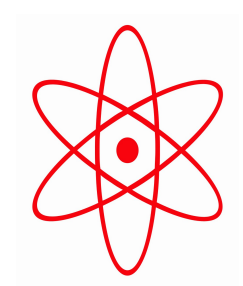


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



**РТРУЛ-7**

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

Тула, 2012 г.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

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

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

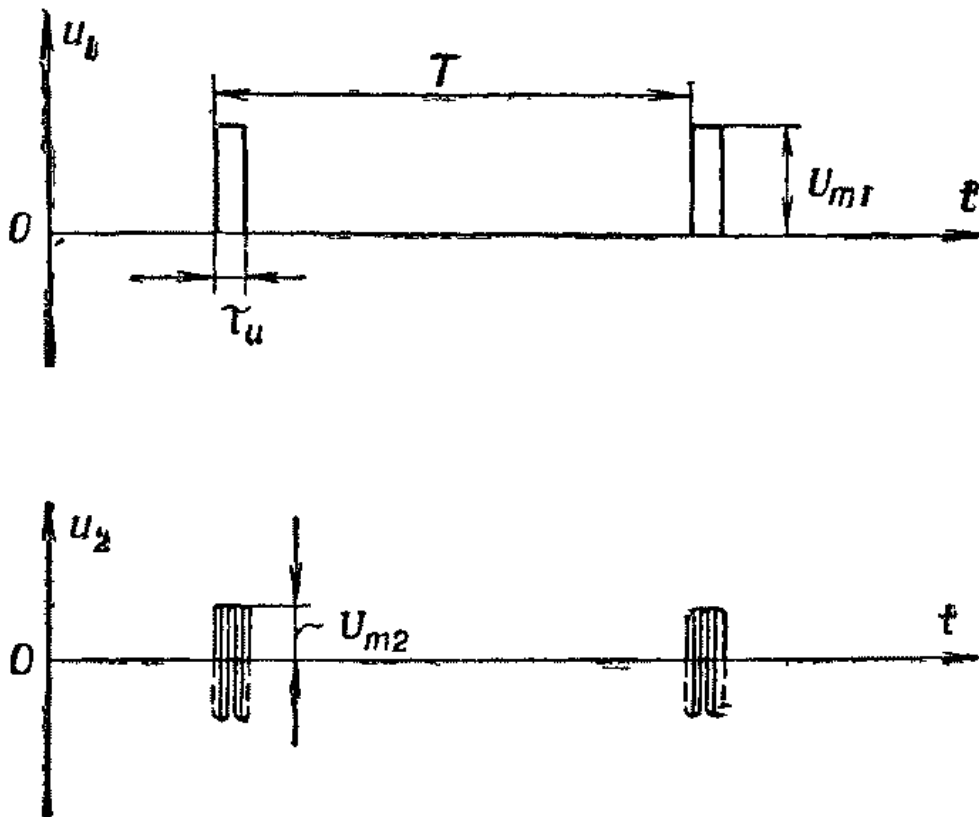


Рис. 1 Импульсная модуляция, используемая в РЛС:

$u_1$  — 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.

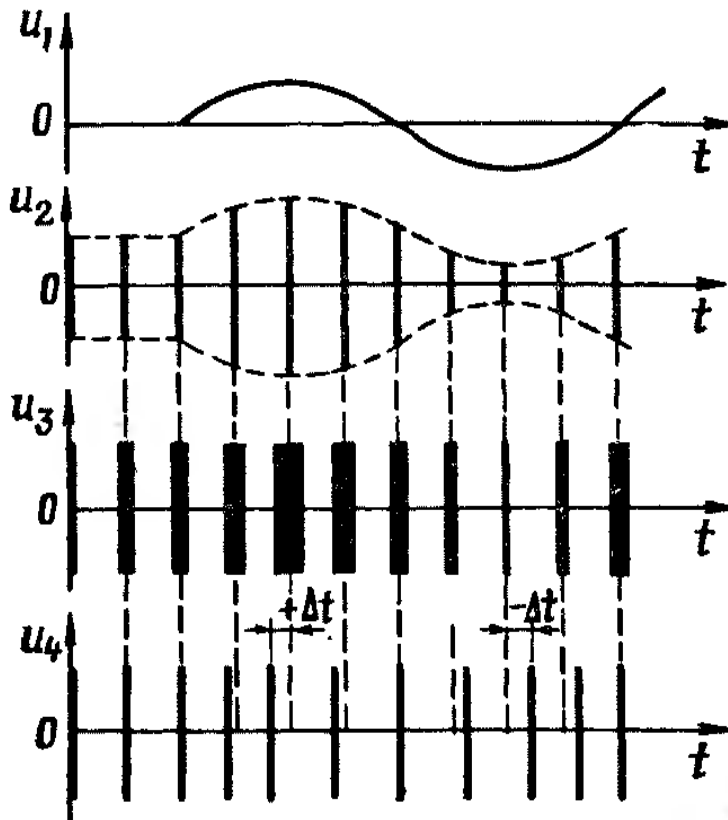


Рис. 2 Различные виды импульсной модуляции

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

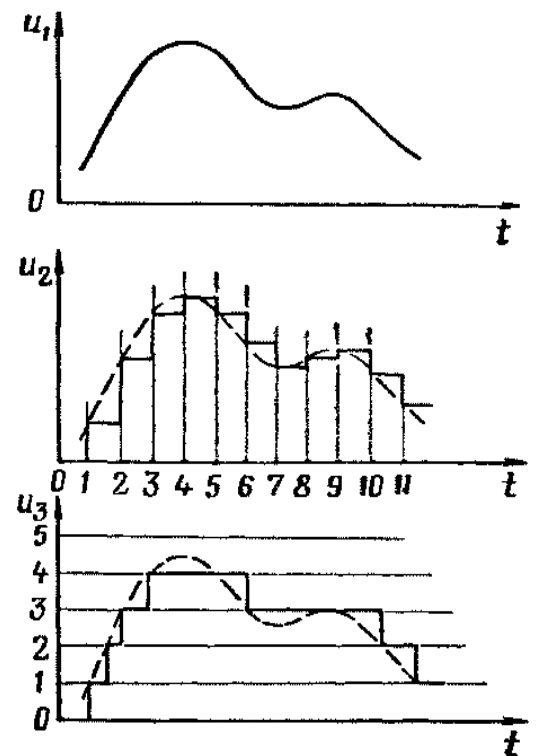


Рис. 3 Квантование сигнала:

$u_1$  — 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  $\Delta t$ , 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.

