

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»

(национальный исследовательский университет)

Высшая школа «Электроники и компьютерных наук»

Кафедра «Инфокоммуникационных технологий»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
Даровских С.Н

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 г.

**Беспроводное устройство передачи и приёма сигнала гитарного звука**

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ- Д 11.03.03.2020.543.00 ПЗ

Руководитель работы  
Новиков В.В. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 г.

Автор работы  
студент группы КЭ-411  
Колыхматов М. В.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020 г.

Нормоконтролер  
Спицына В.Д. \_\_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2020г.

Челябинск  
2020

## РЕФЕРАТ

Колыхматов М. В. Беспроводное устройство передачи и приёма сигнала гитарного звука - Челябинск: ЮУрГУ, КЭ, 2020, 40 с. - Библиографический список –11 наименов.

В данном дипломном проекте рассмотрен обзор разрабатываемого беспроводного устройства передачи и приёма сигнала гитарного звука.

В дипломе так же представлены устройство электрогитары и формирование в ней передаваемого сигнала.

					<i>ЮУрГУ - Д 11.03.02.2020.543.00 ПЗ</i>			
					<b>ОГЛАВЛЕНИЕ</b>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	Беспроводное устройство передачи и приёма сигнала гитарного звука	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>								
<i>Провер.</i>		<i>Новиков В.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утверд.</i>		<i>Даровских С.Н.</i>						
						ЮУрГУ, кафедра ИКТ		

## ВВЕДЕНИЕ

### 1 Анализ исходных данных

#### 1.1 Электрогитара и её устройство

#### 1.2 Звукосниматель.

##### 1.2.1 Устройство звукоснимателя.

##### 1.2.2 Виды звукоснимателей.

##### 1.2.3 Типы звукоснимателей.

### 2 Анализ и принцип работы беспроводной гитарной радиосистемы.

#### 2.1 Радиотехнические системы (РТС)

## **ВВЕДЕНИЕ**

## **1 Анализ исходных данных**

Прежде чем переходить к анализу и разработке беспроводного устройства передачи и приёма сигнала гитарного звуканеобходимо разобраться в устройстве электрогитары и в том, как и какого типа сигнал формируется в самой электрогитаре.

### **1.1 Электрогитара и её устройство**

На текущий момент конструкция струнных инструментов включает в себя большое количество деталей и составных частей, однако и по сей день основу этой конструкции составляют две основных части: гриф и корпус.

Гриф гитары –это деталь, которая представляет собой длинную деревянную рукоятку особой формы и размера, изготовленную чаще всего клена. К этой рукоятке прижимаются металлические струны, таким образом, изменяется длина их колеблющейся части и соответственно высота извлекаемого звука. На гитарном грифе есть поперечные перегородки – лады, которые уточняют место прижатой струны, таким образом изменяя длину и частоту колебаний струны. От чего и изменяется высота звука. В стандартном строе, самой низкой частотой является открытая шестая струна с частотой соответствующей 82.41 Гц. Самой высокой частотой, в том же стандартном строе, является открытая первая струна с частотой соответствующей 329,63 Гц.

Корпус электрогитары – деталь, к которой приклеивается или же прикручивается гриф. В свою очередь корпус электрогитары имеет место под звукосниматели, которые и формируют передаваемый сигнал, и выход для подключения провода для передачи сигнала к дальнейшему устройству.

Рассмотрим звукосниматель, его устройство и принцип работы.

## 1.2 Звукосниматель

В 1831 году физик из Великобритании Майкл Фарадей экспериментальным путем обнаружил, что магнитное поле, изменяемое над катушкой, внутри которой находилась медная проволока, вызывает возникновение электрического тока. Благодаря этому открытию, с развитием технического прогресса стало возможным создание различных технических устройств, в том числе и гитарных звукоснимателей.

Звучание электрогитары во многом зависит от разных факторов. Звукосниматели равнозначно ответственны в звукообразовании, также, как и древесина, из которой изготовлен сам музыкальный инструмент. Поэтому между музыкантами и сегодня ведутся нескончаемые дискуссии на тему достоинств и недостатков различных моделей звукоснимателей.

