.

Чтобы изменить масштаб, используйте команды: Увеличить масштаб (*Ctrl*++) и Уменьшить масштаб (*Ctrl*+-).

После того, как Вы создали схему, ее можно сохранить, используя команды меню Файл.

Группы элементов: Основные, Источники и Активные элементы (линейные модели).

Основная группа включает:

– Резистор. Параметры: сопротивление(*R*) в Омах;

– Индуктивность. Параметры: индуктивность(*L*) в Гн; начальные условия (НУ) в А;

– Конденсатор. Параметры: емкость(*C*) в Ф; начальные условия(НУ) в В;

– Унистор. Параметры: крутизна(*S*) в См;

– Идеальный трансформатор. Параметры: коэффициент трансформации (*n*);

– Соединитель. Для соединения более двух проводов вместе;

– «Земля». Для обозначения нулевого узла. Вы должны присоединить «Землю» к схеме, чтобы выполнить анализ.

Группа источников включает:

– Источник напряжения. Параметры: Тип источника – постоянный, гармонический или меандр.

В зависимости от типа источника доступны различные параметры:

а) Для постоянного: напряжение(*U*0) в В;

б) Для гармонического: амплитуда(*U*0) в В; частота(*f*) в Гц; начальная фаза(*phi*0) в градусах; Время окончания радиоимпульса в сек (по выбору).

в) Для меандра: частота (*f*) в Гц; длительность в%; напряжение (*U*0) в В; смещение в В.

– Источник тока. Параметры: Тип источника – постоянный или гармонический. В зависимости от типа источника доступны различные параметры. Для постоянного: ток (*I*0) в А. Для гармонического: амплитуда (*I*0) в А; частота (*f*) в Гц; начальная фаза (*phi*0) в градусах; Время окончания радиоимпульса в сек (по выбору).

– Источник тока управляемый напряжением (ИТУН). Параметры: проводимость(*g*) в См;

– Источник напряжения управляемый напряжением (ИНУН). Параметры: коэффициент управления (*k*) в В/В;

– Источник тока управляемый током (ИТУТ). Параметры: коэффициент управления(*h*) в А/А;

– Источник напряжения управляемый током (ИНУТ). Параметры: сопротивление (*r*) в Омах;

– Гиратор. Параметры: крутизна (*Sg*) в См.

Группа активных элементов включает:

а) Лампа. Параметры: крутизна (*S*) в См; внутреннее сопротивление(*Ri*) в Омах;

б) Биполярный транзистор *n-p-n* типа. Параметры: коэффициент передачи тока (*alpha*); омическое сопротивление эмиттера(*Re*); омическое сопротивление коллектора (*Rc*); омическое сопротивление базы (*Rb*);

в) Идеальный операционный усилитель (ОУ). Параметры: коэффициент усиления (*k*) в В/В.

Для всех элементов, кроме резистора, за положительное направление отсчета тока принимается направление от узла с большим номером к узлу с меньшим номером.

Для всех элементов за положительное направление отсчета напряжения принимается направление от узла с меньшим номером к узлу с большим номером.

Замечание. Принимается, что нулевой узел имеет наибольший номер.

Программа показывает сообщение об ошибке в следующих случаях:

– «Схема физически некорректна», если Ваша схема некорректна (например, 2 источника тока, 2 индуктивности или индуктивность и источник тока, соединенные последовательно);

– «Ошибка: Источник напряжения соединен параллельно с конденсатором»;

– «Ошибка: 2 источника напряжения соединены параллельно»;

– «Ошибка: 2 конденсатора соединены параллельно», если соединить параллельно 2 источника напряжения, 2 конденсатора или конденсатор и источник напряжения;

– "…: элемент закорочен», если элемент закорочен. Так как он не влияет на токи или напряжения в цепи, его следует убрать;

– "…: элемент не соединен», если элемент разомкнут. Вы можете избежать этого сообщения, присоединив выводы элемента к Соединителям, но только в том случае, если это будет физически корректно (так можно сделать с резистором, но нельзя с индуктивностью);

– «Добавьте землю к Вашей схеме.», если в схеме нет земли. Вы должны присоединить землю к схеме, чтобы выполнить анализ.

**5. Конструктивная разработка фотоприемного устройства**

Разработка конструкции ФПУ проводилась с целью получения требуемых технических характеристик устройства самым целесообразным способом с точки зрения техники и экономики.

В результате выбрана следующая конструкция: устройство размещается во фрезерованном латунном корпусе размерами 70×55×30 мм, что обеспечивает прочность конструкции, надежную экранировку от помех и наводок, играет роль теплоотвода.

На современном этапе развития РЭА монтируют на печатных платах, что дает возможность механизировать и автоматизировать процесс сборки РЭА, повышает ее надежность, облегчает ремонт, обеспечивает повторяемость монтажа от образца к образцу.

