

УДК 621.37/39(075.8)

**МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ И ДЕМОДУЛЯЦИИ ВИДЕОСИГНАЛОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОДНЕСУЩИХ ЧАСТОТ****Б.А. ХОДЖАМУРАДОВ, канд. тех. наук, доц. В.Ф. ЯНУШКЕВИЧ
(Полоцкий государственный университет)**

Рассмотрены вопросы модуляции и демодуляции видеосигналов на основе применения вспомогательных поднесущих частот. В качестве основной несущей использован сигнал оптического диапазона. Моделирование проведено в программном пакете Multisim12. Исследованы характеристики тракта модуляции и демодуляции в зависимости от модулирующей частоты, индекса модуляции и поднесущей частоты. Для улучшения отношения сигнал/шум и уменьшения нелинейных искажений видеосигналов использован метод поднесущей частоты. Результаты исследований могут быть применимы в системах телекоммуникаций для передачи видеосигналов.

Ключевые слова: видеосигнал, частотная модуляция, модулятор, демодулятор, оптический кабель.

Введение. Актуальность рассматриваемых в настоящей работе задач заключается в расширении возможностей передачи и приема видеосигналов в оптическом диапазоне с использованием вспомогательных поднесущих частот [1–3]. От вида модуляции (демодуляции) зависят величина отношения сигнал/шум и уровень нелинейных искажений сигналов в трактах обработки передаваемых и принимаемых сообщений. Для обеспечения высоких показателей передатчика и приемника видеосигналов применяются схемы с использованием двойной модуляции и демодуляции. Поскольку эти способы осуществляются в обратном порядке, в данной работе основное внимание уделено моделированию устройств модуляции сигналов. Процесс демодуляции проводится по аналогичной методике исследований с введением в тракт приема демодулятора сигналов.

Цель работы заключается в обосновании выбора характеристик частотного модулятора и демодулятора, работающих на вспомогательной поднесущей частоте.

Модуляция и демодуляция оптического излучения с использованием поднесущей частоты.

Модуляция – это процесс преобразования одного или нескольких информационных параметров несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями информационного сигнала. В результате модуляции сигналы переносятся в область более высоких частот [4].

Использование модуляции позволяет:

- согласовать параметры сигнала с параметрами линии;
- повысить помехоустойчивость сигналов;
- увеличить дальность передачи сигналов;
- организовать многоканальные системы передачи.

Существуют разные способы получения модулированного оптического излучения:

- 1) прямая модуляция, при которой излучение лазерного диода или светоизлучающего диода варьируется путем регулировки тока накачки;
- 2) внешняя модуляция, или модуляция излучения немодулированного источника света;
- 3) внутренняя модуляция, осуществляемая введением модулятора в лазерный резонатор.

Модулятор оптического излучения – это система, в которой происходит взаимодействие света с веществом. Управление показателем преломления основывается на электрооптическом эффекте (изменяя электрическое поле) либо на магнитооптическом эффекте (изменяя магнитное поле), либо на пьезооптическом эффекте (пьезоэлектрическое изменение плотности).

В основном используются электрооптические модуляторы. Материалы с выраженным магнитооптическим эффектом непрозрачны для света. Пьезооптические модуляторы сложны.

При демодуляции используют два способа приема:

- 1) непосредственный прием фотодетектором (некогерентный прием);
- 2) когерентный прием (гетеро- или гомодинный).

В данной работе был исследован метод использования поднесущей частоты с целью улучшения отношения сигнал/шум и уменьшения нелинейных искажений видеосигналов.

На рисунке 1 представлена волоконно-оптическая система передачи с использованием поднесущей частоты [5–6].

При таком способе используется двойная модуляция. Информационный электрический сигнал поступает на модулятор, где происходит первая операция: модуляция поднесущей частоты либо по амплитуде, либо по частоте или фазе. Затем промодулированная $\omega_{\text{п}}$, поступает на оптический излучатель, где

происходит вторая операция: модуляция интенсивности оптического излучения. На приемной стороне демодуляция происходит в обратном порядке.