### 1.2.1 Устройство звукоснимателя

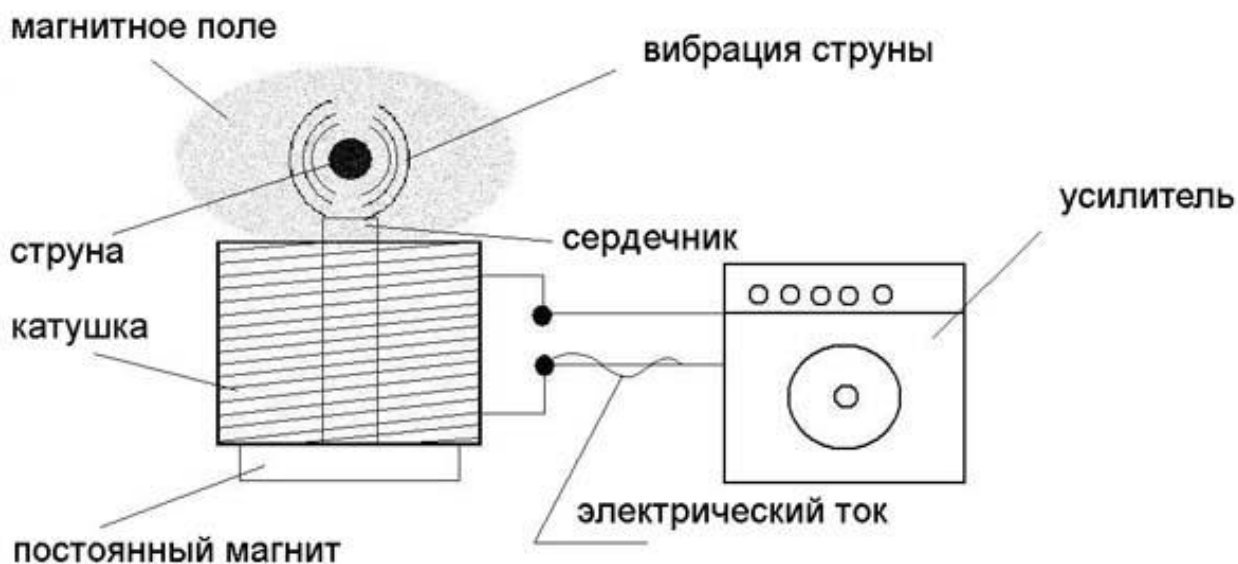


Рисунок 1 – Принцип работы звукоснимателя

Звукосниматель же представляет собой устройство, которое преобразовывает колебания, возникшие в момент удара по струне, в электрический ток. Выходной сигнал от звукоснимателей после обработки через различные звуковые эффекты подается на усилитель, а от него уже на акустические системы. Они широко применяются в бас-гитарах, электрогитарах и полуакустических гитарах. Известно также их применение в электроскрипках.

Сам процесс преобразования колебаний струны в сигнал, происходит так: струна колеблется в поле, которое создает постоянный магнит (магниты) датчика. Когда внутри катушки в проволоке, которая намотана вокруг магнитов возникает ток, то он по проводам подается в усиливающее устройство, например, комбо-усилитель или же усилитель.

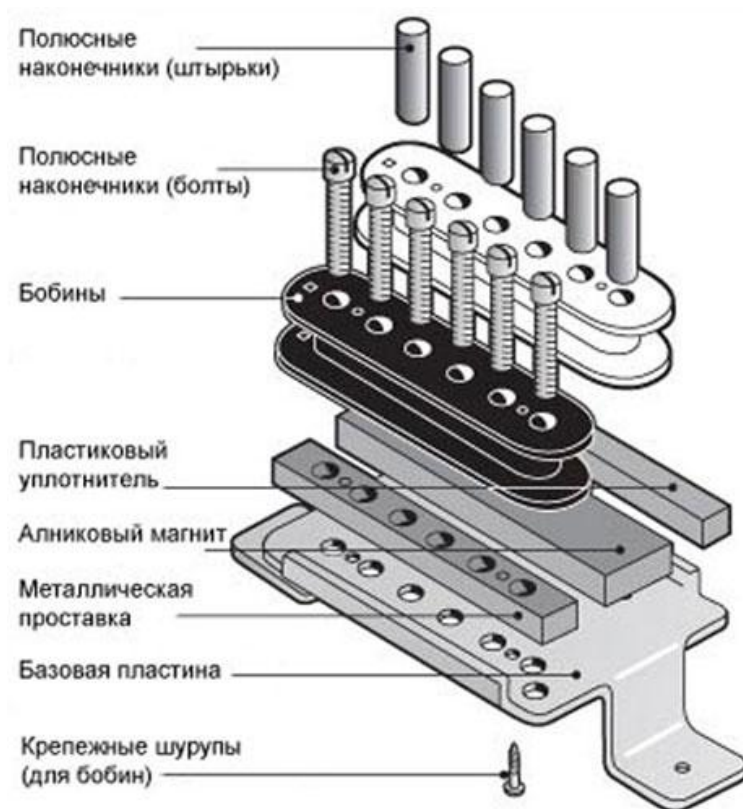


Рисунок 2 – Устройство звукоснимателя

Как правило, датчики существенно могут повлиять на окраску звука, имея различный уровень сигнала, компрессии, а также различные АЧХ (амплитудно-