Электрическая схема размещается на плате, которая изготавливается из листового электроизоляционного материала с наклеенной с одной стороны медной фольгой.

Процесс выделения токоведущих проводников осуществляется путем травления в специальных растворах. Необходимая топология печатной платы задается рисунком лакового слоя, наносимого на фольгу и предохраняющая отдельные ее участки (будущие токоведущие дорожки) от соприкосновения с реагентом.

Схема выполняется по гибридно-пленочной технологии.

Сопротивления напыляются, а полупроводниковые приборы и емкости выполняются навесными. Для изоляционного основания выберем стеклотекстолит, как достаточно прочный в механическом плане и имеющий низкую проводимость в электрическом плане материал.

Толщина платы 2,5 мм, что достаточно для получения механической жесткости готовой печатной платы и ее размеров. Диаметр отверстий в печатной плате должен быть больше диаметра вставляемого в него вывода радио детали, что обеспечивает возможность свободной установки радио элементов. Отверстия на плате располагаются таким образом, чтобы расстояние между краями отверстий было не менее толщины платы. Иначе эта перемычка не будет иметь достаточной механической прочности. Контактные площадки, к которым будут припаиваться выводы высокочастотных транзисторов, необходимо делать прямоугольными.

Разводка печатных проводников делается таким образом, чтобы они имели минимальную длину. При разработке усилителя, работающего на частотах выше 100 МГц необходимо предусматривать максимальное удаление друг от друга входных и выходных радиоэлементов. Такая технология изготовления позволяет снизить трудоемкость сборки усилителя, повысить срок службы.

Фотодиод и высокочастотные контакты находятся в уплотнительных отверстиях в стенках корпуса.

Готовая печатная плата устанавливается в корпусе, который наглухо закрывается жестяной крышкой. Стык пропаивается, что обеспечивает надежную защиту от наводок и помех. На этом корпусе также установлен проходной конденсатор, обеспечивающий ввод в конструкцию питающего напряжения.

**6. Безопасность жизни и деятельности человека**

**6.1 Анализ условий труда**

Лаборатория, используемая для выполнения дипломного проекта, находится на 4 этаже 5 этажного здания и имеет размеры 8×6×4 м. В помещении установлены 5 ПЭВМ и лазерный принтер.

Количество работающих: 3 разработчика и 2 оператора ЭВМ. Используемое электропитание лаборатории: электросеть трехфазная четырехпроводная напряжением 380/220В с глухозаземленной нейтралью, переменного тока частотой 50Гц.

Площадь помещения составляет 48 м2, объем – 192 м3. При этом, на каждое рабочее место с ПЭВМ приходится 9.6 м2 площади и 38.4 м3 объема, что соответствует нормам ДНАОП 0.00–1.31–99, 6 м2 и 20 м3 соответственно.

Помещение, с находящимся в нем оборудованием и персоналом, представляет собой систему «человек – машина – среда» (ЧМС). Элементы системы ЧМС условно разделены на функциональные части, согласно тем действиям либо операциям, которые они выполняют.

Выделим систему «Человек-Машина-Среда» (ЧМС), ограниченную помещением лаборатории, элементами которой являются:

«Человек» – 5 работающих -3 разработчика и 2 оператора ЭВМ;

«Машина» – 5 ПЭВМ, в состав одной из которых входит принтер, находящиеся в лаборатории;

«Среда» – производственная среда в помещении лаборатории.

Каждый элемент «человек», состоящий из 3 разработчиков и 2 операторов ЭВМ делится на три функциональные части:

– Ч1 – рассматривается как человек, управляющий машиной;

– Ч2 – человек, который рассматривается с точки зрения его воздействия на окружающую среду (за счет тепло- и влаговыделения, потребления кислорода и др.);

– Ч3 – человек, который рассматривается с точки зрения его психофизиологического состояния под воздействием факторов, влияющих на него в производственном процессе.

Элемент «машина» делится на три части:

М1 – выполняет основную технологическую функцию (воздействие на предмет труда);

М2 – выполняет функцию аварийной защиты;

М3 – служит источником вредных воздействий на человека и окружающую среду.

Элемент «среда» рассматривается с точки зрения изменений, которые возникают под воздействием внешних факторов (температура, влажность, шум, освещенность, и др.).

Структура системы «Ч-М-С» для рассматриваемого помещения представлена ниже на рис. 6.1. В таблице 6.1 приведены связи в системе «Ч-М-С».

Согласно ГОСТ 12.0.003–74 в данной системе «ЧМС» имеют место физические и психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, биологические и химические факторы отсутствуют.