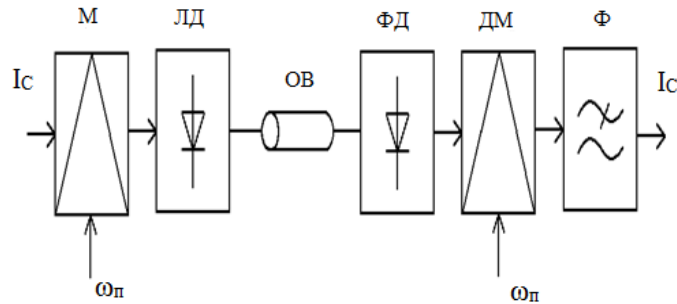


Рисунок 1 – Волоконно-оптическая система передачи с использованием поднесущей частоты:

М – модулятор, ДМ – демодулятор, ОВ – оптическое волокно, ФД – фотодетектор,
ЛД – лазерный диод, Ф – фильтр, $\omega_{п}$ – частота поднесущей

Метод использования поднесущей увеличивает отношение сигнал/шум и уменьшает нелинейные искажения при условии линейности характеристик модулятора и демодулятора. Установлено, что отношение сигнал/шум определяется по следующей формуле из [1]:

$$(C / Ш)_{\text{поднес}} = \left[6 \cdot \beta^2 \cdot \frac{B_{п}}{B_C} \right] \cdot \left(\frac{C}{Ш} \right), \quad (1)$$

где β – индекс частотной модуляции

$$\beta = \frac{\Delta f}{2 \cdot \pi \cdot B_C}, \quad (2)$$

B_C – полоса сигнала,

$B_{п}$ – полоса поднесущей, определяемая по формуле

$$B_{п} = 2 \cdot (\beta + 1) \cdot B_C, \quad (3)$$

Таким образом, отношение сигнал/шум можно уменьшить, оптимально подбирая характеристики устройства для модуляции.

Расчет по формулам (1)–(3) показал, что модуляция наиболее эффективна, т.к. при амплитудной модуляции выигрыш в отношении сигнал/шум увеличивается в 2 раза. Частотная модуляция поднесущей нашла применение при передаче видеосигнала в кабельном телевидении [1].

Исследования проводились в диапазоне несущей частоты f_0 от 30 до 60 МГц при значениях модулирующей частоты F_M от 0 до 8 МГц.

Результаты моделирования. Было проведено исследование частотного модулятора в программном пакете *Multisim12* (рис. 2) с помощью осциллографа и анализатора спектра. Перестройка пределов измерений производилась с учетом предполагаемых характеристик сигналов.

Для передачи информации была применена помехоустойчивая частотная модуляция (ЧМ), мгновенная частота, которая определяется следующей формулой:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega_m \cos(\Omega_M t + \varphi_0), \quad (4)$$

где $\omega(t)$ – мгновенная частота ЧМ сигнала;

ω_0 – несущая частота ЧМ сигнала;

$\Delta\omega_m$ – девиация (максимальное отклонение от ω_0) частоты ЧМ сигнала;

φ_0 – начальная фаза;

Ω_M – частота модулирующего низкочастотного сигнала, $\Omega_M = 2\pi F_M$.

Аналитическая форма записи ЧМ сигнала:

$$u(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + m_{\text{ЧМ}} \sin \Omega_M t + \varphi_0], \quad (5)$$

где $m_{\text{ЧМ}}$ – индекс однотоновой частотной модуляции;

U_0 – амплитуда ЧМ сигнала.