частотные характеристики). Исходя из вышесказанного, можно сказать, что, заменив датчики, можно изменить и само звучание инструмента.

Звукосниматели бывают пьезоэлектрическими и магнитными. О последних, мы поговорим более подробно, так как они наиболее распространены и чаще всего устанавливаются на современные электрогитары.

С точки зрения схемотехники, магнитный звукосниматель соответствует цепи, показанной на рисунке 3.

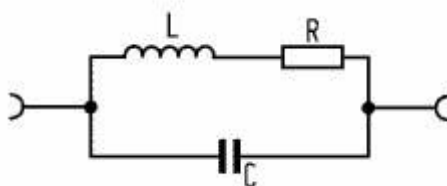


Рисунок 3 – Схематическое изображение магнитного звукоснимателя.

Катушку звукоснимателя можно описать как идеальную катушку с индуктивностью  $L$  в последовательном подключении к сопротивлению  $R$ , которое составляет от 4 до 16 кОм, и в параллельном подключении к конденсатору  $C$ . Самым важным качеством является индуктивность, которая зависит от количества витков, от магнитного материала катушки и её геометрии. Сопротивление и емкость не оказывают особого влияния и ими можно пренебречь.

### 1.2.2 Виды звукоснимателей

#### Сингл

Сингл (Single) – это звукосниматель для электрогитары с одной катушкой. Ему характерен чистый и четкий звук с мягким оттенком. Чаще всего их используют в джазе или блюзе. В конструкцию синглов входит от 4-х до шести



постоянных магнитов с количеством витков порядка 10 тысяч. Толщина проволоки составляет 0,06 мм.

Эти датчики пользуются хорошей популярностью благодаря качественному звуку. Но и не стоит забывать об одном существенном недостатке. На датчик могут воздействовать посторонние электромагнитные поля, что добавит посторонний шум или фон к основному звуку, особенно это заметно при использовании эффектов дисторшн (distortion) или овердрайв (overdrive). Данный недостаток можно устранить путем их экранирования.

На сегодняшний день многие производители выпускают синглы с эффектом хамбакера, так называемые «разделенные синглы», о нём речь пойдет чуть позже. В этом датчике две обмотки соединены в противофазе, где каждая окружает собственную половину магнитов, которые в свою очередь имеют противоположную полярность.

В конечном счете, устраняется проблема наводок и посторонних шумов, но при этом сами датчики выдают классический сингловый звук. Например, Fender Stratocaster – самая знаменитая гитара с синглами. На изображении ниже (Рис. 4) приведен принцип работы синглового датчика.



Рисунок 4 – Сингловый датчик

## Хамбакер

Хамбакер (Humbucker) – в отличие от сингла в своей конструкции имеет две катушки, которые расположены рядом или же одна над другой и всегда включены в противофазе. Такая конструкция позволила нейтрализовать шумы, создаваемые электрическим фоном, за счет суммарного сложения сигналов от двух электромагнитных катушек. Однако звук самого хамбакера не столь яркий, как у сингла, низкий и лишенный «верхов».

Причина этого недостатка заключается в том, что катушки, разнесенные в пространстве, дают два совершенно разных сигнала, а это в итоге приводит к тому, что вычитаются некоторые высокочастотные составляющие. На чистом звуке хамбакеры имеют сглаженный округлый саунд, но с использованием эффекта или педали overdrive звучат довольно агрессивно, четко и без фона. Такая гитара как Gibson Les Paul – яркий пример электрогитары с хамбакерами. На рисунке 5 приведен принцип работы хамбакера.

