

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Токтинова

« 15 » 02



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ПО РАЗЛИЧНЫМ СРЕДАМ ПЕРЕДАЧИ И КАНАЛАМ СВЯЗИ

Методические указания

по подготовке и проведению практического занятия для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем»

Курск 2018

УДК 004.716

Составители: А. А. Гуламов, Е. С. Маклаков

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,
профессор кафедры КПиСС *В.Г. Андронов*

Общая теория передачи сигналов по различным средам передачи и каналам связи: методические указания по подготовке и проведению практического занятия / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: А.А. Гуламов, Е.С. Маклаков. - Курск, 2018. – 15 с.: ил. 11, табл. 1. – Библиогр.: с. 15.

Методические указания по подготовке и проведению практического занятия содержат теоретические сведения о терминологии и аббревиатурах, применяемых при работе с инфокоммуникационными сетями и системами.

Полученные знания в результате проведения занятия дают возможность сформировать целостную картину информационного взаимодействия в современных телекоммуникационных системах.

Методические указания соответствуют требованиям рабочей программы дисциплины «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем», рекомендованной к применению в образовательном процессе для обучения студентов по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» на заседании кафедры КПиСС.

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» по дисциплине «Теория построения инфокоммуникационных сетей и систем», а также для студентов других направлений подготовки в области информационных технологий в системе высшего образования.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 15.02.18. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,6. Тираж 100 экз. Заказ. 1520. Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

Содержание

1 Цели работы.....	4
2 Краткие теоретические сведения.....	4
3 Частотная модуляция.....	8
4 Задание на практическую работу.....	14
5 Контрольные вопросы.....	15
6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию.....	15

1 Цели работы

- общей теории передачи сигналов по различным средам и каналам связи;
- подробное изучение частотной модуляции.

2 Краткие теоретические сведения

Перенос сигнала из одной точки пространства в другую осуществляет система электросвязи. Электрический сигнал является формой представления сообщения для передачи его системой электросвязи

Источник сообщения (Рисунок 1) формирует сообщение $a(t)$, которое с помощью специальных устройств преобразуется в электрический сигнал $s(t)$. При передаче речи такое преобразование выполняет микрофон, при передаче изображения – электроннолучевая трубка, при передаче телеграммы – передающая часть телеграфного аппарата.



Рисунок 1 – Система электросвязи

Для передачи сигналов в системе электросвязи необходимо воспользоваться каким-либо переносчиком. В качестве переносчика необходимо использовать материальные объекты, обладающими свойством перемещаться в пространстве, например, электромагнитное поле в проводах (проводная связь), в открытом пространстве (радиосвязь), световой луч (оптическая связь). На рисунке 2 показано использование шкалы частот и волн различных типов для различных видов связи.

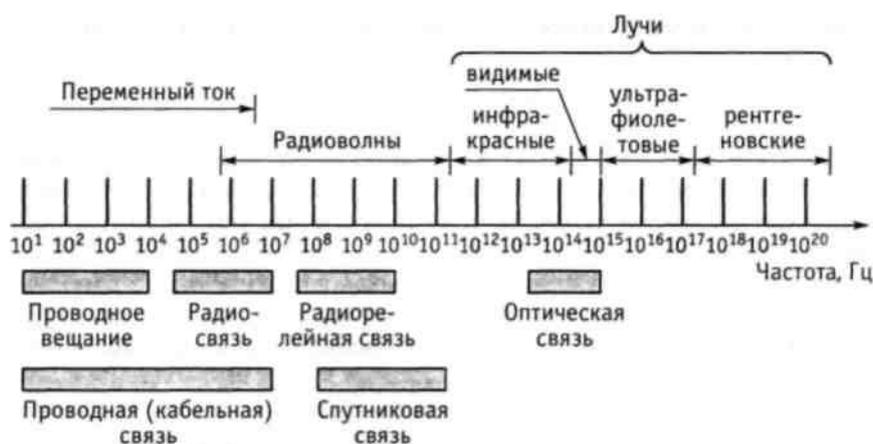


Рисунок 2 – Использование шкалы частот в электросвязи

Таким образом, в пункте передачи (рис. 10.1.1) первичный сигнал $s(t)$ необходимо преобразовать в сигнал $v(t)$, удобный для его передачи по соответствующей среде распространения. В пункте приема выполняется обратное преобразование. В отдельных случаях (например, когда средой распространения является пара физических проводов, как в городской телефонной связи) указанное преобразование сигнала может отсутствовать.

