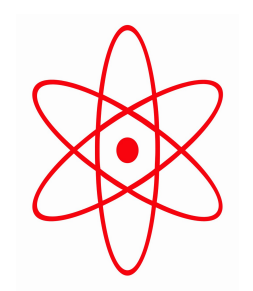


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



РТРУЛ-11

**РАДИОПРИЁМНЫЕ И ПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА
ИЗУЧЕНИЕ ПРИЕМО – ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
С НАЛИЧИЕМ ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ.**

Тула, 2015 г.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

РАДИОПРИЁМНЫЕ И ПЕРЕДАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ИЗУЧЕНИЕ ПРИЕМО — ПЕРЕДАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С НАЛИЧИЕМ ЛАЗЕРНОГО КАНАЛА СВЯЗИ.

Цель работы: ознакомление с теоретическими основами и практическими навыками работы различных элементов приема — передающего устройства с лазерным каналом связи.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

Введение.

Общие сведения о радиоприемных устройствах.

Радиоприемное устройство предназначено для приема каких-либо сообщений или сигналов, поступающих к нему в виде радиоволн. Оно состоит из приемной антенны, приемника и оконечного прибора.

Приемная антенна извлекает из окружающего пространства очень небольшую часть энергии проходящих радиоволн и направляет ее в радиоприемник.

В приемнике осуществляется выделение полезных колебаний и преобразование их к такому виду, который необходим для работы оконечного прибора.

При помощи оконечного прибора воспроизводится, регистрируется или иным способом используется принятая информация. В качестве оконечных приборов применяют акустические или электронно-лучевые устройства, буквопечатающие, фотопечатающие и пишущие аппараты, а также механизмы управления различных автоматических и счетно-решающих систем.

Информация на входе приемника заключена в модулированных колебаниях высокой частоты. Их называют высокочастотными сигналами. Только один из них полезный. Это тот сигнал, который принимается приемником в данный момент. По отношению к нему все остальные сигналы являются помехами.

После значительного усиления избирательными усилителями принятые высокочастотные колебания детектируются. В результате детектирования получаются низкочастотные сигналы. Именно они и являются носителями полезной информации, так как способны привести в действие оконечный прибор. Но для этого низкочастотные (информационные) сигналы должны иметь определенную мощность или напряжение. Поэтому в приемнике после детектора обычно имеется усилитель низкой частоты или видеоусилитель.

Общие сведения о модуляции.

Гармонические колебания тока, напряжения или электромагнитного поля характеризуются тремя параметрами: амплитудой, частотой и начальной фазой. Так, например, уравнение гармонического тока имеет следующий вид:

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi). \quad (1.1)$$

Непрерывные колебания с постоянной амплитудой, частотой и начальной фазой не могут содержать какой-либо информации. Такие колебания могут лишь свидетельствовать о факте своего существования. Для передачи информации (информационных сигналов) необходимо как-то изменять параметры электромагнитных колебаний, излучаемых антенной радиопередающего устройства.

Процесс изменения любого из параметров гармонического колебания в соответствии с передаваемой информацией называется модуляцией.

При непрерывных методах передачи информационных сигналов модуляция может быть амплитудной (АМ), частотной (ЧМ), фазовой (ФМ) либо импульсной.

В случае одновременного изменения двух параметров гармонического колебания имеет место смешанная модуляция, например амплитудно-фазовая (АФМ) или амплитудно-частотная (АЧМ).

При импульсном методе работы передатчика его антенной излучаются кратковременные радиоимпульсы, отделенные друг от друга сравнительно большой временной паузой. В этом случае в соответствии с передаваемой информацией изменяется какой-либо из параметров излучаемых радиоимпульсов.

При импульсном методе работы передатчика его антенной излучаются кратковременные радиоимпульсы, отделенные друг от друга сравнительно большой временной паузой. В этом случае в соответствии с передаваемой информацией изменяется какой-либо из параметров излучаемых радиоимпульсов.

Для целей радиолокации используется простейшая разновидность импульсной модуляции, при которой в пространство излучаются радиоволны постоянной частоты, амплитуды, длительности и скважности (рис.1).

Кроме импульсной модуляции, в некоторых радиолокационных устройствах применяют также частотную модуляцию.

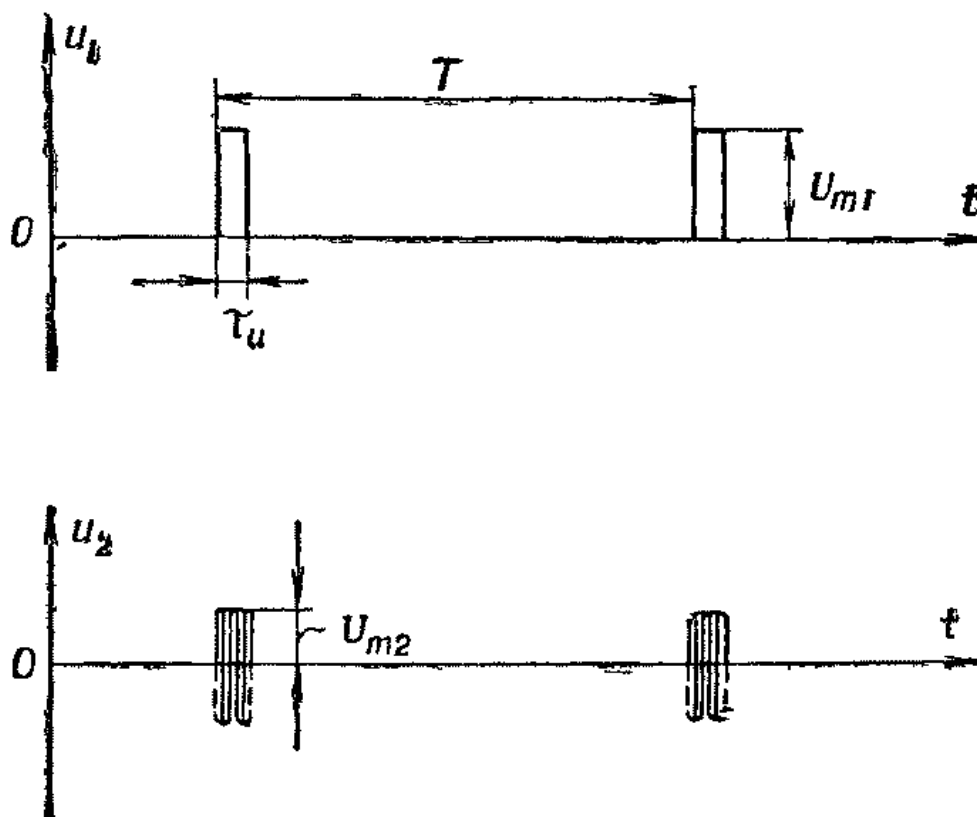


Рис. 1 Импульсная модуляция, используемая в РЛС:

u_1 — видеопульсы; u_2 — радиопульсы

В любом радиотехническом устройстве приходится встречаться с преобразованием электрических колебаний. Чтобы использовать высокочастотные колебания для передачи сигналов, необходимо каким-либо образом воздействовать на них, передавая их в виде отдельных посылок определенной длительности либо изменяя их амплитуду, фазу или частоту в соответствии с передаваемым сигналом. При приеме этих колебаний необходимо на основании изменения одного из параметров высокочастотных колебаний или длительности посылок восстановить передаваемый сигнал. Происходящие при этом процессы изменения формы, частоты или фазы будем в дальнейшем - называть преобразованием колебаний. Виды преобразований и типовые схемы преобразователей электрических колебаний чрезвычайно многочисленны и разнообразны.

Все виды преобразований можно разделить на два основных типа:

линейные, и нелинейные. Первые, осуществляемые в линейных цепях, подчиняющихся закону Ома, могут приводить, только к изменениям амплитудных и фазовых соотношений в спектре сложного сигнала. В нелинейных цепях происходят более сложные преобразования, приводящие к изменению самого состава спектра сигнала, т. е. появлению на выходе таких составляющих, которых не было во входном сигнале. К линейным относятся цепи, параметры которых не зависят от действующих в них токов и напряжений. В нелинейных же цепях изменение токов и напряжений приводит к изменениям их активных и реактивных сопротивлений, вследствие чего напряжения и токи оказываются не пропорциональными один другому, а связанными более сложными зависимостями. Одно и то же устройство часто может играть роль как линейного, так и нелинейного элемента в зависимости от способа его использования. Рассмотрим более подробно импульсную модуляцию, изучаемую в данном эксперименте.

Импульсная модуляция.

Существуют следующие основные методы модуляции импульсов:

1) амплитудная импульсная модуляция (АИМ);
 2) широтная импульсная модуляция (ШИМ), в процессе которой происходит изменение ширины импульсов, т. е. их длительности;

3) фазовая импульсная модуляция (ФИМ), в процессе которой изменяется фазовый сдвиг, или время излучения радиоимпульсов внутри тактовых интервалов;

4) частотная импульсная модуляция (ЧИМ), в процессе которой происходит изменение частоты радиоимпульсов.

Графики, иллюстрирующие различные виды импульсной модуляции, приведены на Рис. 2

Иногда используется также специальный вид импульсной кодовой модуляции, при которой плавная кривая сигнала заменяется ступенчатой, т. е. применяется так называемое квантование сигнала (Рис. 3). При импульсно-кодовой модуляции число, амплитуда, длительность, фазовый сдвиг или полярность излучаемых импульсных сигналов зависят в каждый данный отрезок времени от дискретного уровня квантованного сигнала.