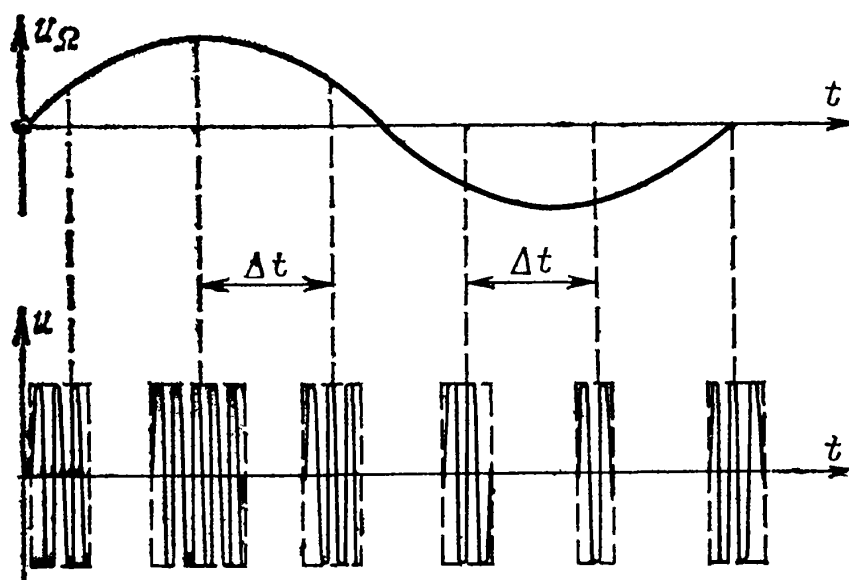


Рис. 4 . Колебания при ШИМ

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  $\Delta T_i$  - продолжительность  $i$ -го ШИМ импульса, каждого с амплитудой  $A$ .  $\Delta T_i$  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,  $\tau$  — 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.

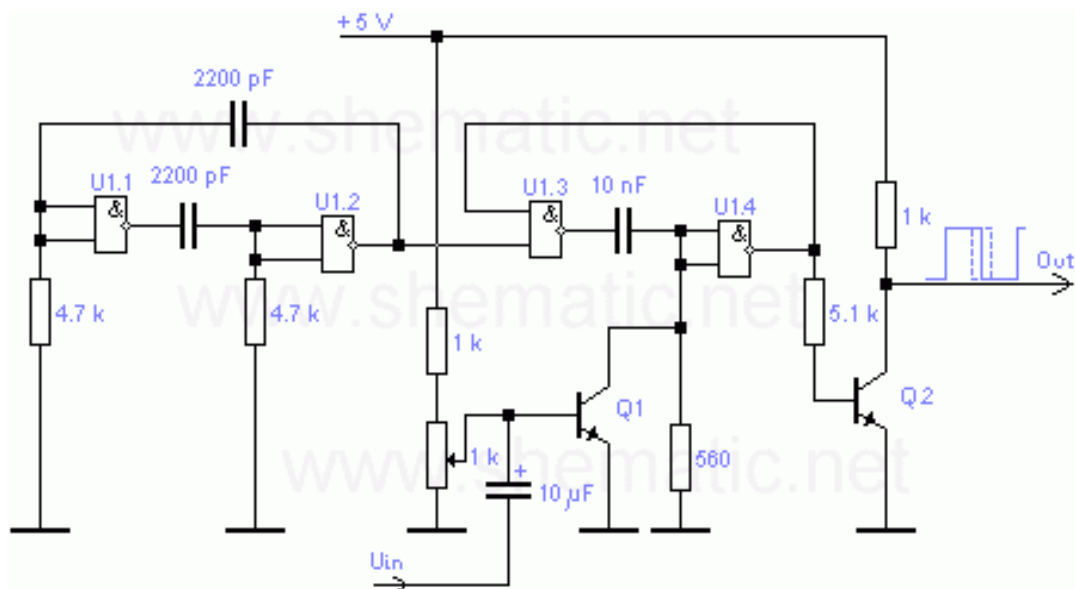


Рис. 5 Широтно-импульсный модулятор на логических элементах.

### 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

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

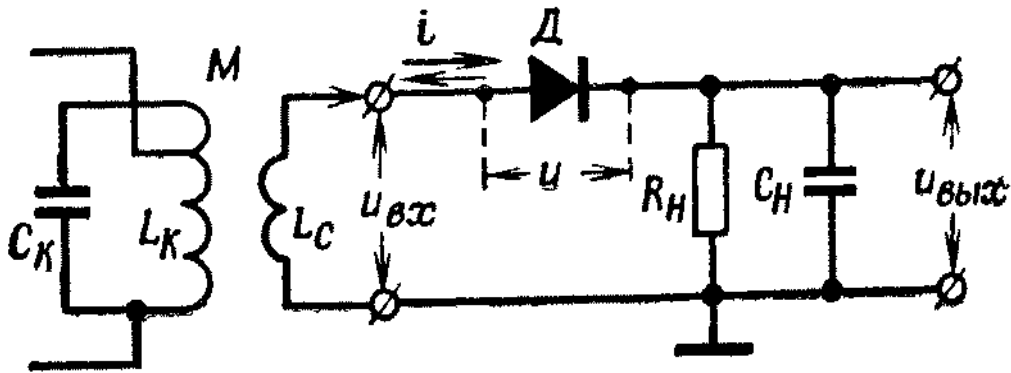


Рис. 6 . Простейшая схема диодного детектора на полупроводниковом диоде

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.