Физические ОВПФ:

* повышенная или пониженная влажность воздуха, обусловленная источниками избыточного тепла в помещении (оборудование, люди, осветительные приборы), приводит к ощущению дискомфорта, ухудшению самочувствия оператора.
* повышенная или пониженная температура воздуха рабочей зоны является причиной дискомфорта, снижается производительность труда;
* повышенный уровень шума на рабочем месте, приводит к головной боли, ослаблению внимания, ощущению дискомфорта, а значит снижению производительности труда;
* недостаток естественного света, обусловленный недостаточной площадью световых проемов, приводит к ухудшению зрения, уменьшению работоспособности человека;
* недостаточная освещённость рабочей зоны, зависящая от системы освещения, вызывает быстрое утомление и снижает работоспособность человека;
* повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека, может привести к поражению человека электрическим током;

– повышенный уровень ионизирующих излучений (рентгеновское излучение) в рабочей зоне, вызываемый работой ЭЛТ ПЭВМ, являются причиной возникновения головных болей, заболеваний периферийной кровеносной системы.

Психофизиологические ОВПФ:

* эмоциональные перегрузки, определяемые дефицитом времени и информации с повышенной ответственностью, приводят к быстрой утомляемости;
* монотонность труда, определяемая повторяющимися операциями на клавиатуре, уменьшает производительность труда и приводит к утомлению;
* перенапряжение зрительных анализаторов приводит к ухудшению зрения, вызывает быстрое утомление и снижает работоспособность человека;
* статические перегрузки, обусловленные длительным пребыванием в одной позе, приводят к снижению работоспособности, утомлению, эмоциональным перегрузкам.

Таблица 6.1 – Направление и содержание связей в системе Ч-М-С

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № | Направление связей | Содержание связей |
| 1 | Ч2-С | Влияние человека как биологического объекта на среду Происходит обмен веществ (кислород – углекислый газ, выделение тепла). |
| 2 | С–Ч1 | Влияние среды на качество работы оператора, разработчика |
| 3 | С–Ч3 | Влияние среды на психофизиологическое состояние организма человека. На физиологическое состояние человека влияют микроклимат, освещение (естественное, искусственное) и т.д. |
| 4 | М1-Ч1  М2-Ч1 | Информация о состоянии машины, об объекте труда, которые обрабатываются человеком |
| 5 | Ч1-М1  Ч1-М2 | Влияние человека на управление техникой и ее настройкой |
| 6 | ПТ–М1 | Информация о состоянии предмета труда, которое получает машина |
| 7 | М1-ПТ | Влияние машины на предмет труда (разрабатываемую методику) |
| 8 | М3-С | Влияние машины на среду (повышенный шум, повышенная температура) |
| 9 | Ч3-Ч1 | Влияние состояния организма человека на качество его работы |
| 10 | Ч3-Ч2 | Влияние психофизиологического состояния на интенсивность обмена веществ между организмом и средой |
| 11 | М2-М1 | Аварийные управляющие воздействия |
| 12 | М1-М2 | Информация необходимая для создания аварийных управляющих влияний |
| 13 | Ч3-Ч3 | Воздействие разработчиков, операторов друг на друга в процессе трудовой деятельности |

В табл. 6.2 помещены результаты оценки факторов производственной среды трудового процесса в лаборатории.

Таблица 6.2 – Оценка факторов производственной среды и трудового процесса в научно-исследовательской лаборатории.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Факторы  производственной среды  и трудового процесса | Значение фактора  (ПДК, ПДУ) | | 3 класс – опасные и вредные условия труда | | | Продолжительность действия фактора за смену, % |
| Норма | Факт | 1с | 22 с | 3с |
| 1. Шум, дБ | 50 | 50 | - | - | - | 87 |
| 2. Неионизирующие излучения:  а) электрическая составляющая  в диапазоне 5 Гц-2 кГц, В/м  в диапазоне 2–400 кГц, В/м  б) магнитная составляющая  в диапазоне 5 Гц-2 кГц, нТл  в диапазоне 2–400 кГц, нТл | 25 | 19 | - | - | - | 87 |
| 2,5 | 2,1 | - | - | - | 87 |
| 250 | 80 | - | - | - | 87 |
| 25 | 10 | - | - | - | 87 |
| 3. Электростатич. потенциал, В | 500 | 90 | - | - | - | 87 |
| 4. Рентгеновское излучение, мкР/ч | 100 | 24 | - | - | - | 87 |
| 5. Микроклимат:  температура воздуха (летом), 0С  – скорость движения воздуха, м/с  – относительная влажность, % | 23–25 | 30 | - | =+ | - | 100 |
| 0,1 | 0,1 | - | - | - | 100 |
| 40–60 | 48 | - | - | - | 100 |
| 6. Освещение:  естественное, КЕО, %  искусственное, лк | 2 | 4,2 | - | - | - | 80 |
| 300 | 358 | - | - | - | 40 |
| 7. Тяжесть труда:  мелкие стереотипные движения кистей и пальцев рук, тыс. за смену | 40000 | 25000 | - | - | - | 70 |
| 8. Напряженность труда  а) внимание, продолжительность  сосредоточения, в% от смены  б) напряженность зрительных анализаторов, категория работ  в) эмоциональное и интеллекту-  альное напряжение | 75 | 70 | - | - | - | 70 |
| Средней  точности | Высоко-точная | ++ |  |  | 87 |
| Работа по индивидуальному графику | Работа по индивид. графику | - | - | - | 87 |
| 9. Сменность | Односмен-ная работа | Односменная | - | - | - | - |