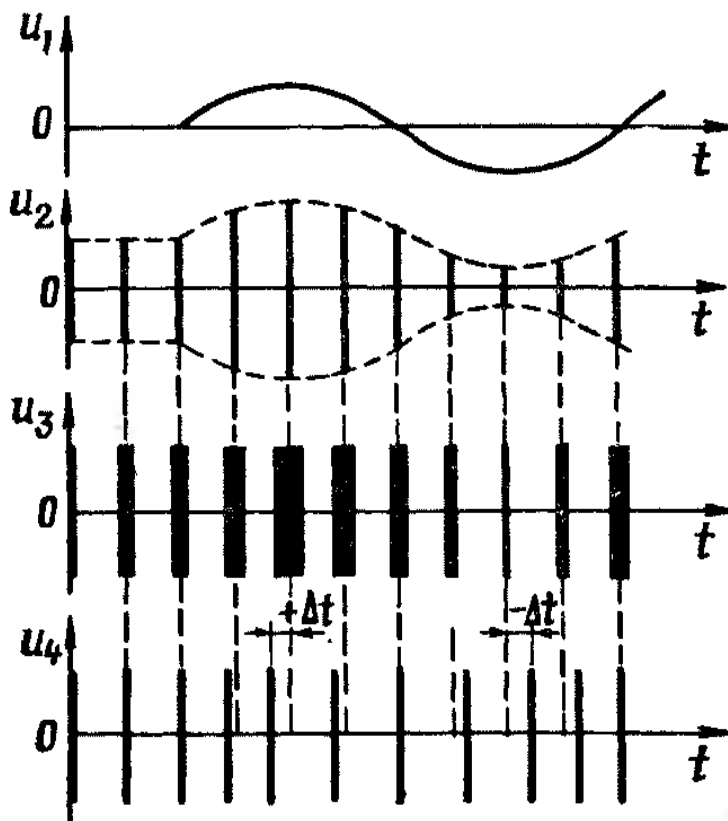


Рис. 2 Различные виды импульсной модуляции

u_1 — модулирующий сигнал; u_2 — промодулированные импульсы при АИМ; u_3 — промодулированные импульсы при ШИМ; u_4 — промодулированные импульсы при ФИМ

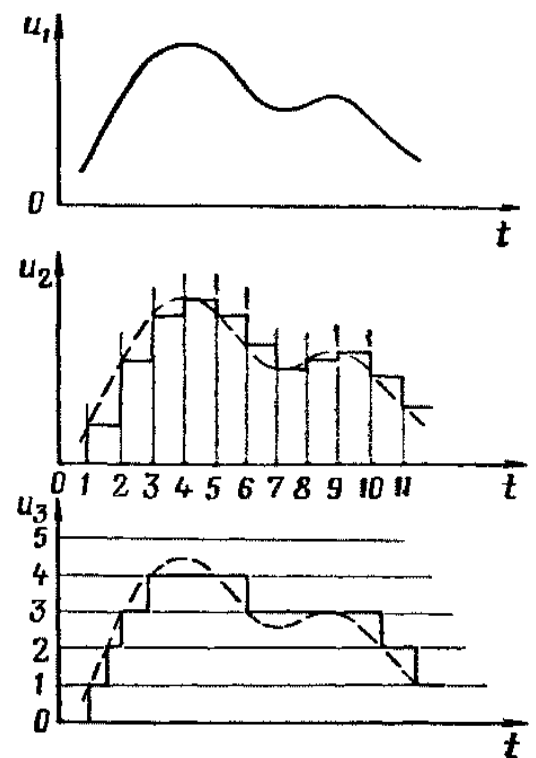


Рис. 3 Квантование сигнала:

u_1 — исходный сигнал; u_2 — сигнал, квантованный по времени; u_3 — сигнал, квантованный по уровню

Исторически первым видом импульсной модуляции был предложенный в 1927 г. А. Н. Щукиным метод широтно-импульсной модуляции, сокращенно ШИМ. Колебания при ШИМ имеют вид, представленный на рис. 4. Импульсы высокочастотных колебаний излучаются через одинаковые промежутки времени Δt , причем длительность каждого из них соответствует значениям модулирующего сигнала в момент излучения. При таком виде модуляции амплитуда импульсов не изменяется, что позволяет срезать в приемном устройстве помехи, искажающие амплитуды принятых импульсов. Его недостатком является необходимость выбора полосы пропускания по самому короткому импульсу. При этом она получается излишне широкой для всех остальных более длительных импульсов. Расширение же полосы пропускания приемника приводит к приему большого количества помех.

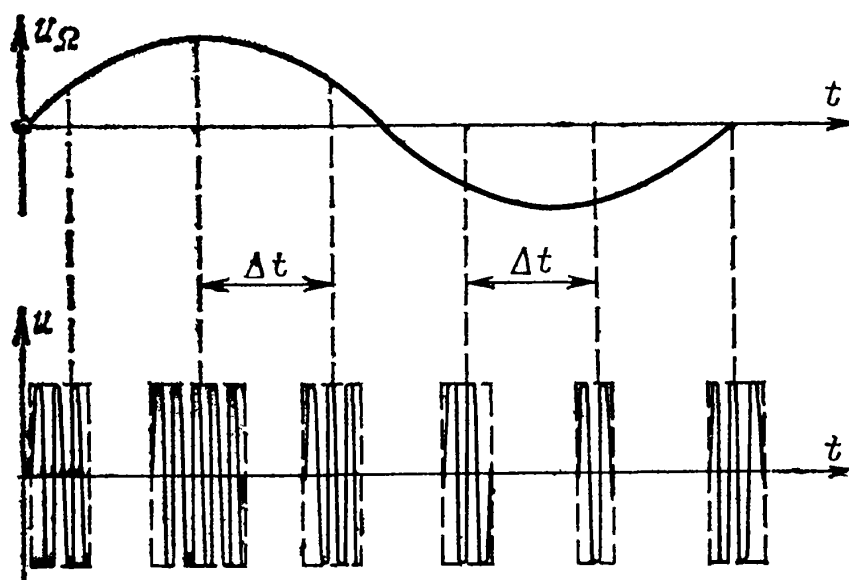


Рис. 4 . Колебания при ШИМ

Фактически, широтно-импульсная модуляция (ШИМ, [англ.](#) Pulse-width modulation (PWM)) — приближение желаемого сигнала (многоуровневого или непрерывного) к действительным бинарным сигналам (с двумя уровнями - вкл/выкл), так, что, в среднем, за некоторый отрезок времени, их значения равны. Формально, это можно записать так:

$$\int_{t_1}^{t_2} x(t) dt = \sum A * \Delta T_i$$

где $x(t)$ - желаемый входной сигнал в пределе от t_1 до t_2 , а ΔT_i - продолжительность i -го ШИМ импульса, каждого с амплитудой A . ΔT_i подбирается таким образом, что суммарные площади (энергии) обеих величин приблизительно равны за достаточно продолжительный промежуток времени, равны также и средние значения величин за период:

$$\frac{\int_{t_1}^{t_2} x(t) dt}{t_2 - t_1} = \frac{\sum A * \Delta T_i}{t_2 - t_1}$$

Управляемыми "уровнями", как правило, являются параметры питания силовой установки, например, напряжение импульсных преобразователей регуляторов постоянного напряжения или скорость электродвигателя. Для импульсных источников $x(t) = U_{const}$ стабилизации.

ШИП — широтно-импульсный преобразователь, генерирующий ШИМ-сигнал по заданному значению управляющего напряжения. Основное достоинство ШИМ — высокий КПД его усилителей мощности, который достигается за счёт использования их исключительно в ключевом режиме. Это значительно уменьшает выделение мощности на силовом преобразователе (СП).

ШИМ есть импульсный сигнал постоянной частоты и переменной скважности, то есть отношения периода следования импульса к его длительности:

Таким образом, для импульсного сигнала справедливы следующие соотношения:

$$S = \frac{T}{\tau} = \frac{1}{D}$$

где S — скважность, D — коэффициент заполнения, T — период импульсов, τ — длительность импульса. С помощью задания скважности (длительности импульсов) можно менять среднее напряжение на выходе ШИМ.

Генерируется аналоговым компаратором, на отрицательный вход которого подаётся опорный сигнал в виде «пилы» или «треугольника», а на положительный — собственно сам модулируемый непрерывный аналоговый сигнал. Частота импульсов соответствует частоте «зубьев» пилы. Ту часть периода, когда входной сигнал выше опорного, на выходе получается единица, ниже — ноль.

В цифровой технике, выходы которой могут принимать только одно из двух значений, приближение желаемого среднего уровня выхода при помощи ШИМ является совершенно естественным. Схема настолько же проста: пилообразный сигнал генерируется N -битным счётчиком. Цифровые устройства (ЦШИП) работают на фиксированной частоте, обычно намного превышающей реакцию управляемых установок (передискретизация). В периоды между фронтами тактовых импульсов, выход ЦШИП остаётся стабильным, на нём действует либо низкий уровень либо высокий, в зависимости от выхода цифрового компаратора, сравнивающего значение счётчика с уровнем приближаемого цифрового сигнала $V(n)$. Выход за много тактов можно трактовать как череду импульсов с двумя возможными значениями 0 и 1, сменяющимися друг-друга каждый такт T . Частота появления единичных импульсов получается пропорциональной уровню приближаемого сигнала $\sim V(n)$. Единицы, следующие одна за другой, формируют контур одного, более широкого импульса. Длительности полученных импульсов переменной ширины $\sim V(n)$, кратны периоду тактирования T , а частота равна $1/(T \cdot 2N)$. Низкая

частота означает длительные, относительно T , периоды постоянства сигнала одного уровня, что даёт невысокую равномерность распределения импульсов.

Описанная цифровая схема генерации подпадает под определение однобитной (двухуровневой) импульсно-кодовой модуляции (**ИКМ**). 1-битную ИКМ можно рассматривать в терминах ШИМ как серию импульсов частотой $1/T$ и шириной 0 либо T . Добиться усреднения за менее короткий промежуток времени позволяет имеющаяся передискретизация. Высоким качеством обладает такая разновидность однобитной ИКМ, как импульсно-плотностная модуляция (*pulse density modulation*), которая ещё именуется импульсно-частотной модуляцией.

Восстанавливается непрерывный аналоговый сигнал арифметическим усреднением импульсов за много периодов при помощи простейшего фильтра низких частот. Хотя обычно даже этого не требуется, так как электромеханические составляющие привода обладают индуктивностью, а объект управления (ОУ) — инерцией, импульсы с выхода ШИП сглаживаются и ОУ, при достаточной частоте ШИМ-сигнала, ведёт себя как при управлении обычным аналоговым сигналом.

На рис. 5 наведена схема широтно-импульсного модулятора. На логических элементах U1.1 и U1.2 собран генератор прямоугольных импульсов частотой 48 кГц, на U1.3 и U1.4 – одновибратор, скважность его зависит от входного напряжения U_{in} . Полоса частот модулятора от 0 до 16 кГц, коэффициент нелинейных искажений около 1%, зависит от начального смещения на транзисторе Q1 и задаётся переменным резистором.

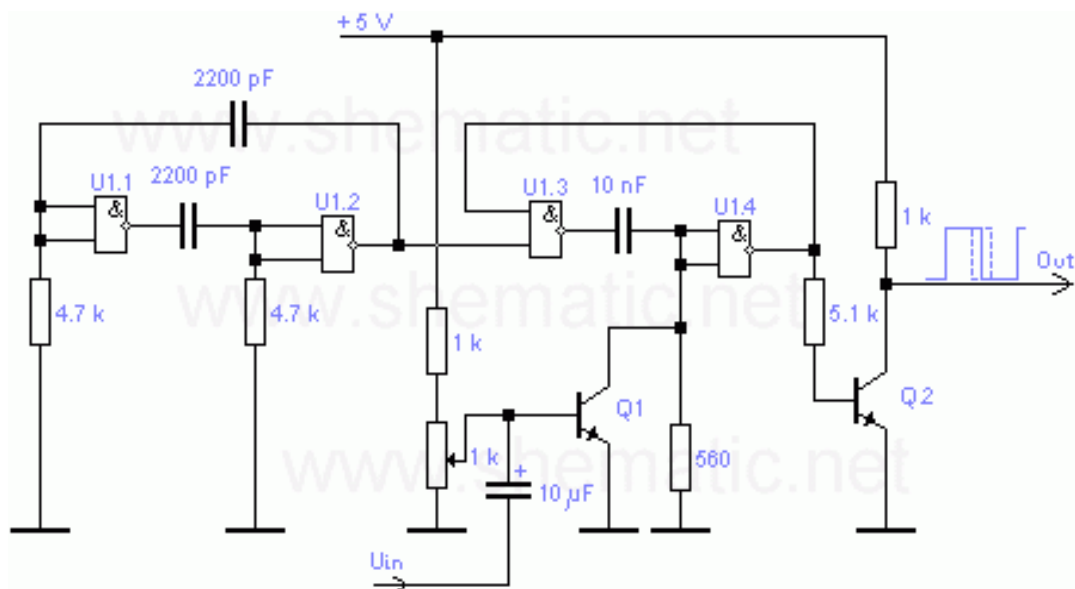


Рис. 5 Широтно-импульсный модулятор на логических элементах.