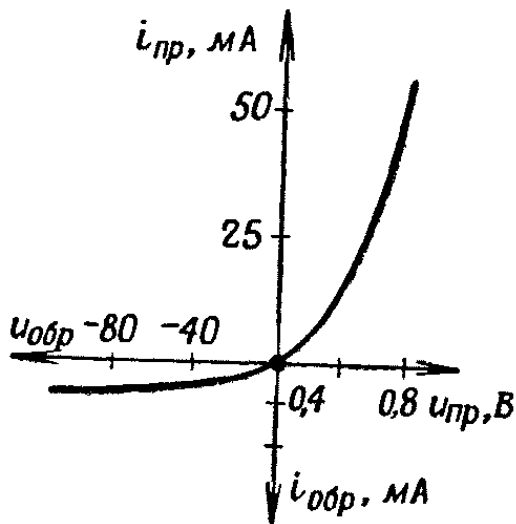


Рис. 7 Типичная характеристика полупроводникового детекторного диода

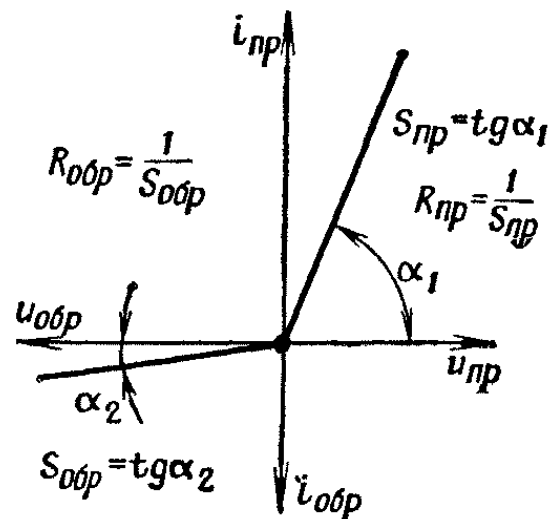


Рис. 8 Идеализированная характеристика полупроводникового детекторного диода

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

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

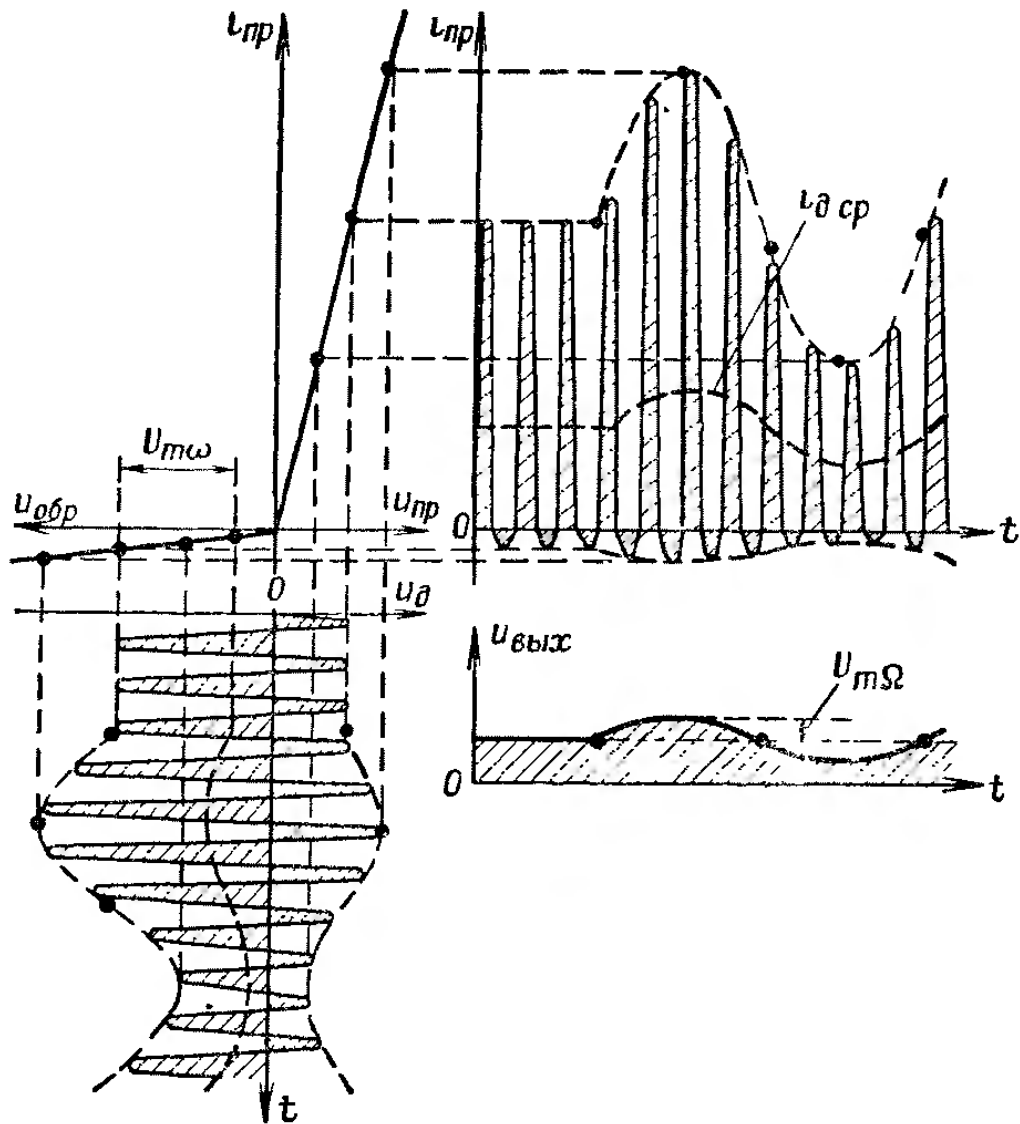


Рис. 9 Графики процесса детектирования амплитудно-модулированных колебаний полупроводниковым диодом

### 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.

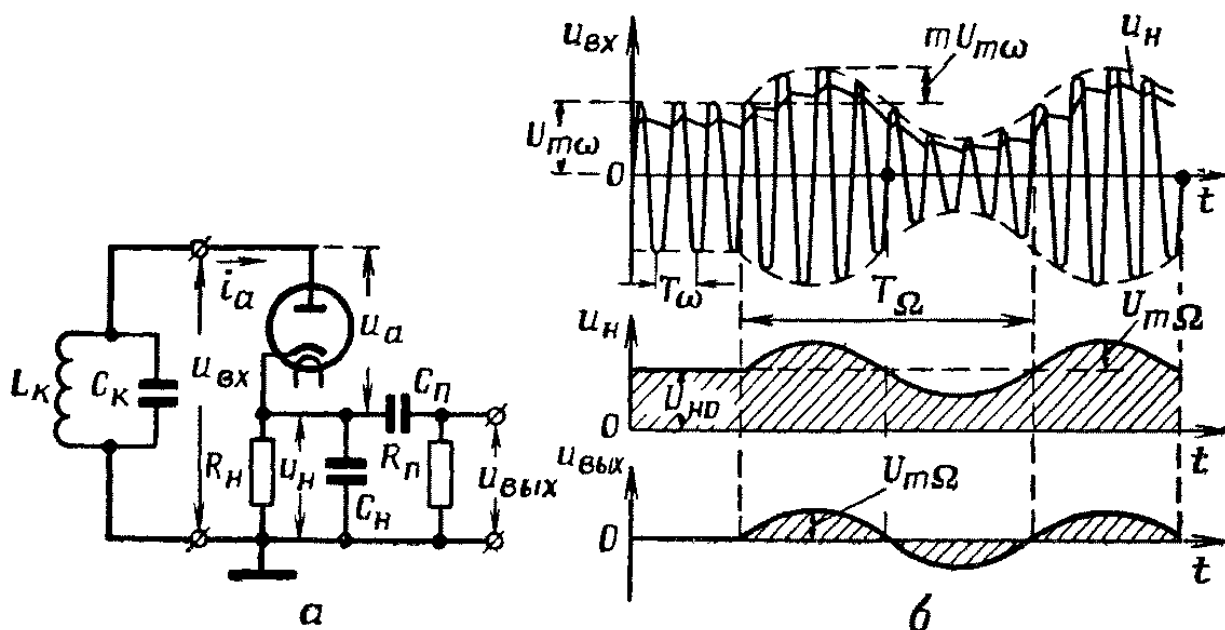


Рис. 10 Схема диодного детектора приемника связи и графики процесса преобразования модулированного напряжения высокой частоты в напряжение звуковой частоты

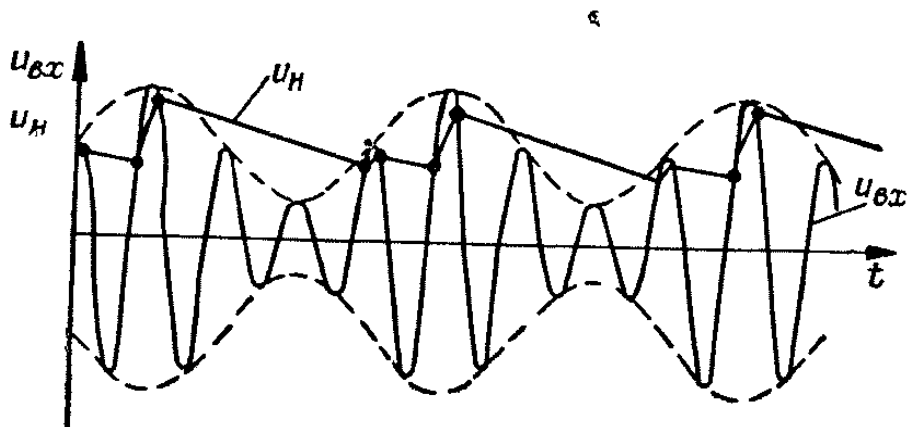


Рис. 11 Нелинейные искажения в диодном детекторе

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.