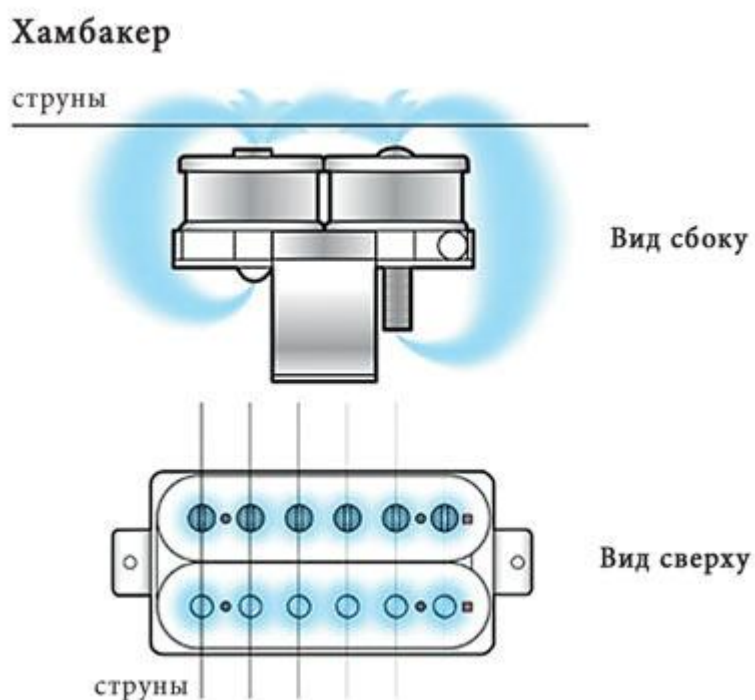


Рисунок 5 – Хамбакер

### 1.2.3 Типы звукоснимателей

#### Пассивные звукосниматели

На всех электрогитарах и бас-гитарах сигнал, получаемый на выходе, возникает вследствие того, что датчики преобразовывают энергию колеблющейся струны в сигнал, затем он попадает на вход усилителя. Однако «пассивные» датчики посылают не преобразованный сигнал на гитарный комбо-усилитель или усилитель, а вот пассивная регулировка тона и громкости в темброблоке может только ослабить уровень громкости ВЧ (высоких частот).

Но чтобы сигнал, мог подгрузить и «подогреть» усилитель, снимаемый с пассивных датчиков, на них должно быть довольно большое количество намотанных витков. А вот это в свою очередь немаленькое сопротивление и высокая индуктивность, что в следствии, вызовет эффект ослабления отдачи по НЧ и ВЧ, и делать сигнал наиболее подверженным к ухудшению в цепи педалей эффектов и в кабеле на пути к усилителю.

Хоть это и не совсем хорошо выглядит, но это одна из причин, по которой такие звукосниматели звучат сильно и мощно. Человеческое ухо наиболее восприимчиво в основном к средним частотам, в то время как НЧ и ВЧ немного ослаблены. Множество витков и сильные магниты в пассивных датчиках, могут еще и привести к необычным электромагнитным взаимодействиям между сердечниками и ближайшими струнами. Это такие явления как затухание колебания струн, на которые действует магнитное поле звукоснимателя, а также другие динамические эффекты (странное звучание, волчки и т.п.), которые никогда на активных звукоснимателях не наблюдаются.

Благодаря этим факторам пассивные звукосниматели обладают своим уникальным звучанием и чаще всего используются музыкантами в разных стилях

музыки. И о гитарном кабеле тоже не стоит забывать, так как он может сильно влиять на звук вашей электрогитары. Поэтому рекомендуется выбирать более дорогие и качественные кабели. Кабель имеет свое сопротивление и емкость, и может работать как RC-фильтр НЧ. А чем меньше значение этих показателей, тем меньше будет искажений вноситься в звук кабель электрогитары. Но чтобы почувствовать разницу между дешевым и качественным кабелем, для этого нужна очень хорошая аппаратура.

### **Активные звукосниматели**

Устройство активного звукоснимателя выглядит следующим образом. Такой звукосниматель чаще всего состоит из 2-х катушек, как у хамбакера. Схема такого датчика имеет операционный усилитель, в котором присутствует дифференциальный вход (как на микрофоне) расположенный и встроенный в корпусе звукоснимателя. Благодаря этому исключено присутствие лишних проводов с разной длиной и входной разделительной емкостью, которая присутствует во всех буферных каскадах, а это в свою очередь приводит к значительному снижению уровня шума, нелинейных искажений, наводок и исключает влияние на активный звукосниматель всех дальнейших элементов электрической схемы.