Детектирование колебаний.

Так как при широтно-импульсной модуляции изменяется постоянная составляющая, а при амплитудной модуляции — амплитуда сигнала, то детектирование ШИМ сигналов осуществляется так же как и обычных АМ сигналов, поэтому кратко рассмотрим основные принципы работы АМ детектора.

Амплитудные детекторы предназначены для выделения из амплитудно-модулированного или ШИМ сигнала полезной составляющей.

Амплитудные детекторы применяются для детектирования немодулированных или амплитудно-модулированных колебаний. Такие колебания могут быть непрерывными или импульсными.

Частотные детекторы применяются для детектирования частотно-модулированных колебаний. Они представляют собой совокупность преобразователя модуляции с амплитудным детектором.

Амплитудный детектор бывает необходим и для других целей. Без амплитудного детектирования невозможно осуществить процесс преобразования частоты, а он совершенно необходим в супергетеродинном радиоприемнике. Амплитудные детекторы применяются также в системах автоматической подстройки частоты гетеродина приемника и в системах автоматической регулировки усиления.

Во всех случаях процесс детектирования основан на использовании нелинейных свойств какого-либо электронного прибора. Ламповые детекторы бывают диодные, сеточные и анодные. Полупроводниковые детекторы бывают диодные и транзисторные.

О свойствах детектора судят по его параметрам. Основными параметрами детектора являются коэффициент передачи напряжения K_n и входное сопротивление $R_{вх.}$. Чем они больше, тем лучше детектор.

Полупроводниковый диод отличается от вакуумного диода наличием обратной проводимости. Поэтому входное сопротивление детектора на полупроводниковом диоде сравнительно мало. Данное обстоятельство вынуждает применять слабую связь полупроводникового детектора с контуром предыдущего каскада (УПЧ или УВЧ). Она бывает трансформаторной или автотрансформаторной. Значительно реже используется полное включение контура.

Простейшая схема диодного детектора на полупроводниковом диоде изображена на Рис. 6. Она выполнена с последовательным включением нагрузки. Нагрузка представлена резистором R_n и конденсатором C_n . На практике параллельно этим элементам будет включено входное сопротивление следующего каскада $R_{вх. сл.}$. Поэтому полное сопротивление нагрузки

$$R_{н.п} = \frac{R_n \cdot R_{вх. сл.}}{R_n + R_{вх. сл.}} \quad (4.1)$$

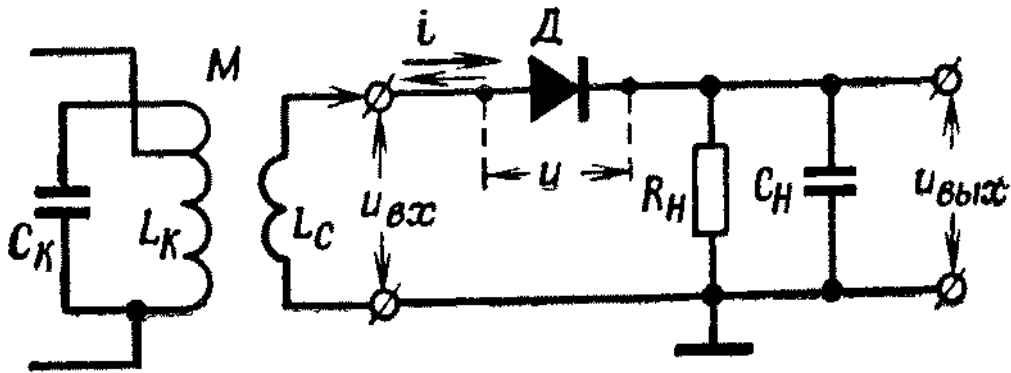


Рис. 6 Простейшая схема диодного детектора на полупроводниковом диоде

Если следующий за детектором каскад ламповый, то $R_{вх\text{ сл}} \gg \gg R_H$ и $R_{нп} \approx R_H$, а если он транзисторный, то $R_{нп} < R_H$.

Для определения качественных показателей детектора необходимо знать характеристику диода и величину входного напряжения, которое при расчетах допустимо считать немодулированным. Типичная характеристика полупроводникового диода изображена на Рис. 7 Обычно для детектирования используются точечные германиевые диоды. Кремниевые диоды применяются значительно реже ввиду большей величины прямого сопротивления.

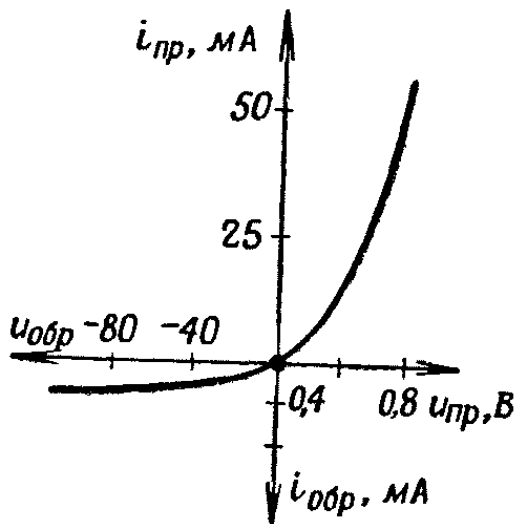


Рис. 7 Типичная характеристика полупроводникового детекторного диода

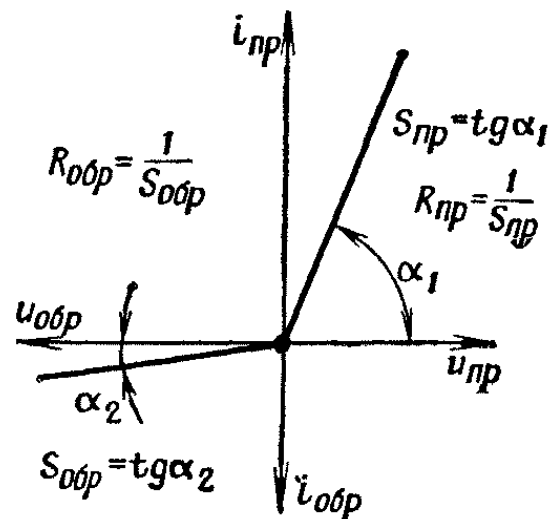


Рис. 8 Идеализированная характеристика полупроводникового детекторного диода

Если амплитуда входного напряжения достаточно велика (единицы вольт), то детектор работает в режиме, который условно на-

зывают «линейным». Если амплитуда входного напряжения мала (милливольты), то детектор работает в режиме, который называют «квадратичным».

В «линейном» режиме результаты детектирования практически не зависят от формы характеристики диода. Они определяются только крутизной ее прямолинейного участка и обратным сопротивлением диода. Поэтому при детектировании сильных (больших) сигналов характеристику диода можно изображать в идеализированном виде (Рис. 8). Поскольку практически $S_{пр} \gg S_{обр}$, то при детектировании больших сигналов коэффициент передачи детектора получается примерно 0,5—0,8. При этом он не зависит от амплитуды детектируемого сигнала.

В этих условиях входное сопротивление детектора имеет величину

$$R_{вх} \approx \frac{R_{н. п} \cdot R_{обр.}}{3 R_{н. п} + 2 R_{обр.}} \quad (4.2)$$

Если следующий за детектором каскад выполнен на транзисторе, то в большинстве случаев $R_{н. п} \ll R_{обр.}$. Тогда с достаточной точностью

$$R_{вх} \approx \frac{R_{н. п}}{2}. \quad (4.3)$$

Наиболее часто входное сопротивление детектора на полупроводниковом диоде получается порядка сотен ом.

Физические процессы, происходящие в детекторе при детектировании амплитудно-модулированных колебаний, показаны на

Рис. 9 Из рисунка видно, что среднее значение тока диода изменяется по закону модуляции детектируемого сигнала. Следовательно, и выходное напряжение соответствует огибающей высокочастотного сигнала.

В переносных и карманных транзисторных приемниках напряжение на входе детектора обычно мало. Поэтому режим детектирования оказывается квадратичным. В этом режиме детектор имеет сравнительно большое входное сопротивление (тысячи ом), но очень небольшой коэффициент передачи напряжения. При этом $K_{п}$ зависит от характеристики диода и амплитуды входного напряжения. Наиболее часто $K_{п} = 0,1—0,4$. Величина входного сопротивления квадратичного детектора может быть найдена приблизительно по уравнению