### **Бескабельные каналы связи.**

Кроме кабельных (передача сигналов по проводам), в компьютерных сетях иногда используются также бескабельные каналы. Их главное преимущество состоит в том, что не требуется никакой прокладки проводов (не надо делать отверстий в стенах, не надо закреплять кабель в трубах и желобах, прокладывать его под фальшполами, над подвесными потолками или в вентиляционных шахтах, не надо искать и устранять повреждения кабеля).

Радиоканал использует передачу информации по радиоволнам, поэтому он может обеспечить связь на многие десятки, сотни и даже тысячи километров. Скорость передачи может достигать десятков мегабит в секунду здесь многое зависит от выбранной длины волны и способа кодирования. Однако в локальных сетях радиоканал не получил широкого распространения из-за довольно высокой стоимости передающих и приемных устройств, низкой помехозащищенности, полного отсутствия секретности передаваемой информации и низкой надежности связи. А вот для глобальных сетей радиоканал часто является единственно возможным решением, так как позволяет с помощью спутников-ретрансляторов сравнительно просто обеспечить связь со всем миром. Используют радиоканал, и для связи двух и более локальных сетей, находящихся далеко друг от друга, в единую сеть.

Существует несколько стандартных типов радиопередачи информации. Остановимся на двух из них.

1) Передача в узком спектре (или одночастотная передача) рассчитана на охват площади до 46 500 м<sup>2</sup>. Радиосигнал в данном случае не проникает через металлические и железобетонные преграды, поэтому даже в пределах одного здания могут быть серьезные проблемы со связью. Связь в данном случае относительно медленная (около 4,8 Мбит/с).

2) Передача в рассеянном спектре для преодоления недостатков одночастотной передачи предполагает использование некоторой полосы частот, разделенной на каналы. Все абоненты сети через определенный временной интервал синхронно переходят на следующий канал. Для повышения секретности используется специальное кодирование информации. Скорость передачи при этом невысока - не более 2 Мбит/с, расстояние между абонентами - не более 3,2 км на открытом пространстве и не более 120 м внутри здания.

Кроме указанных типов, существуют и другие радиоканалы, например сотовые сети, строящиеся по тем же принципам, что и сотовые телефонные сети (они используют равномерно распределенные по площади ретрансляторы), а также микроволновые сети, применяющие узконаправленную передачу между наземными объектами или между спутником и наземной станцией.

**Инфракрасный канал** также не требует соединительных проводов, так как использует для связи **инфракрасное излучение (подобно пульту дистанционного управления домашнего телевизора)**. Главное его преимущество по сравнению с радиоканалом - нечувствительность к электромагнитным помехам, что позволяет применять его, например, в



производственных условиях. Правда, в данном случае требуется довольно высокая мощность передачи, чтобы не влияли никакие другие источники теплового (инфракрасного) излучения. Плохо работает инфракрасная связь и в условиях сильной запыленности воздуха.

Предельные скорости передачи информации по инфракрасному каналу не превышают 5-10 Мбит/с. Секретность передаваемой информации, как и в случае радиоканала, также не достигается. Как и в случае радиоканала требуются сравнительно дорогие приемники и передатчики. Все это приводит к тому, что применяют инфракрасные каналы довольно редко.

Инфракрасные каналы делятся на две группы:

1) Каналы прямой видимости, в которых связь осуществляется на лучах, идущих непосредственно от передатчика к приемнику. При этом связь возможна только при отсутствии препятствий между компьютерами сети. Протяженность канала прямой видимости может достигать нескольких километров.

2) Каналы на рассеянном излучении, которые работают на сигналах, отраженных от стен, потолка, пола и других препятствий. Препятствия в данном случае не страшны, но связь может осуществляться только в пределах одного помещения.

## Инфракрасное излучение.

Инфракрасное излучение - электромагнитное излучение, расположенное в электромагнитном спектре перед красным концом видимых лучей.

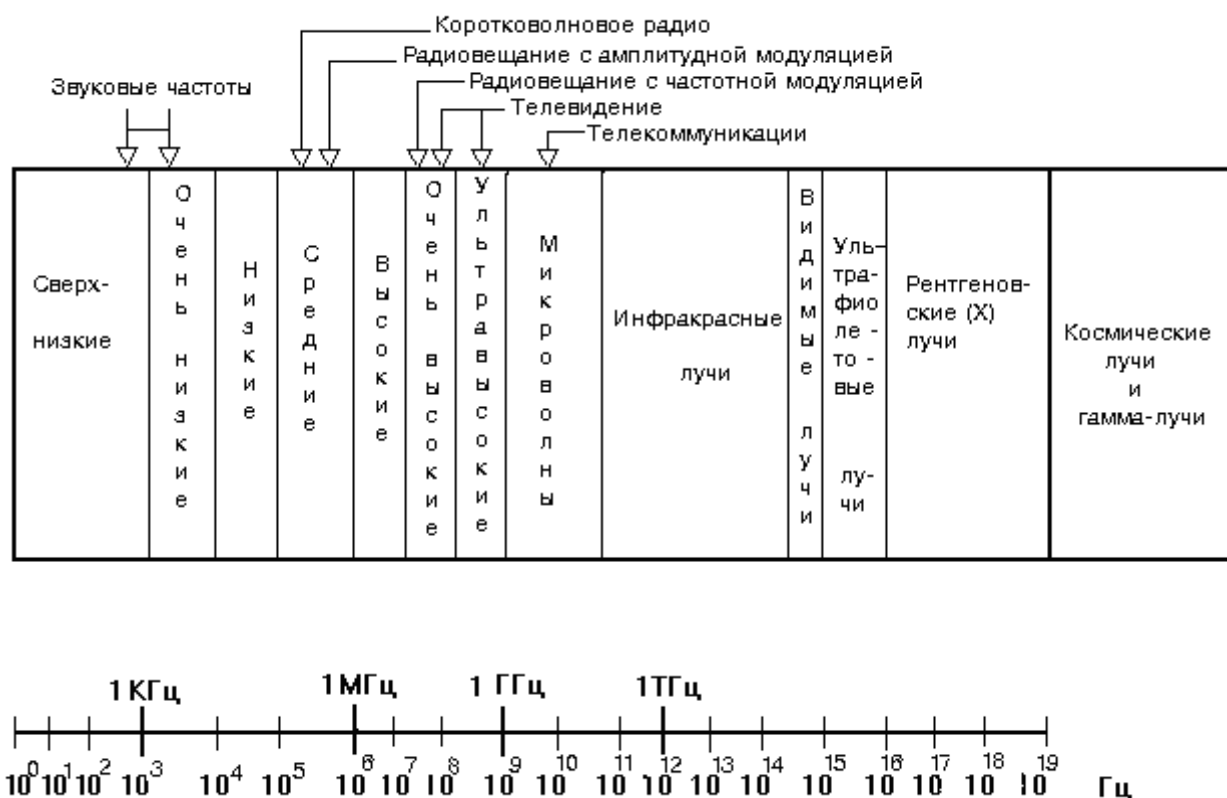


Рис. 12. Структура электромагнитного спектра.