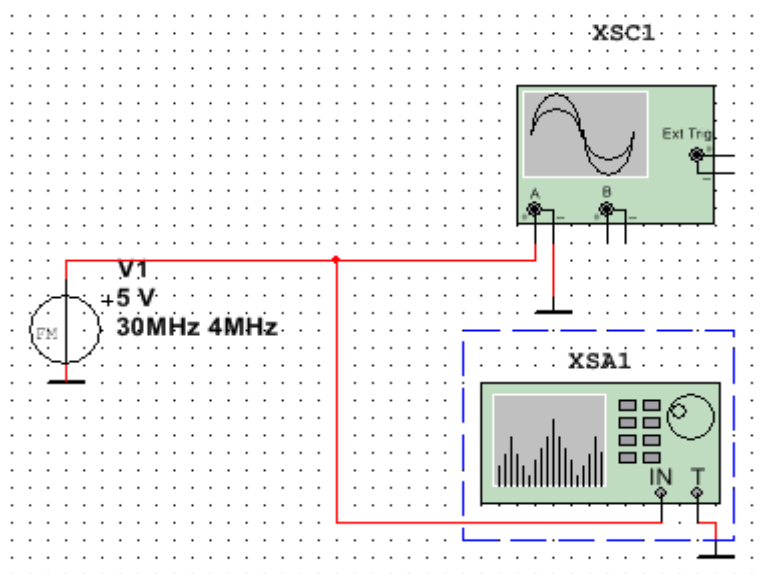


Рисунок 2 – Структурная схема для исследования частотного модулятора:
V1 – ЧМ-модулятор, **XSC1** – осциллограф, **XSA1** – анализатор спектра

В программе *Multisim* принята следующая форма записи ЧМ сигнала:

$$V_{OUT} = v_a \cdot \sin(2\pi \cdot f_c \cdot t + m \cdot \sin(2\pi \cdot f_m \cdot t)), \quad (6)$$

где v_a – амплитуда несущего колебания без модуляции, В;
 f_c – частота несущего колебания, Гц;
 m – индекс модуляции;
 t – время, с;
 f_m – частота модулирующего колебания, Гц [7].

Для проведения временного и спектрального анализа ЧМ сигналов в пакете *Multisim* реализуется схема исследования представления сигналов в системах передачи информации с заменой в ней генератора сигналов *XFG1* на частотный модулятор. Выбор и ввод в схему частотного модулятора можно произвести следующими способами выбора компонентов:

- 1) с помощью пункта меню *Place* (Панели) выбором: в выпадающем меню панели *Component* (Компоненты) – во вкладке *Select Component* (Выбор компонента) в подменю *Group* (Группы) – группы *SIGNAL_VOLTAGE_SOURCE* (Источники напряжения сигнала) и в подменю *Component – FM_VOLTAGE*;
- 2) с использованием позиции *Place_Source* панели *Component* (Компоненты);
- 3) с использованием позиции *Place_FM_Source* панели *Signal Source Components* (Источники сигналов).

Вывод различных панелей в область их расположения обеспечивается установкой флажков перед их названиями в выпадающем меню, появляющемся при установке стрелки курсора в область расположения панелей и щелчке правой кнопкой мышки.

Для настройки частотного модулятора необходимо произвести двойной щелчок левой кнопкой мыши по функциональному блоку *V1*. Появится диалоговое окно *FM_VOLTAGE* параметров частотного модулятора, во вкладке *Value* (Величина) которого вводят параметры ЧМ напряжения: амплитуда несущего колебания (*Carrier Amplitude*), частота несущего колебания (*Carrier Frequency*), индекс модуляции (*Modulation Index*), частота модуляции (*Intelligence Frequency*).

Для исследования спектров установим элементы регулировки анализатора спектра в ориентировочные положения:

- диапазон частот (*Span*);
- начало (*Start*);
- граница (*End*);
- чувствительность (*Range*);
- разрешение (*Resolution freq*);
- вкладка *Set*: число точек разложения БПФ (*FFTpoints*).

Для запуска эксперимента необходимо щелкнуть левой кнопкой мыши по зеленому треугольнику *Run* панели *Simulation* или во вкладке *Simulate* [7].

На рисунке 3 приведен график зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ от $m_{\text{ЧМ}}$ для нижней границы исследуемого диапазона частот при $f_0 = 30$ МГц.