$$R_{вх} \approx \frac{R_{н. п} \cdot R_{обр.}}{R_{н. п} + 2 R_{обр.}}$$

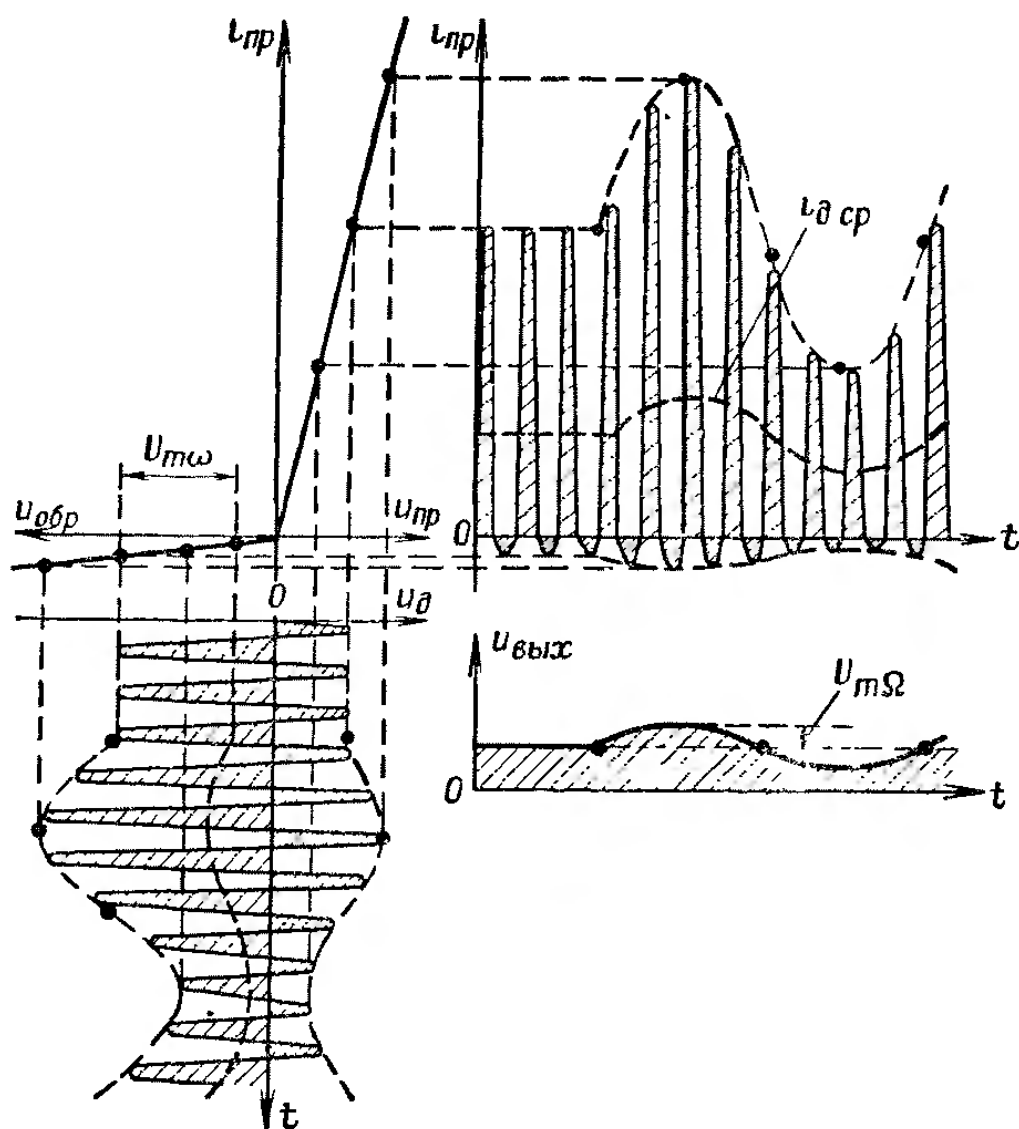


Рис. 9 Графики процесса детектирования амплитудно-модулированных колебаний полупроводниковым диодом

Искажения информационного сигнала в детекторе.

Выделяемый в детекторе информационный сигнал может оказаться искаженным. Если информационный сигнал сложный, то искажения могут быть нелинейные и частотные.

а) **Нелинейные искажения.** Основная причина нелинейных искажений заключается в инерционности детектора, из-за которой огибающая детектируемого напряжения может воспроизводиться неточно. Поясним сказанное примером. На Рис. 10 видно, что напряжение на нагрузке детектора u_H обусловлено процессом заряда и разряда конденсатора C_H . Заряд происходит через диод, а разряд через резистор R_H . Если элементы C_H и R_H выбраны правильно, то усредненное напряжение u_H соответствует огибающей детектируемого колебания. Но частота огибающей и глубина модуляции не постоянны. На практике они могут изменяться в широких пределах.

На Рис. 11 показан процесс образования напряжения u_H при достаточно высокой модулирующей частоте и значительной глубине модуляции. Там видно, что напряжение u_H во время разряда конденсатора C_H изменяется медленнее, чем уменьшается амплитуда входного напряжения. Напряжение на нагрузке детектора не успевает следовать за изменениями амплитуды высокочастотного колебания. В этом случае напряжение на выходе детектора не соответствует огибающей входного напряжения. Информационный сигнал получается искаженным.

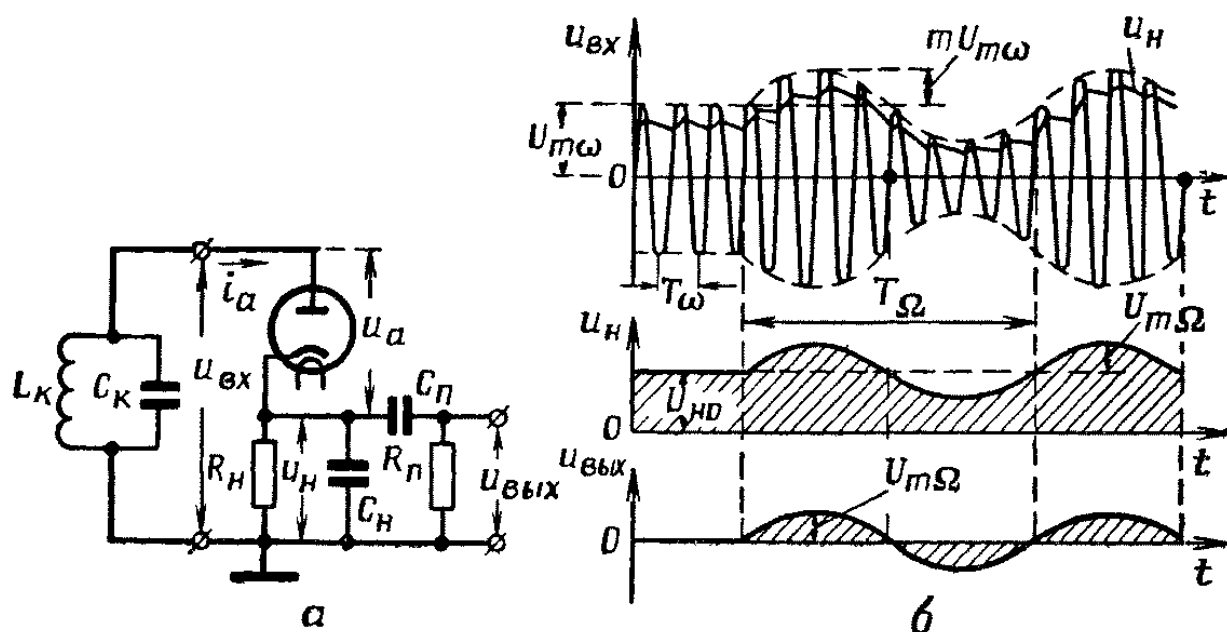


Рис. 10 Схема диодного детектора приемника связи и графики процесса преобразования модулированного напряжения высокой частоты в напряжение звуковой частоты

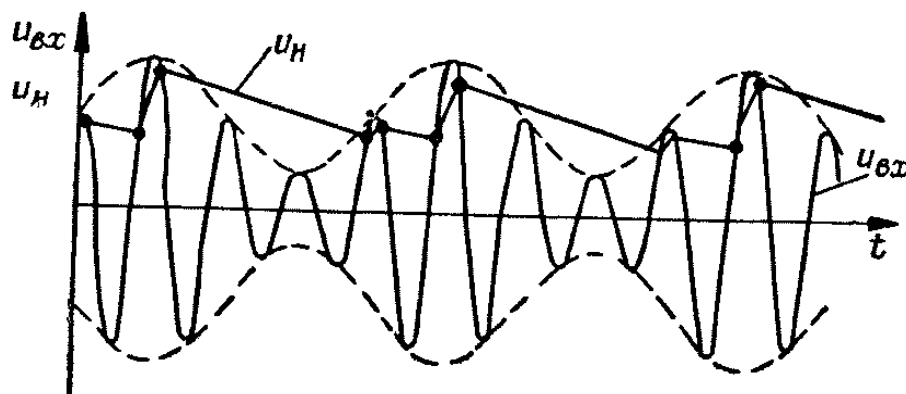


Рис. 11 Нелинейные искажения в диодном детекторе

Аналитически доказано, что рассматриваемые искажения отсутствуют, если постоянная времени нагрузки детектора соответствует неравенству

$$C_H \cdot R_H < \frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi \cdot F_B \cdot m}, \quad (4.4)$$

где m — коэффициент глубины модуляции детектируемого напряжения;

F_B — высшая частота информационного сигнала (высшая частота модуляции).

Соотношение (4.4) называют условием безынерционности диодного детектора. Оно верно для любого диодного детектора. В детекторе на полупроводниковом диоде сопротивление R_H обычно бывает порядка тысяч ом, а емкость C_H порядка тысяч пикофард.

Нелинейные искажения информационного сигнала могут возникать по причине значительного различия в величине нагрузки для постоянного тока диода и для его переменной составляющей звуковой частоты. Если входное сопротивление следующего каскада мало (транзисторный каскад), то $R_{H.п}$ может быть значительно меньше R_H . В этом случае входное сопротивление простейшей схемы детектора (Рис. 6) очень мало (уравнение (4.3)). Поэтому приходится применять очень слабую связь с контуром предыдущего каскада. Но тогда сигнал на входе детектора оказывается столь малым, что детектирование получается квадратичным. Оно сопровождается значительными нелинейными искажениями выделяемого сигнала.

Передача информации по средствам открытых лазерных каналов.

С момента своего изобретения лазеры зарекомендовали себя как «готовые решения ещё не известных проблем». В силу уникальных свойств излучения лазеров, они широко применяются во многих отраслях науки и техники, а также в быту (проигрыватели компакт-дисков, лазерные принтеры, считыватели штрих-кодов, лазерные указки и пр.). В промышленности лазеры используются для резки, сварки и пайки деталей из различных материалов. Высокая температура излучения позволяет сваривать материалы, которые невозможно сварить обычными способами (к примеру, керамику и металл). Луч лазера может быть сфокусирован в точку диаметром порядка микрона, что позволяет использовать его в микроэлектронике (так называемое лазерное скрайбирование). Лазеры используются для получения поверхностных покрытий материалов (лазерное легирование, лазерная наплавка, вакуумно-лазерное напыление) с целью повышения их износостойкости. Широкое применение получила также лазерная маркировка промышленных образцов и гравировка изделий из различных материалов. При лазерной обработке материалов на них не оказывается механическое воздействие, поэтому возникают лишь незначительные деформации. Кроме того весь технологический процесс может быть полностью автоматизирован. Лазерная обработка потому характеризуется высокой точностью и производительностью.

В настоящее время бурно развивается так называемая лазерная связь. Известно, что чем выше несущая частота канала связи, тем больше его пропускная способность. Поэтому радиосвязь стремится переходить на всё более короткие длины волн. Длина световой волны в среднем на шесть порядков меньше длины волны радиодиапазона, поэтому посредством лазерного излучения возможна передача гораздо большего объёма информации. Лазерная связь осуществляется как по открытым, так и по закрытым световодным структурам, например, по оптическому волокну. Свет за счёт явления полного внутреннего отражения может распространяться по нему на большие расстояния, практически не ослабевая.

Лазерные устройства могут осуществлять передачу любого сетевого потока. Передатчик преобразует электрические сигналы в модулированное излучение лазера в инфракрасном диапазоне с длиной волны 600 — 900 нм и мощностью до 40 мВт. В качестве среды распространения лазерная связь использует атмосферу. Затем лазерный луч попадает в приемник, имеющий максимальную чувствительность в диапазоне длины волны излучения. Приемник производит преобразование излучения лазера в сигналы используемого электрического или оптического интерфейса. Так осуществляется связь с помощью лазерных систем.