При оценке определен класс и степень вредности рабочего места – третий класс вторая степень вредности, так как температура воздуха в помещении существенно превышает норму.

Исходя из оценки, выберем доминирующим вредным производственным фактором повышенную температуру воздуха рабочей зоны, и для этого фактора разработаем необходимые организационные и технические мероприятия, целью которых является обеспечение требуемого значения температуры воздуха в лаборатории.

**6.2 Техника безопасности**

По степени опасности поражения электрическим током, согласно ПУЭ-85 помещение лаборатории относится к классу помещений без повышенной опасности, поскольку нет признаков, свойственных помещениям с повышенной опасностью и особо опасных.

Согласно требованиям ПУЭ, ГОСТ 12.1.030–81 для обеспечения безопасности в трехфазной четырехпроводной сети напряжением до 1000 В с глухозаземленной нейтралью выполнено зануление, суть которого заключается в преднамеренном электрическом соединении с нулевым проводом сети корпусов всех ПЭВМ и электрооборудования, поскольку они могут оказаться под напряжением при случайном замыкании фазы на корпус. При занулении, замыкание на корпус ПЭВМ превращается в однофазное короткое замыкание и поврежденный участок сети автоматически отключается. Для автоматического отключения поврежденного участка применен автоматический выключатель. Время отключения не более 0,2 с.

Линия электросети для питания ПЭВМ и измерительных приборов и устройств выполнена как отдельная трехпроводная сеть, путем прокладки фазного, нулевого рабочего и нулевого защитного проводников. Площадь сечения нулевого рабочего и нулевого защитного проводников не меньше площади сечения фазного проводника.

Для уменьшения напряжения, приложенного к телу человека при случайном замыкании на корпус электрооборудования, выполнено повторное заземление нулевого провода. Сопротивление повторного заземления не должно превышать 30 Ом.

Необходимо не реже 1 раза в год проводить контроль изоляции на участках нуль-фаза, фаза-фаза и фазанулевой защитный проводник. Сопротивление изоляции должно быть не менее 500 кОм. Измерения активного сопротивления изоляции проводят при отключенном электропитании с помощью мегаомметра.

Согласно требованиям ДНАОП 0.00–4.12–99 необходимо проводить вводный, первичный на рабочем месте, повторный инструктажи, а при необходимости также внеплановый:

– вводный инструктаж необходимо проводить при поступлении на работу независимо от стажа работы и квалификации поступающего, инструктаж организует и проводит служба охраны труда предприятия, в ходе инструктажа следует ознакомить инструктируемого с основными вопросами охраны труда на предприятии, режимом работы;

– первичный инструктаж на рабочем месте организует и проводит руководитель структурного подразделения предприятия; в ходе инструктажа следует ознакомить инструктируемого с ОВПФ, которые могут возникать на рабочем месте и способам защиты от них;

– аналогично с первичным инструктажем с периодичностью в 6 месяцев проводить повторные инструктажи;

– внеплановый инструктаж проводить при изменении условий труда, введения в эксплуатацию новой техники.

Содержание инструктажей должно соответствовать требованиям  
ДНАОП 0.00–4.12–99. Факты инструктажей фиксировать в соответствующих журналах инструктажей с подписями инструктируемого и инструктирующего.

**6.3 Производственная санитария и гигиена труда**

## Работа в лаборатории выполняется сидя и не требует систематического физического напряжения. Согласно ДСН 3.3.6.042–99 работа разработчиков относится к категории легких физических работ – Iа, энергозатраты организма человека составляют 90–120 ккал/ч и для данной категории установлены оптимальные и допустимые нормы микроклимата, приведенные в таблице 4.3.

Таблица 6.3 – Оптимальные и допустимые нормы микроклимата

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Период  Года | Температура воздуха, град. С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
| Оптимальные нормы параметров микроклимата | | | |
| Холодный | 22–24 | 40–60 | не более 0.1 |
| Теплый | 23–25 | 40–60 | не более 0.1 |
| Допустимые нормы параметров микроклимата | | | |
| Холодный | 21–25 | 40–60 | не более 0,1 |
| Теплый | 22–28 | 40–60 | 0,1–0,2 |

Для обеспечения установленных норм микроклимата в помещении лаборатории применяется в холодный период года отопление, а в теплый период года следует применять кондиционирование воздуха.