Электромагнитный спектр определяет полосы частот, используемые для передачи звука, радиоизлучения, инфракрасного излучения, света. Внутри этих, основных, диапазонов выделяются полосы, используемые в применяемых технологиях передачи данных.

Инфракрасное излучение занимает полосу частот электромагнитного спектра от 50-100 ГГц до 400 ТГц. В соответствии с этим оптические характеристики рассматриваемого излучения значительно отличаются от тех же характеристик видимых лучей. Так, слой воды толщиной несколько сантиметров непрозрачен для инфракрасного излучения. И, наоборот, пластинки германия и кремния для него прозрачны. Инфракрасное излучение легко проходит от солнца до земли. Однако в атмосфере оно быстро ослабляется в результате рассеяния и поглощения. Особенно сильно излучение поглощается парами воды (снег, дождь), частицами пыли и дыма. Вместе с этим, при передаче инфракрасного излучения через специальные световоды, указанные помехи отсутствуют. Важно, что рассматриваемое излучение защищено от многих электромагнитных помех.

Беспроводные оптические линии связи используют спектральный диапазон лазерного инфракрасного излучения (как правило, от 700 до 1400 нм). Этот участок спектра соответствует так называемому "окну прозрачности" атмосферы, благодаря чему поглощение излучаемого сигнала атмосферными газами пренебрежимо мало.

Функциональная схема системы лазерной связи очень проста:

- блок обработки принимает сигналы от различных стандартных устройств (телефона, факса, цифровой АТС, локальной компьютерной сети) и преобразует их в приемлемую для передачи лазерным модемом форму;
- преобразованный сигнал передается электронно-оптическим блоком в виде инфракрасного излучения;
- на приемной стороне собранный оптической системой свет падает на фотоприемник, где преобразуется обратно в электрические сигналы;
- усиленный и обработанный электрический сигнал поступает на блок обработки сигналов, где восстанавливается в первоначальном виде.

Сама технология передачи основывается на передаче данных модулированным излучением в инфракрасной части спектра через атмосферу. Передатчиком служит – полупроводниковый излучающий диод. В качестве приемника используется высокочувствительный фотодиод. Излучение воздействует на фотодиод, вследствие чего регенерируется исходный модулированный сигнал. Далее, сигнал демодулируется и преобразуется в

сигналы выходного интерфейса.

Самым непредсказуемым элементом в системе является среда передачи данных - атмосфера с ее погодными явлениями. Вкратце рассмотрим особенности передачи ИК сигнала через атмосферу.

Длина волны в большинстве реализованных систем варьируется в пределах 720 – 950 нм. Это близкий к видимому инфракрасный спектр. Но почему именно он? Дело в том, что существующие технологические наработки, включающие и разработку технологии производства полупроводниковых лазеров, были сделаны из расчета компромисса между принципиально доступными длинами волн излучателей и приемлемыми диапазонами пропускания оптоволокон. Поэтому, выбор в длинах волн ограничен возможностями излучателей и приемников (фотодиодов). Кроме диапазона 720-950 нм, существуют компоненты для диапазонов около 1300 нм и 1500 нм.

Существует много публикаций о влиянии тумана, дождя, снега и прочих атмосферных и погодных явлений на ИК системы. Однако, кроме достаточно простых, учитывающих ограниченный набор факторов, влияющих на атмосферный канал передачи, подходов к моделированию канала в этих публикациях найдено немного.

Затухание ИК сигнала включает в себя аэрозольное затухание т. е. на мельчайших капельках влаги, находящейся в воздухе, и резонансное поглощение на молекулах различных газов, входящих в состав атмосферы ( $O_2$ ,  $O_3$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$  и др.). На резонансное поглощение особенно сильное влияние оказывают параметры спектра излучения, такие как , ширина, структура и количество мод излучения и т.д. Расчеты резонансного поглощения производятся "линия к линии" (line by line) с учетом огромной базы данных по спектральным характеристикам атмосферы.

Знание всех этих нюансов дает возможность не только выбрать правильный диапазон для передачи, но также правильно спроектировать систему, а в эксплуатации - правильно предсказать параметры канала и поведение систем при различных погодных условиях.

Затухание сигнала при различных погодных явлениях также достаточно точно моделируется. Например, туманы и дожди легко формализуются расширенной моделью аэрозольного поглощения. На самом деле, такая преграда, как дождь не представляет серьезной угрозы для ИК соединения. Даже уровни осадков до 75 мм/час (почти тропический ливень), практически плохо преодолеваемые радиорелейными системами в диапазонах 18-54 ГГц, не нарушают работу современных ИК беспроводных каналов на рабочих дистанциях.

Уменьшение прозрачности атмосферы при изменении погодных условий негативно влияет на доступность инфракрасного канала либо (при заданной доступности) приводит к уменьшению дальности связи.

Влияние атмосферных явлений лимитирует максимальную

протяженность канала связи (при фиксированном уровне его доступности), а требование прямой видимости накладывает дополнительные ограничения на высоту установки приемопередающих устройств и их направленность.

Из-за того, что погодные условия влияют на надежность передачи, перед началом эксплуатации системы в каждой конкретной местности необходимо проводить ее тестирование. Общее правило заключается в том, что важен не столько тип осадков, сколько время их непрерывного воздействия на канал, поэтому, скажем, туман в большей степени влияет на состояние ИК-канала, чем дождь или снег.

Зависимость от состояния атмосферы приводит к тому, что доступность канала обратно пропорциональна дальности передачи. Так, при дальности 40 км доступность в среднем за год составит всего 40—50%, хотя летом значение этого показателя будет несколько выше. И наоборот, сближение приемника и передатчика на расстояние 500 м обеспечит доступность до 99,9%.

Впрочем, на практике беспроводные каналы обычно организуются для соединения узлов, разнесенных на несколько километров. Приведенные цифры следует воспринимать как верхние граничные значения; реальные параметры могут оказаться несколько ниже — в зависимости от особенностей конкретной территории. Скажем, с учетом суммарной продолжительности туманов в Москве (около 24 ч в год) среднегодовая доступность канала составит 98,6%, а в районе Шереметьево, где туманы наблюдаются в два раза чаще, значение этого показателя будет еще ниже.

Атмосферными факторами, в наибольшей мере влияющими на стабильность ИК систем, являются туман и неоднородности показателя преломления — микролинзы, вызванные конвекцией теплых и холодных потоков воздуха (см. рис. 13). Затухание оптического сигнала, вызванные конвекцией, могут достигать 30 дБ.