Будем рассматривать передачу информации на Земле и в космосе, так как здесь имеется принципиальное отличие – в космосе нет атмосферы, т. е. межзвездный газ настолько разрежен, что рассеивание по сравнению с земным практически не происходит, да и о погоде не приходится говорить. Для передачи информации оптический сигнал модулируют и передают специальной установкой, в свою очередь в месте назначения приемник улавливает сигнал. Если канал имеет большую протяженность имеет смысл ретранслировать передающий сигнал. Схема приведена на рис. 12.

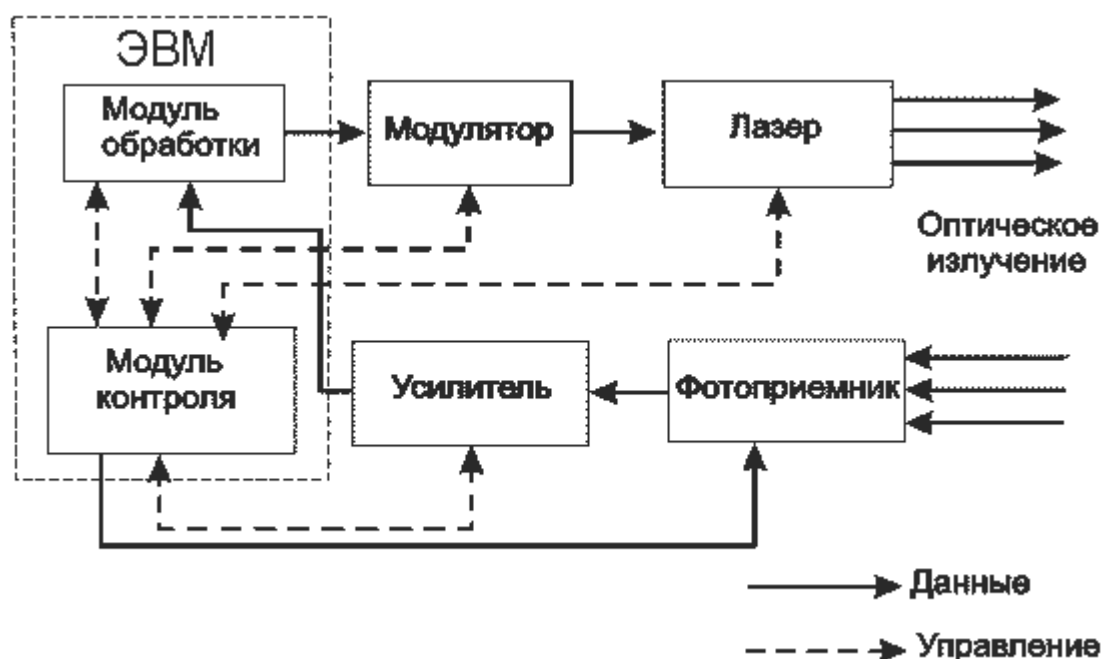


Рис. 12. Организация лазерного канала связи.

Модуляция - это изменение параметров светового луча в зависимости от управляющего (модулирующего) сигнала, несущего информацию, при этом различают две основные формы модуляции: внешнюю и прямую. При внешней модуляции поляризованный световой луч проходит вне источника света в модулятор, в котором в такте передаваемого сигнала изменяется амплитуда или фаза излучения. Модулятор работает на основе электрооптического эффекта. При прямой модуляции излучение модулируется непосредственно за счет возбуждения источника света, т.е. источник света сам излучает модулированный свет. Прямая модуляция может быть реализована только в светодиодах и инжекционных лазерах, что достигается путем модуляции тока накачки.

Обнаружение модулированного излучения при одновременной демодуляции, т. е. воспроизведение передаваемой информации, осуществляется с помощью оптоэлектронных приемников (детекторов). Применяемые фотодетекторы должны иметь следующие характеристики:

- высокую чувствительность в спектральном диапазоне применяемого источника света;
- высокое временное разрешение;
- малые шумы;
- нечувствительность к температуре;
- простую возможность соединения со световодом;
- большой срок службы;
- низкую стоимость.

Применяются специальные фотодиоды, которые наиболее полно удовлетворяют этим требованиям.

Из-за потерь и дисперсии в световоде возникает ослабление и искажение распространяющегося импульса, так что после определенного расстояния необходима регенерация импульса. Эта регенерация осуществляется в ретрансляторе. Задача этого устройства состоит в том, чтобы осуществить усиление, а также формирование (регенерацию) импульса. Принцип действия такого устройства состоит в том, что приходящий оптический сигнал в приемнике преобразуется в электрические импульсы, а затем происходит их усиление, а также формирование в электронном усилителе.

Регенерированный и усиленный сигнал служит затем в качестве управляющего сигнала в источнике света передатчика, который снова передает сигнал по следующей волоконно-оптической линии. Регенерация импульсов должна повторяться через определенное расстояние в линии передачи. Допустимое максимальное расстояние между двумя ретрансляторами зависит от параметров системы, в частности от скорости передачи двоичных единиц информации, источника света и применяемого типа световода.

В системах оптических линий связи используются инфракрасные лазеры, которые генерируют свет в диапазоне около 200 ТГц, что соответствует длине волны порядка 1 мкм. Такой диапазон не требует лицензирования не только в России, но и во всем мире. Имеющееся на рынке оборудование работает на одной из двух длин волн – 850 или 1550 нм. Лазеры, излучающие длину волны 850 нм, намного дешевле, чем для волн 1550 нм, и поэтому предпочтительны для связи на дистанции до 100 м.

Однако если речь идет о более дальних расстояниях, мощном и в то же время безопасном для глаз излучении, то на первый план выходят длинноволновые лазеры. Инфракрасное излучение на длине волны 1550 нм поглощается роговицей глаза и не доходит до сетчатки. Нормами допускается мощность почти на два порядка больше, чем для 850-нанометровых лазеров. Это позволяет увеличить длину канала примерно в 5 раз при сохранении устойчивой связи, а при использовании на коротких расстояниях – значительно повысить скорость передачи данных.

Как и всякая технология, беспроводная оптика имеет сильные и слабые стороны. Нужно признать, что на устойчивость и производительность канала

существенное влияние оказывают и состояние окружающей атмосферы, и особенности распространения в ней инфракрасного луча (см. таблица 1).

Таблица1. Данные приведенные для длины волны 850 нм.

Погодные условия	Общий коэффициент затухания $k \cdot 10^{-9}$	Затухания (Дб/км)
Ясная погода	0,027	0-3
Слабый дождь	0,108	3-6
Сильный дождь	0,162	6-17
Снег	0,189	6-26
Легкий туман	0,216	20-30
Густой туман	0,291	50-100
Облачность	0,406	300-400

Дальность связи оценивается следующим соотношением:

$$D = \sqrt{\frac{P_t S_r t}{\pi P_r \sin^2 \frac{\alpha}{2}}} \quad (5.1)$$

где P_t и P_r - мощность лазерного излучателя и пороговая мощность фотоприемного устройства, S_r - площадь апертуры фотоприемного устройства, α – угол расходимости лазерного излучения t - суммарный коэффициент потерь лазерного излучения за счет поглощения и рассеяния в атмосфере, оптических системах и других элементах канала. Существует несколько способов повышения уровня надежности беспроводной оптической связи:

- увеличение мощности передатчика или чувствительности приемника;
- уменьшение угловой расходимости светового пучка;
- сокращение расстояний, на которых осуществляется беспроводная связь.

Основные характеристики лазерных приемопередатчиков.

Для наглядности технические характеристики некоторых оптических систем, как лазерных, так и светодиодных, сведены в таблице 2. Данные приведены из материалов компаний, описаний устройств, приведенных на сайтах производителей. Среди оборудования, производимого отечественными предприятиями, можно отметить новую разработку ведущего российского производителя беспроводных оптических устройств компании "Катарсис" (Санкт-Петербург) -- устройство БОКС-Е1-1500. В нем была изменена элементная база, что позволило повысить энергетику канала и, как следствие, максимальную дальность с 12 до 30 км. При сохранении рабочих дистанций работа канала стала более устойчивой.

Для того, чтобы прогнозировать поведение беспроводных оптических каналов с хорошей достоверностью, необходимо учесть весь комплекс конструктивных особенностей оборудования и использовать общепризнанную модель атмосферы. Сочетая опыт в области физики атмосферы с опытом в области телекоммуникаций, специалисты MicroMax Computer Intelligence, Inc. решили данную задачу, создав компьютерную программу моделирования инфракрасных систем. В России MicroMax предлагает своим клиентам услугу по прогнозированию параметров оптических каналов как рекомендуемую и бесплатную, продвигая оборудование PAV Data Systems (серии SkyCell, SkyNet).

Для примера рассмотрим энергетический запас P_{Σ} оптического канала: $P_{\Sigma} = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}}$ где: $P_{\text{пер}}$ - уровень мощности излучения передатчика $P_{\text{пр}}$ - уровень мощности излучения на входе приемника. Этот параметр для систем с интерфейсом G.703/E1, как наиболее востребованных на рынке телекоммуникаций, представлен в таблице 2.

Таблица 2

Система	$P_{\text{пер}}$, дБм	$P_{\text{пр}}$, дБм	P_{Σ} , дБ
SkyCell E1-T6000	24.8	-60.0	84.8
SkyCell E1-T4000	24.8	-45.0	69.8
SkyCell E1-T338	20.0	-45.0	65.0
SkyCell E1-T456	14.8	-45.0	59.8

Блоки SkyCell E1-T6000 и SkyCell E1-T4000 обладают уникальными характеристиками, существенно превосходящими остальные системы, и не только от PAV. Подавляющее большинство существующих систем имеют выходную мощность не выше 50 мВт (17 дБм), а чувствительность приемника около -43 дБм. При этом, производители обещают рабочие дистанции намного выше 1 км для средней полосы России. Остается только узнать - так ли это? А главное - достаточно ли энергетического запаса оптической системы в $P_{\Sigma}=60$ дБ для работы на дистанциях выше 1 километра? Произведем оценки.

Суммарные потери R_p в канале можно оценить по формуле:

$$R_p = R_{opt} + R_{atm} + R_{ppr}$$

где: R_{opt} - потери оптического согласования, R_{atm} - затухание сигнала в атмосфере, R_{ppr} - потери в приемнике. Из всех составляющих только величина R_{ppr} не зависит от расстояния между оптическими блоками и для большинства систем находится в диапазоне от 1 до 2 дБ. Две остальные величины, кроме прямой зависимости от расстояния, зависят от телесного угла, в котором распространяется поток, размера линзы приемника (для R_{opt}), и от физических характеристик атмосферы (для R_{atm}).