Конструктивно такой звукосниматель помещен в пластиковый корпус, где предварительно залит в вакуумной камере вязким компаундом (термоактивная, термопластическая полимерная смола). Это в свою очередь обеспечивает ему хорошую защиту от окисления. В итоге, получается довольно хороший, надежный, широкополосный, малошумящий и долгоживущий звукосниматель с прекрасными динамическими свойствами. К недостатку можно отнести то, что для его питания необходимо наличие батарейки, расположенной в корпусе электрогитары.

## **2 Анализ и принцип работы беспроводной гитарной радиосистемы**

Перед тем, как приступить к рассмотрению принципа работы и анализу беспроводных гитарных систем, необходимо рассмотреть, что такое радиотехническая система в целом.

### **2.1 Радиотехнические системы**

Радиотехническая система (РТС) – совокупность устройств, обеспечивающих выполнение конкретных относительно самостоятельных задач с использованием радиосигналов.

На первоначальном этапе своего развития РТС решали преимущественно связные задачи. Затем область их применения существенно расширилась: телевидение, радиолокация, радиоуправление, радионавигация, реализация методов измерения в различных отраслях (биологии, медицине, геологии, музыке и др.). В настоящее время РТС – это телекоммуникационные вычислительные сети различного уровня и назначения. Именно их имеют в виду, когда говорят о технических и алгоритмических средствах инфокоммуникационных технологий. Цифровые ЭВМ, различное коммуникационное оборудование вычислительных сетей (коммутаторы, концентраторы, шлюзы, маршрутизаторы, мосты, модемы и др.), различные средства связи (цифровые, аналоговые, спутниковые, мобильные, с использованием оптоволоконной технологии) – это РТС, построенные на основе современной технологической базы с использованием достижений радиотехники.

Использование в РТС электрических сигналов для представления обрабатываемой информации предполагает наличие в структуре этих систем радиотехнических устройств, которые работают с такими сигналами.

С позиций системотехники в понятие «радиотехническая система» может вкладываться различное содержание. При этом данное понятие может быть применено при рассмотрении радиотехнических устройств разного иерархического уровня, в частности:

- сложной системы управления воздушным движением, состоящей из множества различных радиолокационных станций, радиопередающих и радиоприемных устройств, оборудования борта, пункта управления и т.д.;

- радиолокационной станции сопровождения и определения параметров движения целей, состоящей из приемопередающего тракта, передающей и приемной антенн, автоматических устройств слежения и определения координат целей, индикаторных устройств, источников питания и т.д.;

- радиопередающего или радиоприемного устройств, содержащих фильтры, усилители, модулятор, детектор, преобразователи частоты, антенные устройства, источники питания и т.д.;

- устройств, обеспечивающих фильтрацию, усиление, модуляцию, преобразование частоты, детектирование и др.

В рамках системных принципов выделяют следующие особенности радиотехнических систем.

1. *Целостность* – наличие у системы единого функционального назначения. При этом свойства системы нельзя свести к сумме свойств составляющих ее частей.

2. *Иерархичность* – часть системы может рассматриваться как система более низкого уровня, в свою очередь сама система может быть частью более сложной системы.

3. *Сложность* – наличие сложных взаимосвязей между различными переменными, описывающими систему.

4. *Случайность* – влияние на характер функционирования множества внутренних и внешних случайных факторов.

5. *Автоматизация* – широкое использование в структуре РТС вычислительных средств различного уровня и назначения.

Системы передачи информации обеспечивают передачу необходимой информации от источника к потребителю. Признаком таких систем является наличие отправителя и получателя информации. Отправитель формирует информацию в соответствующее сообщение и с помощью радиосигнала (носителя информации) передает по каналу связи получателю. Получатель принимает радиосигнал, выделяет из него переданное сообщение и использует полученную информацию по назначению.

На рисунке 6 приведена структурная схема системы передачи информации.



Рисунок 6 – Структурная схема системы передачи информации

Она представляет собой совокупность технических средств, обеспечивающих передачу информации от источника (передающее устройство, передатчик) и

прием информации потребителем (приемное устройство, приемник). Такую систему называют системой связи или радиотехническим каналом связи.

Функционирование систем передачи информации основано на свободном распространении электромагнитных колебаний, которые излучаются в пространство передающими антеннами. Для этого передающее устройство формирует высокочастотное (несущее) колебание, один или несколько параметров которого изменяются по закону передаваемого сообщения. Распространяясь в определенном направлении, радиоволны достигают антенны приемного устройства, в котором из принятого высокочастотного колебания выделяется передаваемое сообщение.