Фактическое значение температуры в помещении летом превышает нормированное значение на 5 градусов. Для нормализации температуры необходимо выполнить расчет кондиционирования воздуха и установить систему кондиционирования. Кондиционирование подразумевает предварительную подготовку воздуха – его охлаждение.

Источниками избыточного тепла в помещении являются люди, электрооборудование, источники искусственного света, солнечная радиация. Определим эти слагаемые.

Количество тепла , излучаемое оборудованием, равно



(ккал/ч), (6.1)



где – суммарная мощность установленного оборудования, согласно паспортным данным (2,5кВт);



– коэффициент использования мощностей (0,8);



– коэффициент одновременной работы оборудования (1).



Тепло , излучаемое людьми, равно



(ккал/ч), (6.2)



где – количество работающих в помещении, =5;



– количество тепла, выделяемое человеком (для категории а-120 ккал/ч).



Тепло , излучаемое источниками искусственного света, определяется



(ккал/ч), (6.3)



где – коэффициент, учитывающий тепловыделение при освещении (для люминесцентных ламп 0,05 ккал/м2 лк);



– минимальная нормированная освещенность рабочей поверхности (для разряда зрительной работы =300 лк);



– площадь помещения (48 м2).



Тепло , выделяемое за счет солнечной радиации, равно:



(ккал/ч), (6.4)



где – удельное количество тепла, поступающего через единицу площади окна (86 ккал/ч при ориентировке окон на север);



– поправочный коэффициент, зависящий от вида остекленения (1,15 – для окон с двойными переплетами);



– площадь окон (10 м2).



Количество тепла, передаваемое в помещении через стены, примем равным нулю (кирпичные стены).

Общее количество теплоты вычисляем как сумму результатов, полученных в (6.1) – (6.4)



(ккал/ч). (6.5)



Требуемый воздухообмен будет равен



(м3/ч), (6.6)



где – удельная теплоемкость воздуха (0,24 ккал/кг·град);



– плотность воздуха (1,29 кг/м3);



– температура удаляемого воздуха (25 0С);



– температура приточного (с кондиционера) воздуха (19 0С).



Требуемая производительность по холоду с учетом наружной температуры 37 0С будет равна



(ккал/ч).(6.7)



С учетом полученных результатов выбираем мульти-сплит-систему LG LM-3063H3L с тремя внутренними блоками (производительность вентиляторов – 1410 м3/ч, производительность на охлаждение – 8,2 КВт, которая может обеспечить для теплого времени года требуемые воздухообмен и охлаждение наружного воздуха для поддержания оптимальных параметров микроклимата.

Зрительная работа проектировщика-пользователя ПЭВМ является работой высокой точности, поскольку наименьший размер объекта различения 0,3–0,5 мм и разряд зрительной работы – III.

Согласно требованиям СНиП II-4–79 величина коэффициента естественной освещенности (КЕО) должна быть равна 2%. Естественный свет проникает в помещение лаборатории через боковые окна, сориентированные на северо-восток, что соответствует требованиям. Искусственное освещение выполнено в виде прерывистых линий светильников, расположенных параллельно линии зрения операторов. Освещенность при работе с экраном в сочетании с работой над документами должна быть не менее 300 лк. Вышеназванные нормы КЕО и освещенности выполняются.

Эквивалентный уровень шума на рабочем месте в соответствии с ДСН 3.3.6.037–99 не превышает 50 дбА.

Каждое рабочее место в лаборатории соответствует требованиям ГОСТ 12.2.032–78 и ДНАОП 0.00–1.31–99. Рабочие места расположены относительно световых проемов так, чтобы естественный свет падал с левой стороны. Размещение рабочих мест в лаборатории показано на рисунке 6.2

Организация каждого рабочего места обеспечивает соответствие всех элементов рабочего места и их расположения эргономическим требованиям ДНАОП 0.00–1.31–99. Высота рабочей поверхности стола для ПЭВМ равна 800 мм, ширина стола 1200 мм, глубина стола – 800 мм. Сидение подъемно-поворотное, регулируется по высоте, углу наклона, высоте подлокотников. Правильный выбор параметров стола и сидения, позволяет снизить статические перегрузки мышц.

Для уменьшения перегрузки зрительных анализаторов экран видеотерминала расположен на оптимальном расстоянии от глаз пользователя ПЭВМ: при размере экрана по диагонали 19» – 900 мм.