Ослабление оптического сигнала, вызванное влиянием тумана, гораздо выше и может, в наиболее худших случаях, достигать 300—350 дБ на километр. Большинство ИК систем, с тем чтобы обеспечить приемлемую надежность передачи данных, изначально разрабатывается с некоторым «запасом прочности», который, как правило, превышает 30 дБ. То есть, доступность на расстояниях в пределах 100 метров оказывается практически 100-процентной, а сцинтилляцией можно, вообще говоря, пренебречь. Она может сказаться в сколько-нибудь заметной мере только при динамическом управлении излучаемой мощностью, и, в принципе, ее воздействие может быть занесено в обратный контур регулирования.

Именно из-за тумана коэффициент доступности большинства ИК-систем не поднимается выше 97–99 процентов. И именно разной степенью



Рис. 13. Зависимость коэффициента затухания от погодных условий.

защищенности от тумана и обусловлен весьма значительный ценовой разрыв между разными ИК-системами.

Пример «идеальной» и практической систем:  
определяющим фактором остается атмосфера

|                                                       | Практическая система |            | «Идеальная» система |            |
|-------------------------------------------------------|----------------------|------------|---------------------|------------|
| Излучаемая мощность                                   | 30 мВт               | 15 дБм     | 10 Вт               | 40 дБм     |
| Чувствительность приемника                            | 25 нВт               | -46 дБм    | 1 наноВатт          | -60 дБм    |
| Потери наведения                                      |                      | 3 дБ       |                     | 0          |
| Оптические потери                                     |                      | 4          |                     | 0          |
| Запас по мощности                                     |                      | 54 дБ      |                     | 100 дБ     |
| Дальность в условиях тумана<br>с затуханием 350 дБ/км |                      | 140 метров |                     | 286 метров |

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.

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  $R_{opt}$ .

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  $R_{atm}$  слишком просто на первый взгляд:

$$P_{\text{атм}} = W \cdot L$$

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 ИК-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.

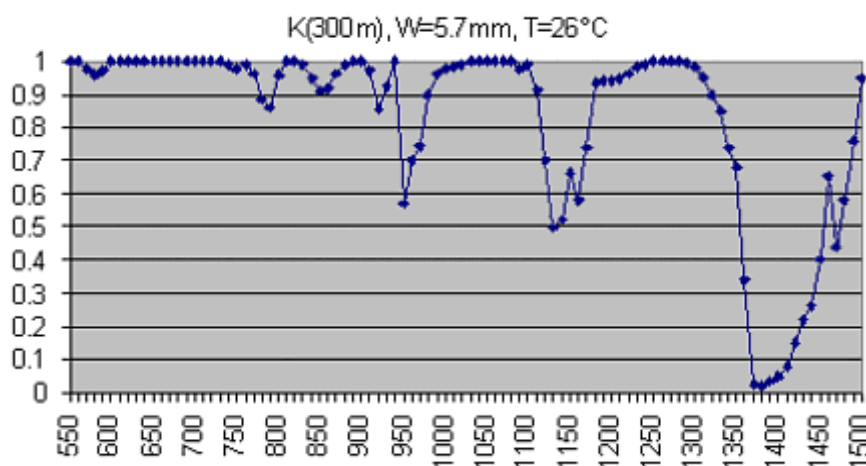


Рис. 14. График пропускания атмосферы. (По оси ординат – коэффициент пропускания, по оси абсцисс указана длина волны в нм)

На рис. 14 представлен график пропускания атмосферы, снятый с низким разрешением. Можно увидеть, что в диапазоне длин волн 690-700 нм относительно широкополосный сигнал практически не ослабляется. А теперь посмотрим на тот же диапазон, снятый с высоким разрешением (см. Рис. 15).

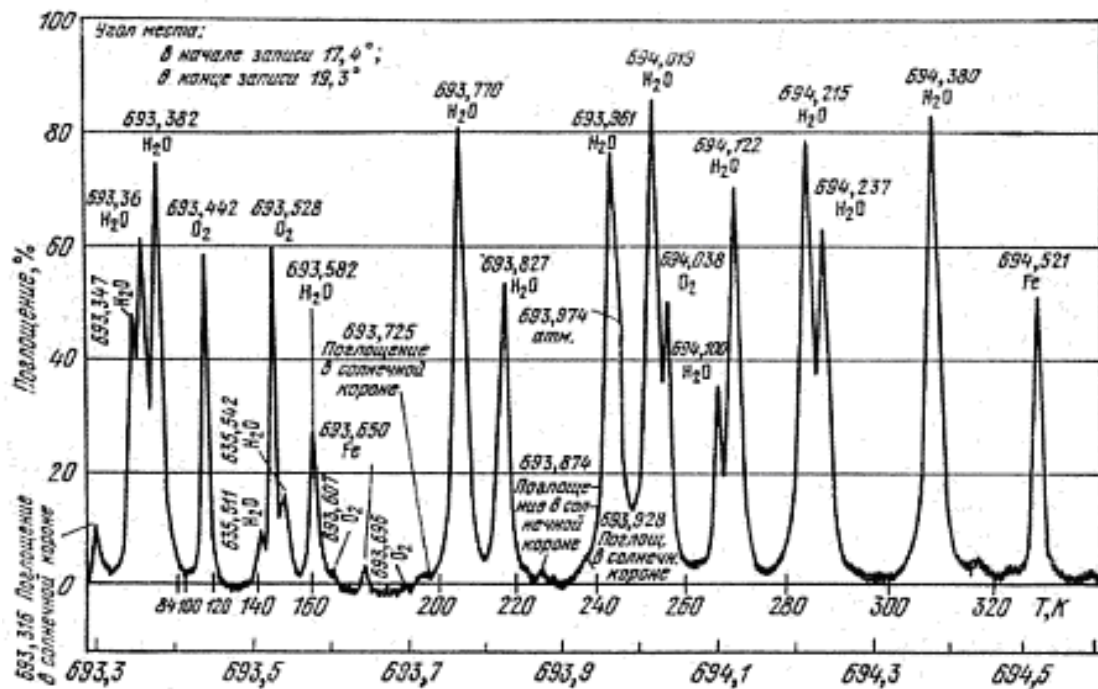


Рис. 15. Спектр атмосферного поглощения, записанный с высоким разрешением. (По оси абсцисс указана длина волны в нм)

Становится, очевидно, что при работе с очень узким спектром излучения, то пропускание будет кардинально зависеть от взаимного расположения полос излучения лазера и поглощения атмосферы, несмотря на высокий средний уровень пропускания. И существует такое их взаимное расположение, когда пропускание может снизиться в несколько, а то и сотни раз. Сдвиг в сторону всего на несколько нанометров из-за технологического разброса характеристик диода может привести к фатальным результатам. Поэтому, расчет какой-либо атмосферной лазерной системы необходимо делать с учетом всего диапазона рабочих длин волн, заявленных производителем и, обязательно, с высоким разрешением пропускания атмосферы.

### Технология построения ИК систем связи.

Как и большинство технологий беспроводной передачи данных, беспроводная оптика требует условий прямой видимости. Данные передаются направленным пучком модулированного света. В качестве источника такого света обычно используются светодиоды (и тогда для формирования луча приходится применять оптические системы) или лазеры (в этом случае приходится, наоборот, бороться с точечностью источника, но об этом немного позднее). Механизмы поглощения света в прозрачной атмосфере во многом аналогичны происходящим в оптоволокне. В результате, в атмосфере свет распространяется в тех же окнах прозрачности – 850, 1310 и 1550 нм, что позволяет использовать весьма распространенную элементную базу, применяемую в оптоволоконной оптике (производимую во все нарастающем



количестве) и заимствовать заметную часть наработок и технологий, на разработку которых иначе потребовались бы немалые средства: микролинзы, оптические усилители, спектральные маски, голографическая оптика и методы спектрального уплотнения каналов.