В первом приближении R_{opt} можно определить из простого соотношения площади пятна от луча на стороне приемника к площади линзы этого приемника, т.е. это величина постоянная для каждой конкретной дистанции. Естественное желание некоторых производителей уменьшить R_{opt} путем уменьшения угла расхождения луча иногда не знает меры. При очень малых углах расхождения системы становятся чувствительными к дрожанию атмосферы в жаркий период и к стабильности положения опор. Например, при допустимом уходе положения здания в 1.5 минуты (0.43 мрад) при смене сезонов, и учитывая, что допуск на точность позиционирования систем составляет около 30 секунд (0.15 мрад), на здания можно устанавливать системы с полным углом расхождения только более 1.16 мрад. Если для компенсации нестабильности опор можно применить системы автокоррекции положения, то избавиться от влияния дрожания атмосферы можно только расширяя луч. Таким образом, оптимальная величина этого угла лежит в пределах от 2 до 10 мрад. При слишком большом угле расхождения резко увеличиваются потери R_{opt} .

Для нормальной работы канала необходимо, чтобы: $R_\Sigma > R_p$. Оценим, какой величиной R_{atm} располагает типовая оптическая система на дистанции, например, в 1.5 километра. Принимая угол расхождения луча в 2 мрад, как минимально приемлемый, и диаметр входной линзы в 100 мм, путем несложных вычислений получим $R_{opt} = 29.5$ дБ. Тогда для $R_\Sigma = 60$ дБ и $R_{ppr} = 2$ дБ: $R_{atm} < R_\Sigma - R_{opt} - R_{ppr} = 60 - 29.5 - 2 = 28.5$ дБ.

Что же означают величины R_{atm} с практической точки зрения? Совершенно очевидно, что чем больше допустимая величина R_{atm} , тем более суровые погодные условия может преодолеть оптическая система. Однако, пользователям само это значение говорит только о возможностях конкретной системы по сравнению с другими. В то же время, запас в 28.5 дБ на дистанции 1.5 км может оказаться мал для хорошей работы канала в Москве и вполне достаточен для Астрахани. Сложность задачи состоит в том, чтобы выяснить соответствие этой величины конкретным погодным условиям.

Выражение для оценки R_{atm} слишком просто на первый взгляд:

$$R_{atm} = W \cdot L,$$

где: L - расстояние в км, W - удельное затухание сигнала в атмосфере дБ/км. Однако, вычисление параметра W и составляет основную проблему,

потому что в расчетах необходимо учитывать химический состав атмосферы, наличие аэрозолей, спектральные характеристики атмосферы. Необходимы специальные алгоритмы для описания различного типа осадков (дождя, снега, тумана) и других полупрозрачных сред (пыльные бури, смог). И все это с учетом конкретного региона, высот установки и еще огромного числа параметров, влияющих на конечное значение W . Значения W лежат в очень широком диапазоне от 0.2 дБ/км, для отличной погоды, до 350 дБ/км, для самых густых туманов. Обладая необходимым набором инструментов для расчета, можно точно показать возможности систем уже в «прикладной плоскости». Расчеты показывают, что затуханию 19 дБ/км для типового полупроводникового DFB-лазера с длиной волны 890 нм соответствует легкий туман с видимостью 920 метров. Такие погодные условия, например, в районе аэропорта Шереметьево могут быть до 90 часов в году. Нетрудно посчитать, что коэффициент готовности канала в этом случае будет ниже 99%. Для операторов связи в Москве это неприемлемая величина, если нет резервных каналов.

Для примера приведем графики (см. рис. 13) стойкости систем SkyCell к туману и дождю. D - расстояние между приемопередатчиками в метрах; V - метеорологическая видимость в условиях тумана в метрах):

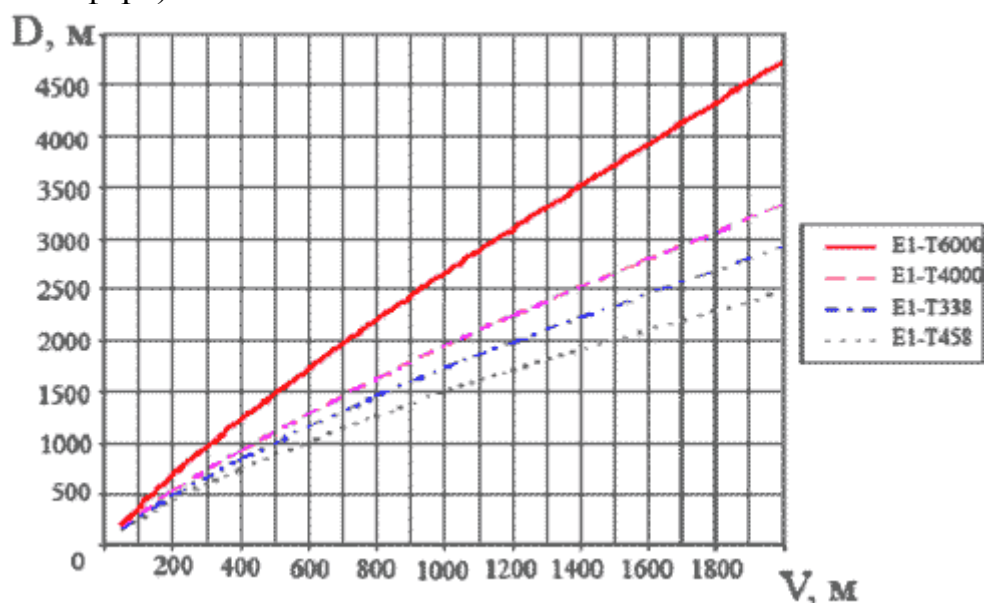


Рис. 13. Стойкости систем SkyCell к туману и дождю. D - расстояние между приемопередатчиками в метрах; V - метеорологическая видимость в условиях тумана в метрах.

Области, находящиеся под линиями на графиках, определяют рабочие зоны оптических систем. Сами же линии означают границу, когда уровень ошибок в канале становится $BER=1.0 \cdot 10^{-9}$. Из Графика 13 становится очевидным, что установленная на дистанции $D=2000$ метров система SkyCell $E1-T6000$, способна нормально работать при метеорологической видимости в туман около $V=709$ метров. А как будет вести себя канал передачи вблизи этой границы? При ухудшении погодных условий сначала будет увеличиваться уровень ошибок. Значения BER выше $1.0 \cdot 10^{-3}$ будут означать, фактически, отказ

канала передачи. Дальнейшее ухудшение видимости приведет к полной блокировке канала. Реально канал будет сохранять работоспособность вплоть до падения видимости до 640 метров.

Однако, следует помнить, что реальная оценка W - удельного затухания сигнала в атмосфере будет зависеть также от спектрального состава излучения.

На рис. 14 в качестве примера приведен спектр атмосферы вблизи длины волны излучения рубинового лазера 0,69 мкм. Имеются количественные измерения коэффициента поглощения практически для любых участков спектра. Если длина волны лазера известна, то поглощение его излучения может быть заранее определено для любых реальных условий в атмосфере.

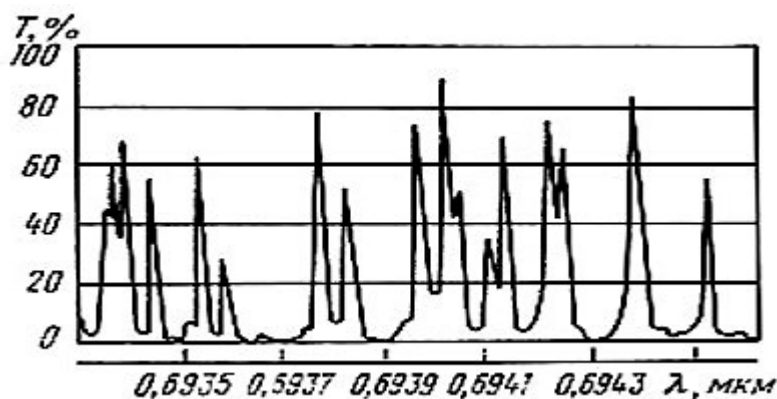


Рис. 14. Спектр поглощения атмосферы вблизи $\lambda=0,69$ мкм

Если лазерное излучение попадает в центр сильной линии спектра поглощения, то оно поглощается атмосферой на 100% даже на небольшом расстоянии. Поэтому для АЛС следует брать лазеры с излучением, находящимся на участках спектра атмосферы, занятых широкими окнами прозрачности или в промежутках между слабыми линиями поглощения, в микроокнах прозрачности. При этом частота излучения должна быть стабилизирована с достаточно высокой точностью, особенно если она находится на близком расстоянии от линии поглощения газов.

Приведенные выше результаты расчетов подтверждаются данными испытаний и опытной эксплуатации систем как в России, так и зарубежом. Для получения же самого «практического» параметра - коэффициента готовности канала, необходимо иметь статистику погоды в конкретном регионе. Опыт работы MicroMax показывает, что метеослужбы с пониманием относятся к подобным запросам и оперативно на них реагируют. Зная стойкость систем ко всем вероятным на месте установке погодным явлениям, можно с высокой достоверностью прогнозировать этот параметр и гарантировать эффективную работу системы передачи данных. На этапе проектирования канала атмосферной оптической связи необходимо задать четкие требования к качеству канала (определяемому коэффициентом готовности и допустимым уровнем ошибок).

Исходя из таковых требований, а также анализируя статистику погоды в

конкретном регионе, где планируется установка канала, и, возможно, прочие особенности объекта, квалифицированный специалист способен (и должен) помочь заказчику в правильном и тщательном выборе подходящего оборудования. Весь набор технических характеристик оборудования должен быть рассмотрен в комплексе, но, пожалуй, наиболее важным, как было показано выше, является энергетический запас системы.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Приборы и оборудование.

Эксперимент проводится на учебной модели приемо — передающего устройства с лазерным каналом связи. В качестве излучателя используется полупроводниковый лазерный светодиод (светодиод с узкой спектральной характеристикой, имеющей ярко выраженный максимум при определенной длине волны и излучающий когерентный свет $\lambda=655$ нм). Роль приемника излучения играет фотодиод, максимум чувствительности которого совпадает с длиной волны излучения лазерного диода.

Принципиальная блок-схема модуля приведена на рис. 15.