Для разработчиков-проектировщиков, использующих в работе ПЭВМ устанавливается 8-ми часовой рабочий день с перерывами на 20 минут после двух часов с момента начала работы и через 1,5 и 2,5 часа по 20 минут соответственно после обеденного перерыва. Во время перерыва необходимо покинуть рабочее место, глаза не должны видеть монитор, слуховые анализаторы не должны воспринимать шумовое влияние. Для снятия утомления во время рабочего процесса следует выполнять физические упражнения и упражнения для глаз.

8000

6000

**6.4 Пожарная профилактика**

В помещении лаборатории имеются твердые сгораемые материалы, поэтому производство по пожаровзрывоопасности в соответствии со  
СНиП 2.09.05–85 [4] относится к категории В.

В соответствии со СНиП 2.01.02–85 [11] помещение лаборатории относится ко II степени огнестойкости, выполнено преимущественно из кирпича, которые относятся к негорючим материалам. По взрывоопасной и пожарной безопасности рассматриваемое помещение в соответствии с ПУЭ-85 относится к классу П-IIа.

Соответственно ГОСТ 12.1.004–91 [12] пожарная безопасность обеспечивается системами предотвращения пожара и противопожарной защиты. Система предотвращения пожара представляет собой комплекс организационных мероприятий и технических средств, направленных на исключение условий возникновения пожара, и включает следующие мероприятия:

* предотвращение образования пожароопасной среды;
* предотвращение образования в пожароопасной среде источников возгорания.

Согласно ГОСТ 12.4.009–83 [13] проектом предполагается установить дымовые пожарные оповестители (например, полупроводниковый ДИП-1) по установленным нормам размещения дымовых пожарных оповестителей при установке на высоте до 3,5 м дымовые оповестители устанавливаются из расчета – 2 на 20 м2, максимальное расстояние оповестителя до стены – 4,5 м. Таким образом, в помещении лаборатории достаточно 6 оповестителей. Противопожарная защита достигается применением первичных средств пожаротушения. Для ликвидации пожара на начальной стадии предусмотрены ручные углекислотные огнетушители типа ОУ-2 (используются для тушения электрооборудования, которое находится под напряжением) – 5 шт. (из расчета два огнетушитель на 20 м2, но не меньше двух в помещении с ПЭВМ) и ящик с песком емкостью 0,15 м3. При возникновении пожара рабочий персонал эвакуируется через рабочий выход.

**7. Технико-экономическое обоснование**

**7.1 Характеристика научно-технической продукции как товара**

Происходящий в последние десятилетия бурный рост числа традиционных радиосредств и возникновение новых систем связи различного назначения (ВОСП, сотовых, транкинговых, пейджинговых и т.д.), привели к резкому усложнению электромагнитной обстановки, особенно в диапазонах ОВЧ и УВЧ. Это, в свою очередь, делает еще более сложным решение задачи электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) из-за острого недостатка свободных частотных диапазонов и необходимости их совместного использования. Вопросами радиочастотного мониторинга за специальными и общими пользователями занимается «Укрчастотнадзор». В данной НИР проводится анализ существующих методов оценки ЭМС между различными радиослужбами и разработка упрощённого метода оценки ЭМС. Осуществляется разработка программы реализующей этот метод, которая в дальнейшем может использоваться в службах радиочастотного мониторинга.

В данной работе исследуются электромагнитные взаимодействия в многочисленной (десятки тысяч) группировке разнотипных РЭС, работающих в одном регионе. Различного вида непреднамеренные помехи, порождающие проблему электромагнитной совместимости между РЭС различного назначения.

**7.2 Этапы выполнения НИР, их продолжительность**

В табл. 7.1 приведен типовой перечень этапов и работ, расчёт трудоёмкости и общей заработной платы.

Таблица 7.1 – Типовой перечень этапов исследовательских работ и примерное их соотношение