Общая элементная база и принципы обработки сигнала определяют общий диапазон скоростей – от нескольких мегабит до терабит в секунду (верхний предел обусловлен, скорее, платежеспособным спросом). По существу, атмосферные оптические линии комплиментарны оптоволоконным: этот тезис только подтверждают пассивные атмосферные оптические линии, не содержащие никаких активных элементов. На вход такой линии поступает оптический сигнал из специализированного световода (рассчитанного, видимо, на чуть большие мощности сигнала). Принятый сигнал усиливается оптической системой и по специальному многомодовому оптоволокну с малой дисперсией поступает на вход конвертера. Отсутствие активных элементов позволяет не заботиться о подаче электропитания (проблемы с выпадением росы, видимо, решаются с помощью специальных покрытий) и минимизировать стоимость выносного блока (по существу, содержащего только оптическую часть, большая часть ноу-хау сосредоточена в модуле специализированного конвертера). И, соответственно, минимизировать ущерб от вандализма и обеспечить повышенную защиту данных.

Построение всех ИК систем передачи практически одинаково – интерфейсный модуль, модулятор излучателя, оптическая система передатчика, оптическая система приемника, демодулятор приемника и интерфейсный блок приемника. В качестве излучателя обычно используются полупроводниковые (ПП) ИК светодиоды, а в качестве приёмника — ИК фотодиоды и фототранзисторы.

Главное преимущество ПП диодов – высокое время наработки на отказ. Величина в 400,000 часов при мощности в 400 мВт здесь не редкость. Кроме того, каналы, использующие п/п диоды менее чувствительны к резонансному поглощению в атмосфере благодаря широкой полосе излучения (типичные значения около 50 нм). Форма сечения луча от п/п диодов практически круглая. Но здесь все преимущества п/п диодов заканчиваются. Т.е. начинаются недостатки. Инерционность п/п диодов при высоких мощностях излучения не позволяет достичь высоких скоростей передачи. Из-за широкой полосы излучения существуют сложности (правда, чисто теоретические) в передаче высокоскоростного сигнала – разные моды сигнала добираются до приемника с различной задержкой и на больших дистанциях и очень высоких скоростях сигнал на выходе приемника распознать уже крайне сложно. Т.е. передатчик должен передавать как можно более узкополосный сигнал с наименьшим количеством мод. В идеале это должна быть одна мода. Однако при такой передаче нельзя забывать, что эта единственная мода может попасть на полосу резонансного поглощения какого-нибудь газа в атмосфере, и тогда все плюсы такого методы обернутся явными минусами.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Приборы и оборудование.

Эксперимент проводится на учебной модели приемо — передающего устройства с ИК каналом связи. В качестве излучателя используется полупроводниковый ИК светодиод (светодиод с узкой спектральной характеристикой, имеющей ярко выраженный максимум при определенной длине волны и излучающий когерентный свет  $\lambda=940$  нм). Роль приемника излучения играет фотодиод, максимум чувствительности которого совпадает с длиной волны излучения лазерного диода.

Принципиальная блок-схема установки РТРУЛ-7 приведена на рис. 16, схема соединения элементов вынесена на переднюю панель «ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ» рис. 17.

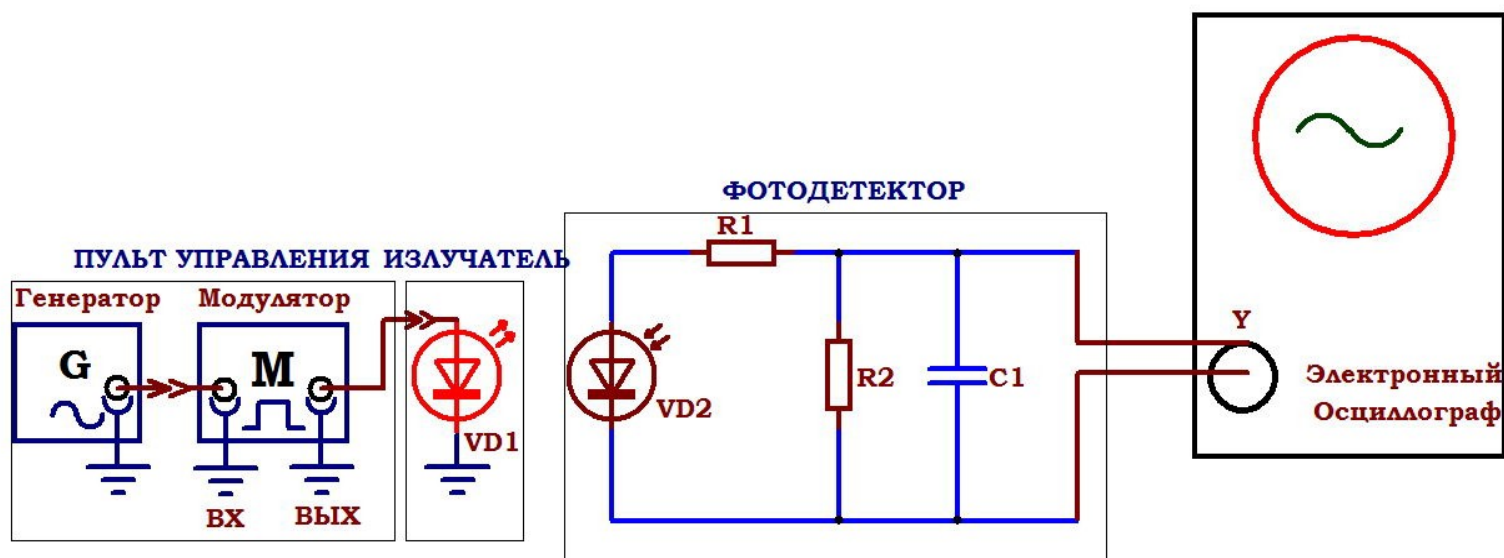


Рис. 16. Блок — схема установки для изучения оптического канала связи.