Рассмотрим основные преобразования сигналов, осуществляемые в передатчике и приемнике, а также назначение функциональных устройств в их составе.

### **Передающее устройство**

Передающее устройство осуществляет преобразование передаваемого сообщения и приведение его к виду, пригодному для передачи в свободное пространство с помощью антенн. С этой целью в состав устройства входят:

1. *Преобразователь информации* в электрический сигнал. При передаче речи – это микрофон, при передаче изображения – передающая трубка, при передаче текста – телеграфный аппарат и др. На выходе преобразователя формируется сигнал, спектр которого сосредоточен в области низких частот (относительно частоты несущего колебания).

2. *Усилитель низкой частоты (УНЧ)* обеспечивает усиление по мощности низкочастотного информационного сигнала, что требуется для его дальнейшего преобразования.



3. *Кодирующее устройство* осуществляет при необходимости кодирование передаваемого сигнала. В цифровой системе связи такую операцию выполняет микросхема, называемая кодером. Это устройство преобразует аналоговый сигнал в цифровую форму (дискретизирует по времени, квантует по уровню и кодирует цифровым кодом). На выходе кодера передаваемый сигнал имеет вид последовательности импульсов.

4. *Модулятор и генератор высокой (несущей) частоты*, реализующие процесс модуляции. Сущность модуляции заключается в следующем. Генератор высокой частоты формирует гармоническое высокочастотное колебание, которое подается на модулятор. На второй вход модулятора поступает передаваемый сигнал. Модулятор изменяет соответствующий параметр высокочастотного колебания (амплитуду, частоту или фазу) по закону изменения передаваемого сигнала, т.е. сообщения. В результате формируется модулированное колебание, представляющее собой высокочастотное гармоническое колебание, амплитуда или фаза (а значит, и частота) которого является функцией времени. Заметим, что иногда функции модулятора и кодирующего устройства объединяют в одном устройстве.

5. *Усилитель высокой частоты (УВЧ)* усиливает модулированный высокочастотный сигнал для последующей передачи его с помощью антенны в свободное пространство.

Таким образом, в передающем устройстве сигналы подвергаются различным преобразованиям. Основные из них: усиление на низкой и высокой частотах, кодирование, модуляция (амплитудная, частотная, фазовая и др.), генерирование, умножение частоты.

## **Приемное устройство**

Высокочастотные радиосигналы, улавливаемые приемной антенной, поступают в приемное устройство. Приемное устройство осуществляет

соответствующие преобразования принятого высокочастотного сигнала с тем, чтобы выделить передаваемую информацию без искажения. С этой целью в состав устройства входят.

*1. Фильтр и усилитель высокой частоты (УВЧ).* В зависимости от расстояния между передающим и приемным устройствами, от ширины и направленности передающей и приемной антенн, а также от условий распространения радиоволн мощность сигнала на входе приемника достигает значений 10 10 10 14 Вт. Такой сигнал требует усиления. Кроме того, для подключения к приемнику нужного источника (например, определенного канала из многих при их частотном разделении) необходим селектор, в качестве которого может служить полосовой фильтр с перестраиваемой резонансной частотой. Полоса пропускания фильтра должна быть не меньше полосы частот, занимаемой принятым высокочастотным сигналом.

Предварительное усиление принятого сигнала осуществляется усилителем высокой частоты. Этот усилитель должен быть с перестройкой частоты и иметь большой коэффициент усиления в силу незначительной мощности принятого сигнала. Реализовать это затруднительно. Дело в том, что усилитель с большим коэффициентом усиления содержит несколько каскадов усиления, что затрудняет перестройку частоты. Кроме того, в таких усилителях существует опасность самовозбуждения на высоких частотах из-за возникновения паразитных связей между входом усилителя и выходом. Поэтому основное усиление сигнала обеспечивают на более низкой частоте.

*2.Смеситель и гетеродин.* Эти устройства решают задачу преобразования частоты сигнала, поэтому их называют преобразователем частоты. Они осуществляют перенос спектра принятого сигнала в область более низких частот, в частности в область промежуточной частоты. В большинстве радиовещательных приемников эта частота выбирается равной 465 кГц (между диапазонами длинных и средних волн).