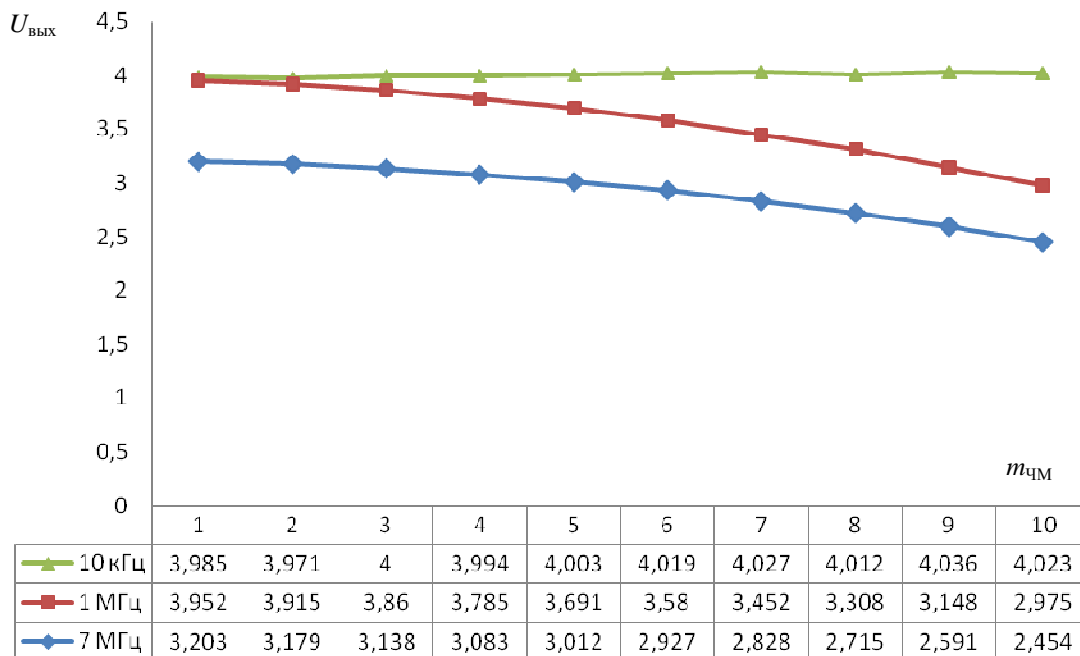


Рисунок 3 – График зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ от $m_{\text{ЧМ}}$ при $f_0 = 30$ МГц

Как видно из приведенных графиков, наблюдается неравномерная зависимость выходного напряжения модулятора от индекса частотной модуляции. При использовании сигнала с широким спектром, как это имеет место в случае передачи видеосигналов, это приведет к росту нелинейных искажений.

На рисунке 4 приведен график зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ от $m_{\text{ЧМ}}$ для верхней границы исследуемого диапазона частот при $f_0 = 60$ МГц.

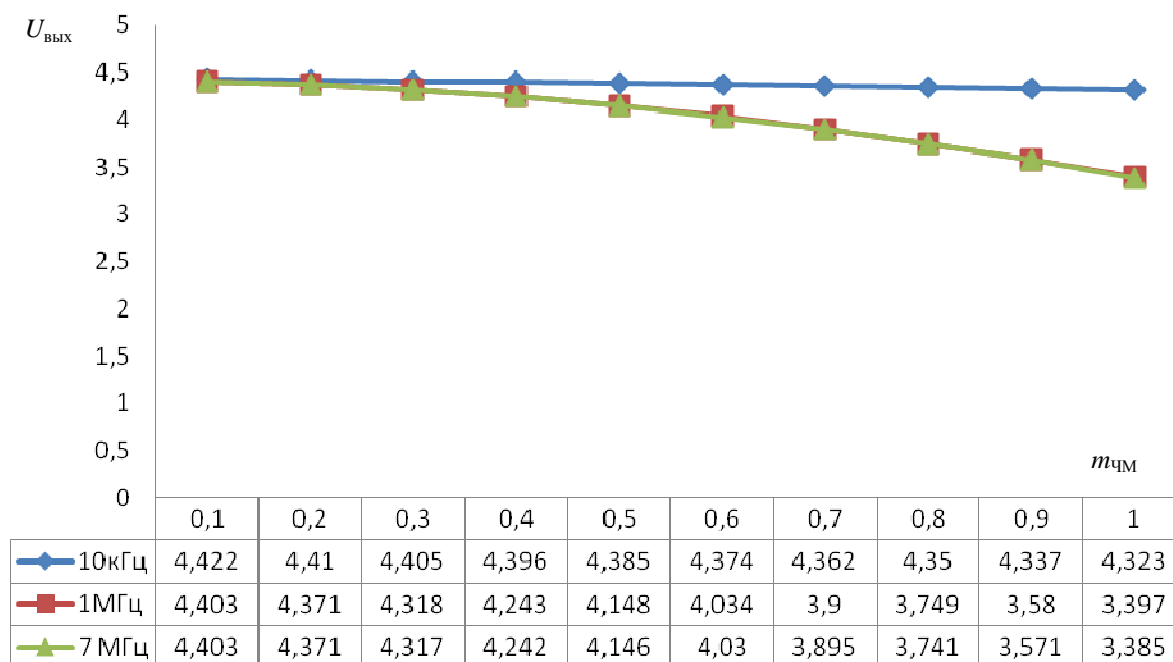


Рисунок 4 – График зависимости $U_{\text{ВЫХ}}$ от $m_{\text{ЧМ}}$ при $f_0 = 60$ МГц

Задавая более высокую модулирующую частоту видеосигнала, наблюдаем нелинейную зависимость выходного напряжения частоты модулятора от индекса модуляции по сравнению с использованием низкочастотных модулирующих сигналов.