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование этапов и содержание работ | Исполнитель | Продолжительность  работы / день | Трудоемкость, чел./дней | Средняя заработная плата, грн. | Сумма зарплаты,  грн. |
| Подготовительный этап  Разработка и утверждение технического задания: | ответственный исполнитель | 2 | 2 | 18,18 | 36,36 |
| – составление календарного графика работ; | ответственный исполнитель | 1 | 1 | 18,18 | 18,18 |
| – подбор и изучение литературы по теме; | инженер | 10 | 10 | 13,64 | 136,4 |
| – знакомство со смежными и близкими по теме работами в различных учреждениях; | инженер | 3 | 3 | 13,64 | 40,92 |
| – составление обзора по изучаемым материалам; | инженер | 2 | 2 | 13,64 | 27,28 |
| – подготовка материалов справочных данных для разработки. | инженер | 2 | 2 | 13,64 | 27,28 |
| Всего: 20% |  | 20 | 20 |  | 286,42 |
| Основной этап  Разработка теоретической части темы: |  |  |  |  |  |
| – обзор существующих методов и алгоритмов; | инженер | 5 | 5 | 13,64 | 68,2 |
| – анализ существующих методов и алгоритмов и выбор из них составляющих удовлетворяющих поставленной задаче; | инженер | 10 | 10 | 13,64 | 136,4 |
| – разработка алгоритма программы; | программист | 21 | 21 | 27,27 | 575,67 |
| Написание программы реализующей метод оценки ЭМС; | программист | 20 | 20 | 27,27 | 545,4 |
| – отладка программы; | программист | 3 | 3 | 27,27 | 81,81 |
| – прочие (непредусмотренные) работы. | инженер | 1 | 1 | 13,64 | 13,64 |
| 3. Экспериментальные работы и испытания. | инженер | 7 | 7 | 13,64 | 95,48 |
| 4. Внесение корректировок в разработки и исследования. | ответственный исполнитель | 4 | 4 | 18,18 | 72,72 |
| 5. Выводы и предложения по теме. | ответственный исполнитель | 1 | 1 | 18,18 | 18,18 |
| Всего: 50% |  | 72 | 72 |  | 1604,5 |
| Заключительный этап | ответственный исполнитель |  |  |  |  |
| Состав отчета. | инженер | 5 | 5 | 13,64 | 68,2 |
| 2. Анализ результатов проведения НИР. | ответственный | 2 | 2 | 18,18 | 36,36 |
| 3. Подбор необходимой технической документации (программы, акты испытаний и т.д.) | исполнитель | 2 | 2 | 13,64 | 27,28 |
| 4. Защита отчета на техническом совете. | инженер | 1 | 1 | 18,18 | 18,18 |
| Всего: 30% |  | 10 | 10 |  | 150,2 |
| Всего: 100% |  | 102 | 102 |  | 2040,93 |

Среднедневная зарплата рассчитывается по формуле

, (7.1)



где МДО – месячный должностной оклад сотрудника;

22 – среднее количество рабочих дней в месяце.

МДО ответственного исполнителя равен 400 грн, МДО инженера – 300 грн, МДО программиста – 600 грн. Рассчитаем среднедневную зарплату для вышеперечисленных категорий сотрудников по формуле 7.1.

;



;



.



**7.3 Расчет сметной стоимости научно-технической продукции**

Расчет сметной стоимости научно-технической продукции «разработка метода оценки ЭМС в группировках РЭС» представлен в таблице 7.2.

Срок выполнения работы: начало 01.02.2009 г. окончание: 31.03.2009 г.

Расчет цены на НИР сделан согласно с «Типовым положением с планированием, отчетом и калькуляцией себестоимость», утвержденный Постановлением КМ Украины от 20.07.96 №830.

Выходными данными для определения цены на проведение работы есть затраты по следующим статьям калькуляции:

– затраты на оплату труда рассчитанные, исходя из необходимого для выполнения работ состава и количества работников, а также их среднемесячной заработной платы, или должностных окладов, определенных согласно с действующим законодательством;

– отчисления на социальное страхование определенные в размере 37,5% от затрат на оплату труда, в том числе:

32% – отчисления на обязательное государственное пенсионное страхование согласно с Законом Украины от 26.06.97 №400/97-ВР;

2,1% – отчисления на обязательное социальное страхование согласно с Законом Украины от 26.06.97 №402/ 97-ВР;

2,9% – отчисления на социальное страхование на случай безработицы согласно Закону Украины от 26.06.97 №402/97-ВР;

0,2% – отчисления на социальное страхование на случай временной утраты трудоспособности.

Таблица 7.2. – Смета затрат на разработку НИР

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| статья затрат | Обозначение | Расчетная формула | На весь период, грн. |
| 1. Затраты на оплату труда | ЗП |  | 2040,93 |
| 2. Отчисления на социальное страхование 37,0%, в т. ч. отчисления на обязательное страхование 2,9%, отчисления на социальное страхование на случай безработицы 2,1%, отчисления на социальное страхование на случай утраты трудоспособности 0,2%. | Отч | ЗП×0,37  ЗП×0,029  ЗП×0,021 | 755,14  59,18  42,86 |
| 3. Малоценные быстроизнашивающиеся материалы | МБМ |  | 100 |
| 4. Затраты на техническое оформление |  |  | 110 |
| 5. Общехозяйственные расходы | Ро.хоз. | n×k×h | 480 |
| 6. Коммунальный налог | Нком | 1,7×k | 20,4 |
| 7. Всего затрат | Зобщ |  | 3506,47 |
| 8. Прибыль | П | Зобщ.×0,1 | 350,647 |
| 9. НДС | НДС | (Зобщ+П)×0,2 | 771,423 |
| 10. Стоимость научно – технической продукции | Стоим | Зобщ+П+НДС | 4628,54 |