Гетеродин – это генератор гармонического колебания с перестраиваемой частотой. Смеситель умножает колебание с выхода генератора на принятый высокочастотный сигнал и формирует сигнал, имеющий разностную (промежуточную) частоту.

3. *Усилитель промежуточной частоты (УПЧ)* – это усилитель мощности, обеспечивающий значительное усиление сигнала без перестройки его частоты.

4. *Детектор*. Реализует операцию, обратную по отношению к модуляции, т.е. извлекает сигнал, который изменяется по закону передаваемого сообщения (возможно, закодированный). Поэтому это устройство часто называют демодулятором. В зависимости от того, какая модуляция использована для передачи информации в передающем тракте, применяют амплитудный, частотный или фазовый детекторы. Основное требование к детектору – это по возможности точное воспроизведение формы передаваемого сигнала. В цифровых системах связи пару модулятор-демодулятор называют *модемом*.

5. *Декодер*. Восстанавливает сообщение по принятым кодовым символам. С выхода декодера аналоговый сигнал поступает на усилитель низкой частоты. В цифровых системах связи пару кодер-декодер называют *кодеком*. В аналоговых системах связи кодека может и не быть. Иногда функции детектора и декодера объединяют в одном устройстве.

6. *Усилитель низкой частоты (УНЧ)*. Усиливает сигнал до уровня, обеспечивающего работу оконечного устройства. Оконечным устройством может быть динамик приемника, телеграфный автомат, телевизионная трубка и др.

Из краткого и достаточно общего рассмотрения схемы и принципов функционирования типового радиотехнического канала связи следует, что передача сообщений по радиоканалу сопровождается разнообразными преобразованиями сигналов. Эти преобразования реализуются с помощью радиотехнических устройств (цепей), каждое из которых в зависимости от его

структурной организации выполняет определенную операцию над сигналами (фильтрацию, усиление, генерирование, модуляцию, детектирование и др.).

## 2.2 Инструментальные радиосистемы

Подобные устройства представляют собой комплект аппаратуры, состоящий из приемника и передатчика, к которому подключается музыкальный инструмент, а также из некоторых аксессуаров. Радиосистемы предоставляют музыканту свободу передвижения по сцене во время выступления и в некоторой степени заменяют кабель, который буквально привязывает исполнителя к определенной точке пространства.

Существует три типа беспроводных систем. Все они передают сигнал в УКВ диапазоне. Первыми появились системы, работающие в диапазоне очень высоких радиочастот (ОВЧ) от 30МГц до 300МГц, сейчас они уже считаются устаревшими. Наиболее распространенными на сегодняшний день являются системы, использующие ультравысокие частоты (УВЧ) от 300МГц до 3 ГГц – их диапазон гораздо шире, и в работе меньше сбоев, так как в этом диапазоне меньше посторонних шумов и электромагнитных искажений создаваемых теле- и радиостанциями, что способны плохим образом повлиять на передаваемый сигнал. Новейший тренд беспроводных систем – это цифровые системы. Они работают без помех, обеспечивают чистоту тона и возможность его моделирования – все это делает цифровые беспроводные системы лучшими в своем роде. Но и стоимость такой аппаратуры является не самой доступной по сравнению предыдущими двумя аналогами

Если гитарный кабель можно воткнуть и играть, то с беспроводными системами все вовсе не так просто: даже самые хорошие не станут работать, как надо, если их прежде не настроить, учитывая все спецификации и ограничения.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 <http://guitarmax.ru/obuchenie/poleznye-stati/539-zvukosnimateli-dlya-elektrogitar>
- 2 [http://guitar.ru/articles/pickup/sound-pickup\\_317.html](http://guitar.ru/articles/pickup/sound-pickup_317.html)
- 3 <https://vstx.org/post/3270/>
- 4 <http://tvoya-gitara.ru/ustroystvo-gitary/ustroystvo-grifa-gitaryi>
- 5 <https://habr.com/ru/company/maxilect/blog/349236/>
- 6 Адаменко М. Приставки к электрогитаре. Секреты ретро-звучания / Адаменко М. - М.: ДМК Пресс, 2013 – 368 с.
- 1 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. - Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. - 56 с.
- 8 Надольский А.Н. Теоретические основы радиотехники: Учеб. пособие для студ. спец. «Радиотехника», «Радиоинформатика» и «Радиотехнические системы» всех форм обуч./ А.Н. Надольский. – Мн.: БГУИР, 2005. – 232 с.: ил.
- 2
- 3