Проведено исследование частотного детектора в программном пакете *Multisim12*, на рисунке 5 проиллюстрирована схема его использования [8].

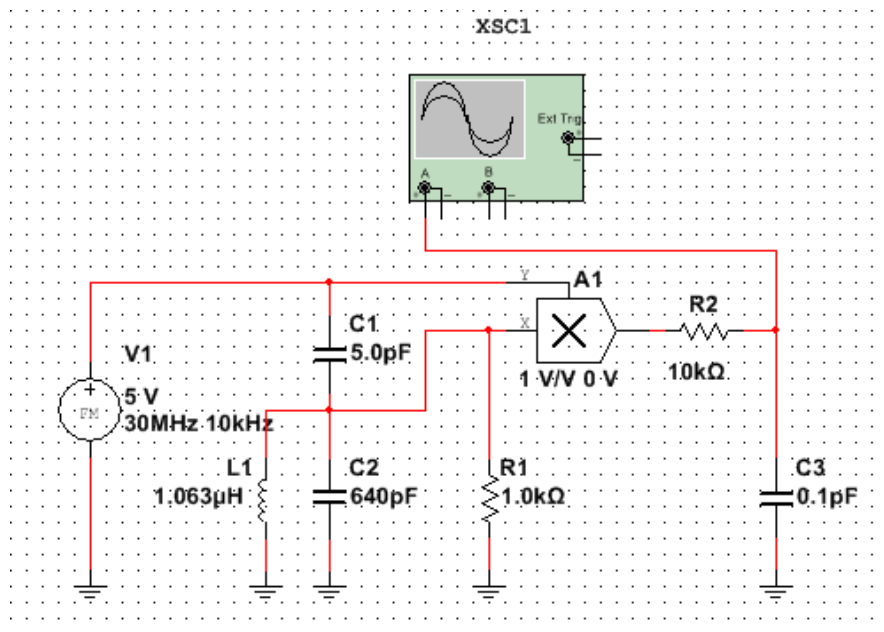


Рисунок 5 – Структурная схема для исследования частотного детектора

На рисунке 6 приведен график зависимости выходного напряжения модулятора $U_{\text{вых}}$ от заданных поднесущих частот f_0 .