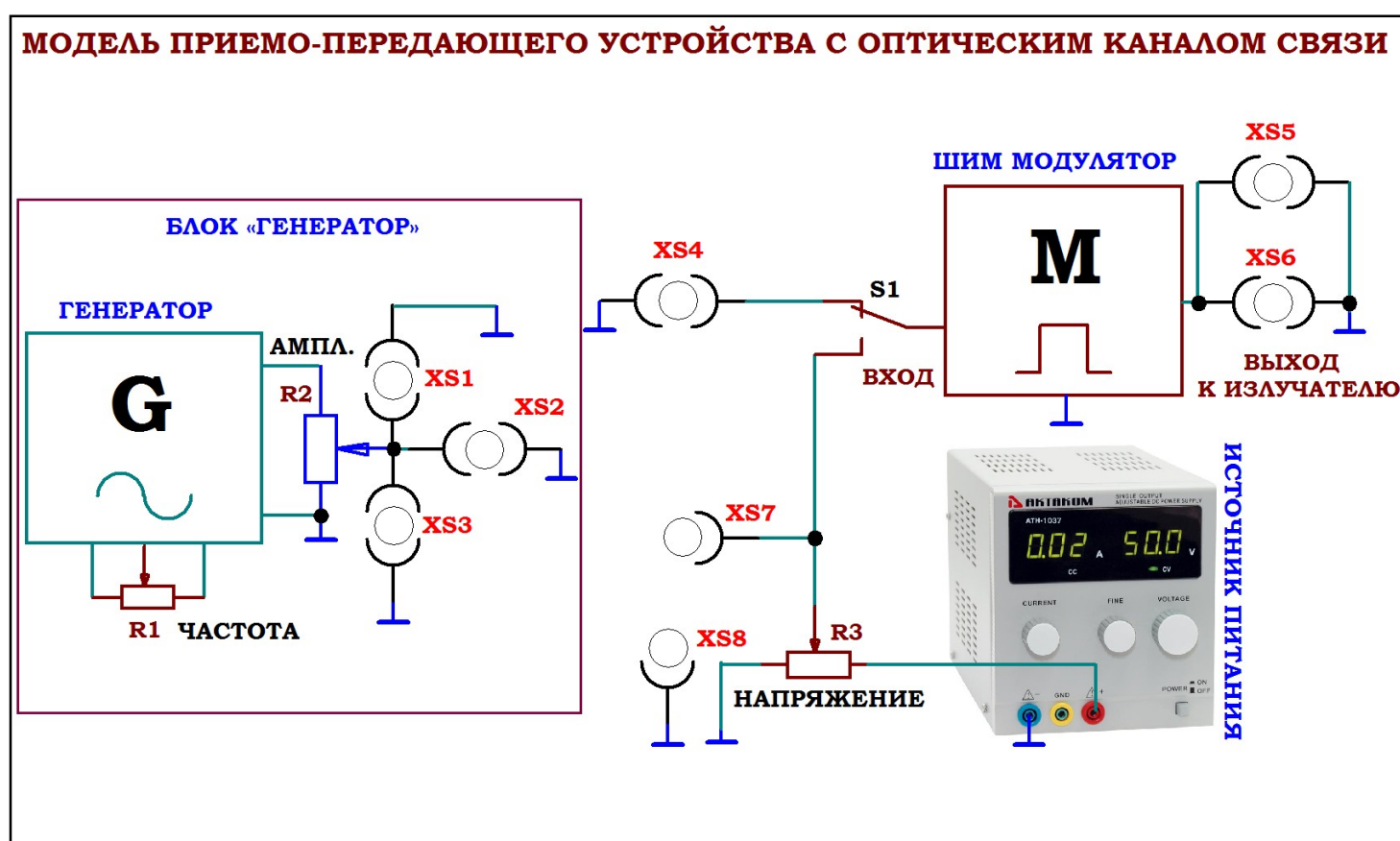


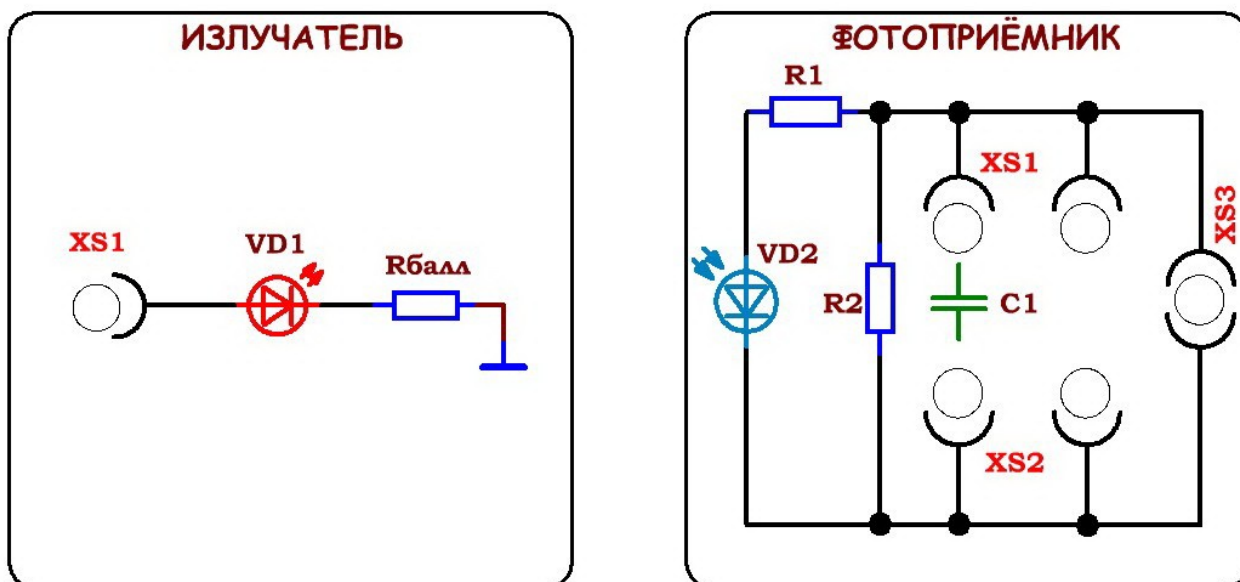
Рис. 15. Модуль «ЛАЗЕРНЫЙ КАНАЛ СВЯЗИ»

Генератор гармонического синусоидального сигнала G с перестраиваемой частотой и регулируемой амплитудой соединяется с помощью сдвоенной переключки типа «тюльпан — тюльпан» со входом XS4 модулятора M. Частота генератора изменяется с помощью ручки «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА». Амплитуда гармонического сигнала с выхода генератора регулируется ручкой «АМПЛИТУДА». Модулятор представляет собой ШИМ — генератор, скважность импульсов которого меняется по закону модулирующего сигнала (в данном случае синуса). Частоту модулятора ступенчато можно изменять с помощью кнопки «ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА» (только при выключенном

модуляторе, кратковременное $\sim 0,5$ секунд одиночное нажатие).

Кнопка «ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА» выполняет также функцию переключателя S1 (удержание кнопки нажатой ~ 2 секунд, функция доступна только при отключенном модуляторе). При этом на дисплее в верхнем правом углу экрана отображается условное положение переключателя S1: цифра «1» - ко входу модулятора подключена клемма XS4 (РЕЖИМ 1 СИНУС), цифра «2» - ко входу модулятора подключена клемма XS7, т. е. средняя точка потенциометра R3 (РЕЖИМ 2 РУЧНОЙ).

Модулятор включается/отключается нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ». При включении модулятора в правом нижнем углу дисплея отображается символ «!». Промодулированный сигнал подается с помощью соединительного экранированного кабеля (сдвоенной перемычки типа «тюльпан — тюльпан») на вход «ИЗЛУЧАТЕЛЯ» (лазерный светодиод, клемма XS1 блока «ИЗЛУЧАТЕЛЬ»). Откуда по воздушному оптическому каналу попадает на соосно расположенный с излучателем «ФОТОПРИЁМНИК». В качестве емкости C1 используются различные конденсаторы из комплекта, подключаемые к клеммам «C1» фотодетектора (выводы XS1 — XS2). Продетектированный сигнал с помощью соединительного провода типа «ТЮЛЬПАН — BNC» подается на резистивный вход Y осциллографа с клеммы XS3 блока «ФОТОПРИЁМНИК», на экране которого должен наблюдаться восстановленный синус, искажения которого будут зависеть от качества детектирования (емкости C1) и параметров передающего устройства (частоты генератора, частоты модулятора, подключенного светодиода).



Лабораторный модуль может работать в двух режимах, выбираемых с помощью переключателя S1 «РЕЖИМ» (комбинированной кнопки ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА/ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ S1): «СИНУС» и «РУЧНОЙ».

При положении переключателя S1 в режиме «СИНУС» (РЕЖИМ 1) на

ВХОД модулятора М поступает модулирующий гармонический синусоидальный сигнал с генератора. При этом на дисплее в верхнем правом углу экрана отображается условное положение переключателя S1 – цифра «1», т. е. ко входу модулятора подключена клемма XS4. Соответственно, скважность импульсов δ ШИМ будет меняться по синусоидальному закону.

При переводе переключателя S1 в положение «РУЧНОЙ» (РЕЖИМ 2) на ВХОД модулятора М подается постоянное напряжение, регулируемое с помощью резистора R3 «НАПРЯЖЕНИЕ». При этом на дисплее в верхнем правом углу экрана отображается условное положение переключателя S1 – цифра «2», т. е. ко входу модулятора подключена средняя точка потенциометра R3. Соответственно, скважность импульсов δ ШИМ будет пропорциональна данному, поданному на вход, напряжению, что позволяет снять характеристику модулятора, т. е. зависимость скважности импульсов δ на выходе от поданного на вход напряжения $U_{вх}$. Установленное значение напряжения $U_{вх}$, подаваемого на ВХОД модулятора М, может быть измерено мультиметром, подключенным в режим вольтметра постоянного тока DCV 20 V, к выводам XS7 — XS8 схемы.

Нажатие кнопки «ДАННЫЕ» включает режим передачи данных по лазерному каналу связи. При этом воспроизводится музыкальный файл, содержание которого может быть услышано при подключении наушников к клеммам «ФОТОПРИЁМНИКА» при настроенной системе приёма-передачи. В правом нижнем углу дисплея отображается при этом символ «S». Отжатие кнопки прекращает передачу данных в течение нескольких секунд (символ S пропадает) и прибор переходит в основной режим работы.

Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть необходимо убедиться в целостности сетевых и соединительных проводов. **Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению, запрещается замыкать выходы контрольных точек, не предназначенные для этого в данной работе!**
2. Включить стенд в сеть ~ 220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель «СЕТЬ ОБЩИЙ» на панели «БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ» в положение «ВКЛ», тумблер «МОДУЛЬ-3» также перевести в положение «ВКЛ» для выполнения данной лабораторной работы.
3. Установить ручку «АС – GND – DC» осциллографа в положение «DC» либо «DC». Вращением ручки «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА» установить минимально возможную частоту синусоидального сигнала. Ручку «АМПЛИТУДА», предназначенную для регулировки амплитуды сигнала с выхода синусоидального генератора, поставить в максимальное положение. Длительным, ~ 2 секундным удержанием кнопки «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА/ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ S1», установить режим работы в положение «СИНУС» (РЕЖИМ 1). При этом на дисплее в верхнем правом углу экрана отображается условное положение переключателя S1 – цифра «1», т. е. ко входу модулятора подключена клемма XS4.
4. Подключить выход «ГЕНЕРАТОР» XS1 (||XS2||XS3) с помощью соединительного провода типа «ТЮЛЬПАН — BNC» ко входу Y осциллографа.
5. Вращением ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ и ВРЕМЯ/ДЕЛ) и ручек POSITION осей X и Y на электронном осциллографе добиться визуально наиболее удобного изображения сигнала. Для дополнительной синхронизации можно использовать ручку LEVEL. Ручка «Y-LINE-EXT» метода синхронизации должна находиться в положении Y (внутренняя синхронизация). При этом следует учитывать, что оси X (время) и Y (амплитуда) откалиброваны правильно (т. е. подписи у ручек VOLTS/DIV и TIME/DIV верны) только при повернутых до упора ручках плавной регулировки VOLT VAR. и TIME VAR.
6. Оценить по клеткам визуально частоту синусоидального сигнала. Вследствие низкой частоты луч на экране осциллографа будет медленно описывать синусоиду.
7. Отключить соединительный провод типа «ТЮЛЬПАН — BNC» от выхода «ГЕНЕРАТОР» учебной установки и соединить сдвоенной перемычкой типа «тюльпан — тюльпан» выход XS1 (либо, подключенные параллельно клеммы ||XS2||XS3) генератора G со входом XS4 модулятора M. Модулятор должен быть выключен (кнопка «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ» отжата).
8. С помощью кнопки «ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА» установить минимально

- возможную частоты ШИМ модулятора по показаниям LCD индикатора.
9. Включить ШИМ нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ» при этом на LCD дисплее должен отобразиться «!». Подключить соединительный провод типа «ТЮЛЬПАН — BNC» к выходу модулятора XS5 (||XS6) и наблюдать на экране осциллографа за плавным изменением скважности прямоугольных сигналов. Определить частоту ШИМ (остается неизменной) и сравнить с показаниями LCD индикатора на учебной установке.
 10. Плавно вращая ручку «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА» наблюдать на экране осциллографа за скоростью изменения скважности импульсов ШИМ.
 11. Отключить ШИМ нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ». Установить с помощью кнопки «ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА» частоту ШИМ 31,7 кГц.
 12. Подключить к выходу модулятора XS5 (||XS6) с помощью соединительной сдвоенной перемычки типа «тюльпан — тюльпан» один вход XS1 «ИЗЛУЧАТЕЛЯ» (лазерный светодиод). Расположить фотодетектор соосно на одной линии с излучающим светодиодом на расстоянии $\sim 3 - 5$ см, таким образом, чтобы световой поток от лазерного диода попадал на чувствительный приемник — фотодиод.
 13. Ручку управления «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА» установить в среднее положение.
 14. Включить модулятор нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ».
 15. Подключить конденсатор средней емкости к клеммам «C1» фотодетектора. Сигнал с выхода XS3 фотодетектора при помощи соединительного провода типа «ТЮЛЬПАН — BNC» подать на вход Y осциллографа. Ручку VOLTS/DIV осциллографа установить в положение 10 mV либо 5 mV на деление, так как сигнал с фотодиода достаточно слабый. На экране должен наблюдаться протектированный синусоидальный сигнал с некоторыми искажениями рис. 16.

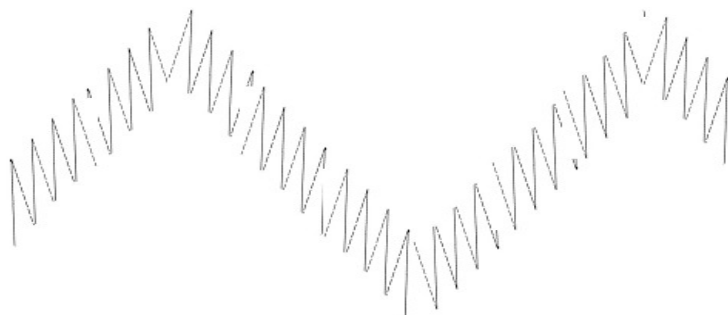


Рис. 16. Протектированный сигнал с выхода фотодетектора.

16. Зарисовать сигнал по клеткам на миллиметровую бумагу. Определить амплитуду, период и частота сигнала. Оценить коэффициент искажений сигнала как отношение амплитуды искажения к амплитуде восстановленного полезного сигнала: $K_{\text{искажений}} = \frac{U_{\text{искаж.}}}{U_{\text{полез.}}}$ (рис. 16).

17. Подключить к свободной выходной клемме XS1 (||XS2||XS3) генератора соединительный провод типа «ТЮЛЬПАН — BNC», подав тем самым на вход Y осциллографа сигнал, который необходимо было восстановить в процессе детектирования.

18. Зарисовать сигнал по клеткам на миллиметровую бумагу. Определить амплитуду, период и частота сигнала и сравнить полученные значения со значениями продетектированного сигнала. Частоты сигналов должны совпадать, а отношение амплитуды с выхода фотодетектора к амплитуде исходного сигнала позволяет оценить значение передаточной функции

$$\text{устройства: } K_{\text{передачи}} = \frac{U_{\text{вых. фото}}}{U_{\text{ген}}}.$$

19. Отключить ШИМ нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ». Установить с помощью кнопки «ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА» частоту ШИМ 4 кГц.

20. Повторить пп. 12 — 18 для другой частоты модулятора с конденсатором этого же номинала.

21. Устанавливая низкие частоты ШИМ понаблюдать за процессом детектирования. При низких частотах модулятора полезный сигнал практически исчезает на фоне шумов.

22. На частотах модулятора ШИМ 4 кГц и 31,7 кГц подключать конденсаторы других номиналов к клеммам «С1» и повторить пп. 12 — 18.

23. Сделать выводы о влиянии частоты модулятора, емкости конденсатора на качество детектирования сигнала коэффициент

$$K_{\text{передачи}} = \frac{U_{\text{вых. фото}}}{U_{\text{ген}}}.$$

24. Подключить к клеммам «ФОТОПРИЁМНИКА» наушники из комплекта. Нажать кнопку «ДАННЫЕ» на учебной установки и расположить «ИЗЛУЧАТЕЛЬ» соосно с «ФОТОПРИЁМНИКОМ». При этом по оптическому каналу связи передается звуковой музыкальный файл, качество передачи которого будет зависеть от частоты ШИМ-модулятора.

25. Отжать кнопку «ДАННЫЕ» и отключить ШИМ модулятор кнопкой «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ». Переключатель режима работы S1 «РЕЖИМ» установить в положение «РУЧНОЙ» (длительное ~ 2 секундное удержание комбинированной кнопки), при этом на ВХОД модулятора М подается постоянное напряжение, регулируемое с помощью резистора R3 «НАПРЯЖЕНИЕ». На дисплее в верхнем правом

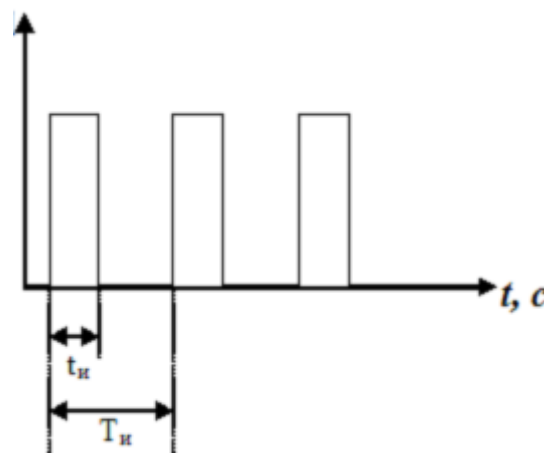


Рис. 17. К определению скважности импульсов δ .

углу экрана отображается условное положение переключателя S1 – цифра «2», т. е. РЕЖИМ 2.

26. Подключить к свободной выходной клемме модулятора М XS5 (||XS6) соединительный провод типа «ТЮЛЬПАН — BNC», подав тем самым сигнал ШИМ на вход Y осциллографа и включить ШИМ модулятор кнопкой «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ».
27. Вращая ручку управления «НАПРЯЖЕНИЕ», снять зависимость скважности импульсов δ на выходе модулятора М от поданного на вход напряжения $U_{вх}$ и построить график зависимости $\delta=\delta(U_{вх})$ на миллиметровой бумаге. **Скважностью импульсов δ мы будем называть отношение $\delta=\frac{t_{и}}{T_{и}}$, где $t_{и}$ – длительность импульса, $T_{и}$ – период следования импульсов** рис. 17. Установленное значение напряжения $U_{вх}$, подаваемого на ВХОД модулятора М, может быть измерено мультиметром из «БЛОКА МУЛЬТИМЕТРОВ», подключенным в режим вольтметра постоянного тока DCV 20 V, к выводам XS7 — XS8 схемы.
28. По окончании работы отключить электронный осциллограф и учебную установку от сети, поставить все сетевые переключатели в положение «ВЫКЛ».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Поясните необходимость управления колебаниями радиочастоты передатчика.
2. Что такое модуляция? Назовите виды ее.
3. Что такое амплитудная модуляция? Широотно — импульсная модуляция?
4. Назовите способы осуществления амплитудной и ШИМ модуляции.
5. Какие еще виды импульсной модуляции вы знаете?
6. Расскажите о процессе детектирования колебаний.
7. Приведите пример схемы простейшего АМ — детектора и поясните принцип ее работы.
8. Вследствие чего в детекторе возникают нелинейные искажения?
9. Что называют лазерным воздушным каналом связи?
10. Как оценить дальность связи?
11. Назовите способы повышения уровня надежности беспроводной оптической связи.
12. Объясните принципиальную блок-схему установки РТРУЛ-11 для изучения передачи сигналов посредством лазерного канала связи. Какой тип модуляции применен в установке?
13. От каких параметров модулятора и детектора зависит качество полученного полезного сигнала?

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Радиопередающие устройства, Учебник для ВУЗов/Под редакцией В.В. Шахгильдяна - М.: Радио и связь, 2003.-560 с.
2. Ворона В.А. Радиопередающие устройства. Основы теории и расчета: Учебное пособие для вузов. _ М.: Горячая линия – Телеком. – 384 с.
3. Проектирование радиопередатчиков: Учебное пособие для вузов/Под редакцией В.В. Шахгильдяна, - М.: Радио и связь, 2003.-656 с.
4. Устройства генерирования и формирования радиосигналов/Под редакцией Г.М. Уткин, В.Н. Кулешова и М.В. Благовещенского,- М.: Радио и связь, 1994.
4. Каганов В.И. Радиопередающие устройства: Учебник для сред. проф. Образования. М.: ИРПО: Изд. Центр <Академия>, 2002.-188 с.
5. Каганов В.И. Радиотехника + компьютер + Matcad. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. - 416 с.
6. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение. М.: Солон-Р, 2000.-506 с.
7. В.П. Бакалов, А.А. Игнатов, Б.И. Крук. Основы теории электрических цепей и электроники: Учебник для высших учебных заведений.- М.: Радио и связь, 1989. - 525 с.
8. И.С. Гоноровский. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для высших заведений. – М.: Радио и связь, 1996. - 512с.
9. Клоков В.В., Павликов С.Н Проектирование радиопередающего устройства с частотной модуляцией: Учебно-методическое пособие. – Владивосток, МГУ, 2008. – 75с.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**