В данной таблице: *n* = 40 грн.; *k* = 3 чел.; *h* = 4 мес.;

– затраты на малоценные быстроизнашивающиеся материалы определенные их потребностью для выполнения работ и ценами, действующими на момент составления калькуляции;

– затраты на техническое оформление отчета;

– общехозяйственные расходы определяются по фактическим затратам по следующим статьям затрат: водоснабжение, отопление, освещение, канализация (40 грн./чел. в месяц);

– коммунальный налог, определенный в размере 10% необлагаемого налогом минимума доходов граждан согласно с Декретом КМ Украины «Про местные налоги и сборы» от 25.05.93 №56–93;

– общие затраты приравниваются сумме по статьям 1 – 6;

– прибыль составляет 10–90% от затрат на разработку НИР (от статьи 7);

– налог на добавленную стоимость (НДС) предусмотрен в размере 20% от договорной цены (себестоимость + прибыль) согласно с Законом Украины «Про налог на добавленную стоимость» от 03.04.97 №168/97-ВР;

– себестоимость работ по договору (контракту) приравнивается сумме затрат по статьям 7–9.

Цена на научно – техническую продукцию по договору (контракту) №1 от 31.03.2009 г. с учетом прибыли и НДС приравнивается 4628,54 тыс. грн.

**7.4 Технико-экономическая и научная оценка выполненной НИР**

Дадим оценку научному, техническому и экономическому уровню НИР бальным методом оценки. Критерии и их оценки даны в табл. 5.3.

Так как для проведения НИР необходимо 102 дня, технические показатели результатов разработки на уровне лучших мировых образцов, возможности получения авторских свидетельств есть, то сумма индексов по всем факторам, согласно с таблицей 5.3, является положительной. Согласно с таблицей 5.4 разработка является весьма перспективной.

Таблица 7.3 – Критерии оценки НИР бальным методом

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Критерии оценки | Шкала критериев | Индекс  оценки |
| Время, необходимое для проведения НИР (начиная с исследования и кончая и кончая изготовлением опытного образца) | 1. 2 года и менее 2. 3 года 3. 4 года 4. 5 – 6 лет 5. 7 лет и более | \* +2  +1  0  -1  -2 |
| Технические показатели результатов разработки | 1. Выше уровня лучших мировых образцов 2. На уровне лучших мировых образцов   Ниже уровня лучших мировых образцов | +2  \* 0  -2 |
| Возможности получения авторских свидетельств на изобретение | 1. Уверенность в получении авторских свидетельств 2. Частичные возможности 3. Возможности нет | \* +2  0  -1 |

Таблица 7.4 – Оценка целесообразности проведения работ

|  |  |
| --- | --- |
| Сумма индексов | Оценка темы |
| \* Положительная (+)  Удовлетворительная (0)  Отрицательная (–) | \* Разработка весьма перспективная  Разработка перспективная  Разработка неперспективная |

Оценка научного, технического и экономического уровня НИР рассчитывается по формуле

, (7.2)



где *J* – важность работы для народного хозяйства, *J* = 2 – 5;

*n* – показатель исполнения результатов НИР; *n*=0–3

*Т*СП – техническая сложность выполнения работы, *Т*сп = 1 – 3;

*R*Р – результативность работы; *R*p=1–4

*C*НИР – стоимость работы тыс. грн.;

*t*НИР – время, необходимое для поведения НИР, дни.

Важность данной работы для народного хозяйства оцениваем в *j*=5. Так как результаты работы используются на производстве, то показатель *n*=3. Техническая сложность выполнения работы оценивается в *Т*сп=3. Так как поставленная задача была решена полностью, то *R*p=4. Стоимость работы – 4,628 тыс. грн. Время, необходимое для проведения НИР, составляет 102 дня. Произведем оценку научного, технического и экономического уровня НИР по формуле

.



Так как показатель уровня НИР ИНИР>1, то данная научная работа исследовательская работа является эффективной, имеющей высокий научный, технический и экономический уровень.

**Выводы**

Основными элементами при построении волоконно-оптической линии связи являются: усилитель – модулятор, лазерный или светодиодный излучатель, волоконно-оптический кабель, фотоприемное устройство. ВОСПИ, используемые для передачи информации, не должны ухудшать характеристики электрических сигналов, т.е. должны удовлетворять заданному динамическому и частотному диапазонам.

Для удовлетворения этих требований всей ВОСПИ необходимо обеспечить их выполнения каждым элементом ВОСПИ: лазерным излучателем, УМ, ВОК, ФПУ.

В данном дипломном проекте разработано фотоприемное устройство, обеспечивающие необходимые требования: динамический диапазон ≥ 60 дБ, малые собственные шумы.

Технико-экономический расчет показал, что разработанное фотоприемное устройство целесообразно для внедрения в эксплуатацию.