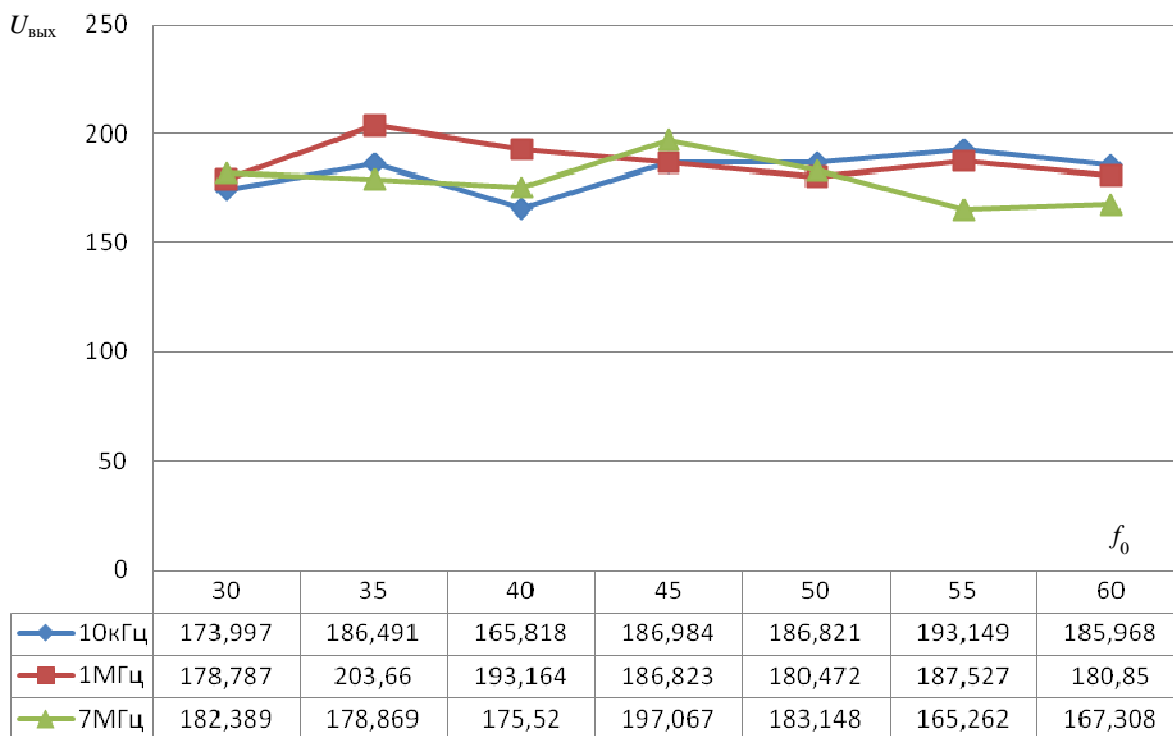


Рисунок 6 – График зависимости $U_{\text{вых}}$ от f_0

Как видно из рисунка 6, при передаче видеосигналов на различных поднесущих частотах f_0 наблюдается нелинейная зависимость выходного напряжения, особенно это проявляется на высокочастотных составляющих спектра.

Заключение. Проведенное моделирование характеристик тракта модуляции и демодуляции выявило зависимость отношения сигнал/шум и уровня нелинейных искажений от модулирующей частоты, индекса модуляции и поднесущей частоты. Результаты исследования показали, что использование частотной модуляции позволяет улучшить помехозащищенность канала передачи видеосигналов. При этом обеспечивается приемлемый уровень нелинейных искажений сигналов. Данный метод можно рекомендовать для передачи видеосигналов в кабельном телевидении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Янушкевич, В.Ф. Устройства оптической обработки сигналов : учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 39.01.01. – Новополоцк : ПГУ, 2008.
2. Устройства оптической обработки сигналов / Ю.М. Щербак [и др.]. – Минск : БГУИР, 1997.
3. Оптическая обработка радиосигналов в реальном времени / под ред. С.В. Кулакова. – М. : Радио и связь, 1989.
4. Мустель, Е.Р. Методы модуляции и сканирования света / Е.Р. Мустель, В.К. Парыгин. – М. : Наука, 1970.
5. Гауэр, Дж. Оптические линии и связи : пер. с англ. / Дж. Гауэр ; под ред. А.И. Ларкина. – М. : Радио и связь, 1989.
6. Конойко, А.И. Основы строения устройств оптической обработки сигналов : учеб.-метод. пособие по курсу «УООС» / А.И. Конойко, С.А. Рыбаков, М.П. Федоринчик. – Минск : 2002.
7. Удовикин, В.Л. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей / В.Л. Удовикин. – Тамбов : ТГТУ, 2013.
8. Иванова, В.Г. Устройства приема и обработки сигналов / В.Г. Иванова. – Самара : ИУНЛ ПГУТИ, 2012.

Поступила 17.03.2016

METHODS OF MODULATION AND DEMODULATION OF VIDEO SIGNALS WITH USAGE OF SUBCARRIERS OF FREQUENCIES

B. HODZHAMURADOV, V. JANUSHKEVICH

Questions of modulation and demodulation of video signals on the basis of application of auxiliary sub-carriers of frequencies are considered. For improving of characteristics of a path of transmission and reception double modulations and demodulations are used. As the main carrier the signal in an optical range is used. Modeling is produced in software package Multisim12. For information transfer noise-resistant frequency modulation is used characteristics of a path of modulation depending on modulating frequency, an index of modulation and a frequency subcarrier are researched. Restructuring limits of measurements is produced taking into account prospective characteristics of signals. Results of researches can be applicable in systems of telecommunications for transmission of video signals.

Keywords: video, frequency modulation, modulator, demodulator, optical cable.