## Установка учебная РТРУЛ-7

### Изучение приёмо-передающего устройства с ИК каналом связи

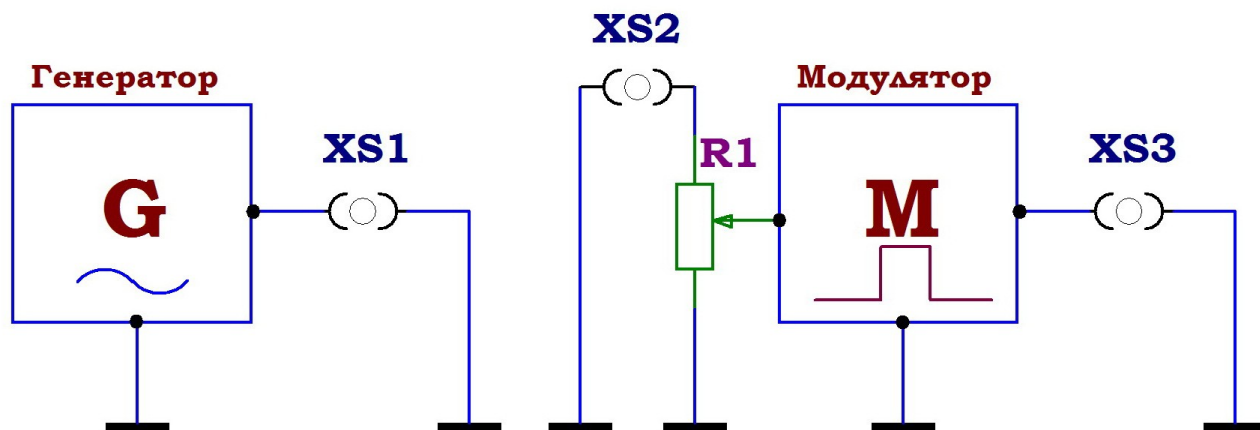


Рис. 17. Схема соединения элементов установки для изучения оптического канала связи.

Выход XS1 генератора гармонического синусоидального сигнала G с перестраиваемой частотой соединяется с помощью переключки со входом XS2 модулятора M. Частота генератора изменяется с помощью ручки «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА». 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). Модулятор включается/отключается нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ». Амплитуду сигнала, подаваемого с выхода генератора G на модулятор M можно плавно изменять ручкой R1 «АМПЛИТУДА». Промодулированный сигнал подается с выхода модулятора клеммы XS3 с помощью соединительного экранированного кабеля на вход «ИЗЛУЧАТЕЛЬ» (ИК светодиод). Откуда по воздушному ИК каналу попадает на соосно расположенный с излучателем «ФОТОДЕТЕКТОР». В качестве емкости C1 используются различные конденсаторы из комплекта, подключаемые к клеммам «C1» фотодетектора. Продетектированный сигнал с помощью соединительного провода типа «ТЮЛЬПАН — BNC» подается на резистивный вход Y осциллографа, на экране которого должен наблюдаться восстановленный синус, искажения которого будут зависеть от качества детектирования (емкости C1) и параметров передающего устройства (частоты генератора, частоты модулятора).

#### **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.
2. Включить установку в сеть ~220 В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель сеть на панели учебного модуля в положение «ВКЛ», при этом должен загореться сигнальный индикатор «СЕТЬ».
3. Установить ручку «AC – GND – DC» осциллографа в положение «DC». Вращением ручки «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА» установить минимально возможную частоту синусоидального сигнала. Вращая ручку R1 «АМПЛИТУДА» до упора по часовой стрелке установить максимально возможную амплитуду, подаваемую на вход XS2 модулятора M.
4. Подключить выход «ГЕНЕРАТОР» XS1 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 перемычкой выход генератора G со входом модулятора M (клеммы XS1 — XS2). 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 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 4 кГц.
  12. Подключить к выходу XS3 модулятора с помощью соединительного экранированного кабеля типа «тюльпан — тюльпан» вход «ИЗЛУЧАТЕЛЬ» (ИК диод). Расположить фотодетектор соосно на одной линии с излучающим ИК светодиодом на расстоянии  $\sim 5 - 10$  см, таким образом, чтобы световой поток от ИК светодиода попадал на чувствительный приемник — фотодиод (напомним, что излучение ИК светодиода с длиной волны 940 нм не видимо человеческим глазом).
  13. Вращением ручки «ЧАСТОТА ГЕНЕРАТОРА» установить близкую к максимально возможной (но не максимальную) частоту генератора.
  14. Включить модулятор нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ».
  15. Подключить конденсатор максимальной емкости 0,47 мкФ (маркировка «474K») к клеммам «C1» фотодетектора. Сигнал с выхода 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

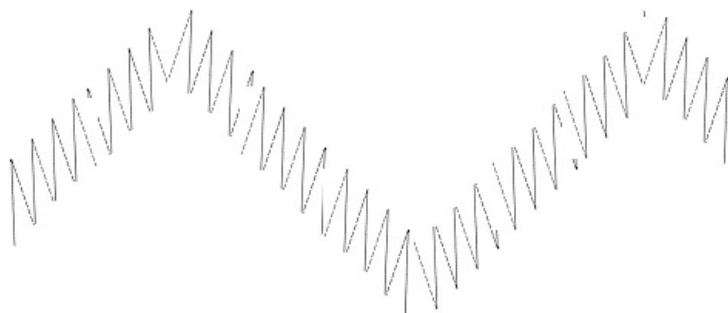


Рис. 18. Продетектированный сигнал с выхода фотодетектора.

продетектированный синусоидальный сигнал с некоторыми искажениями рис. 18.

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:  $K_{искажений} = \frac{U_{искаж.}}{U_{полез.}}$  (рис. 19).

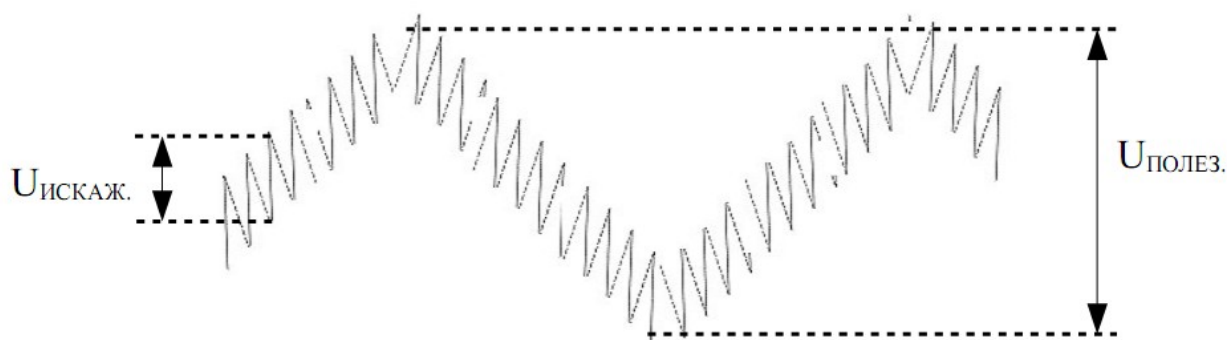


Рис. 19. К определению коэффициента искажения сигнала.

17. Отключить перемычку, соединяющую выход генератора XS1 со входом модулятора XS2 и подключить к выходу генератора XS1 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 устройства:  $K_{передачи} = \frac{U_{вых. фото}}{U_{ген}}$ .
19. Отключить ШИМ нажатием кнопки «МОДУЛЯТОР ВКЛ/ВЫКЛ». Установить с помощью кнопки «ЧАСТОТА МОДУЛЯТОРА» частоту ШИМ 31,7 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 и емкости конденсатора

на качество детектирования сигнала

24. 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 ИК воздушным каналом связи?
10. Как оценить дальность связи?
11. Назовите способы повышения уровня надежности беспроводной оптической связи.
12. Объясните принципиальную блок-схему установки РТРУЛ-7 для изучения передачи сигналов посредством ИК 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»**