Доставленный в пункт приема сигнал должен быть снова преобразован в сообщение (например, с помощью телефона или громкоговорителя при передаче речи, электроннолучевой трубки при передаче изображения, приемной части телеграфного аппарата при передаче телеграммы) и затем передан получателю.

Передача информации всегда сопровождается неизбежным действием помех и искажений. Это приводит к тому, что сигнал на выходе системы электросвязи $\sim s(t)$ и принятое сообщение $a(t)$ могут в какой-то мере отличаться от сигнала на входе $s(t)$ и переданного сообщения $a(t)$. Степень соответствия принятого сообщения переданному называют верностью передачи информации.

Для различных сообщений качество их передачи оценивается по-разному. Принятое телефонное сообщение должно быть достаточно разборчивым, абонент должен быть узнаваемым. Для телевизионного сообщения существует стандарт (таблица на экране телевизора), по которому оценивается качество принятого изображения. Количественной оценкой верности передачи дискретных сообщений служит отношение числа ошибочно принятых элементов сообщения к числу переданных элементов - частота ошибок (или коэффициент ошибок).

Обычно в качестве переносчика используют гармоническое колебание высокой частоты - несущее колебание. Процесс преобразования первичного сигнала заключается в изменении одного или нескольких параметров несущего колебания по закону изменения первичного сигнала (т.е. в наделении несущего колебания признаками первичного сигнала) и называется модуляцией.

Гармоническое колебание, выбранное в качестве несущего:

$$v_0(t) = V_0 \cos(\omega_0 t + \phi), \quad (1)$$

полностью характеризуется тремя параметрами: амплитудой V_0 , частотой ω_0 и начальной фазой ϕ . Модуляцию можно осуществить изменением любого из трех параметров по закону передаваемого сигнала.

Изменение во времени амплитуды несущего колебания пропорционально первичному сигналу $s(t)$, т.е. $V(t) = V_0 + k_{AM} s(t)$, где k_{AM} - коэффициент пропорциональности, называется амплитудной модуляцией (АМ).

Несущее колебание (1) с модулированной по закону первичного сигнала амплитудой равно: $u(t) = V(t) \cos(\omega_0 t + \phi)$. Обозначив $\Delta V = k_{AM} S$ и $M_{AM} = \Delta V / V_0$ - глубина амплитудной модуляции, где S - амплитуда моделирующего (первичного) сигнала

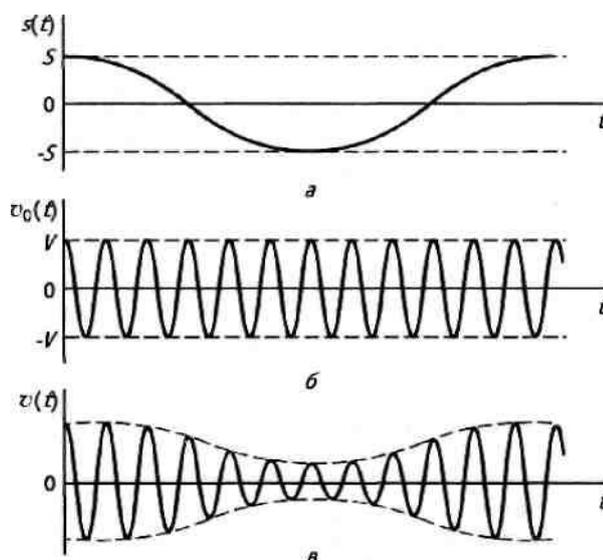


Рисунок 3 - Передаваемый (исходный) сигнал (а), несущее колебание (б) и АМ сигнал (в) При частотной модуляции (ЧМ) пропорционально первичному сигналу $s(t)$ изменяется не амплитуда, а частота несущего колебания:

$$o(t) = (o_0 + k_{\text{ЧМ}}s(t) = o)_0 + Aa \cos ft, (2)$$

где $k_{\text{ЧМ}}$ - коэффициент пропорциональности; величина $\Delta\omega = k_{\text{ЧМ}} S$ называется девиацией частоты (фактически это максимальное отклонение частоты модулированного сигнала от частоты несущего колебания).

На рисунке 4 показано изменение частоты несущего колебания при ЧМ.

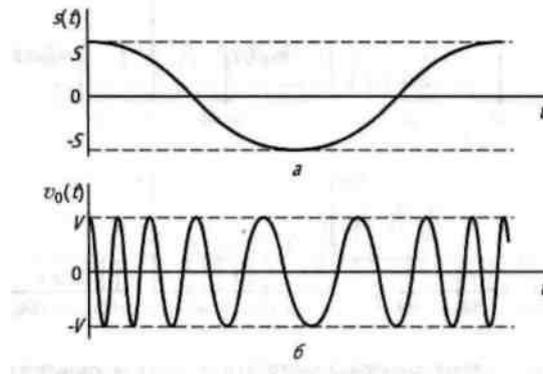


Рисунок 4 – Исходный (а) и частотно-модулированный (б) сигналы

При изменении фазы несущего колебания получим фазовую модуляцию (ФМ):

$$(p \cos \theta) + (p + \Delta\omega) \cos(\omega t + \theta) = P + A \cos Q.t, \quad (4)$$

где $k_{\text{ФМ}}$ - коэффициент пропорциональности; $\Delta\theta = k_{\text{ФМ}} S = M_{\text{ФМ}}$ - индекс ФМ.

Выражение для ЧМ - и ФМ - сигнала можно представить в форме:

$$M_{\text{ЧМ}} = V_0 \cos(\omega t + M_{\text{ЧМ}} \sin Q.t + \phi), \quad (5)$$

$$M_{\text{ФМ}} = V_0 \cos(\omega t + M_{\text{ФМ}} \sin Q.t + \phi). \quad (6)$$

Рассмотренные виды модуляции называют непрерывной, т.к. в качестве переносчика выбран непрерывный периодический сигнал $v_0(t)$.

В дискретных системах связи в качестве переносчика применяют периодическую последовательность импульсов. Последовательность прямоугольных импульсов одного знака $v_0(t)$ характеризуется параметрами: амплитудой импульса V ; длительностью (шириной) импульса η_u ; частотой следования (или тактовой частотой) $f_T = 1/T$, где T - период следования импульсов ($\omega_T = 2\pi f_T$); положением (фазой) импульсов относительно тактовых (отсчетных) точек. Отношение $q = T/\eta_u$ называется скважностью импульса.

По закону передаваемого первичного сигнала можно изменять (модулировать) любой из перечисленных параметров импульсной последовательности. При этом модуляция называется импульсной. В зависимости от того, какой параметр модулируется первичным сигналом $s(t)$, различают:

- амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ), когда изменяется амплитуда импульса;
- широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), когда изменяется ширина (длительность) импульса;
- частотно-импульсную модуляцию (ЧИМ), когда изменяется частота следования импульсов;
- фазо-импульсную модуляцию (ФИМ), когда изменяется фаза импульса, т.е. временное положение относительно тактовых точек.

ФИМ и ЧИМ объединяют во временно-импульсную модуляцию (ВИМ).

В цифровых системах передачи сигналы с АИМ подвергаются дополнительному преобразованию (квантованию). Преобразование сигналов в зависимости от применяемого типа кодера называется импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), дельта-модуляцией (ДМ) и т.п.

Импульсные последовательности, получаемые в результате импульсной модуляции, называют последовательностями видеоимпульсов. Если позволяет среда распространения, то видеоимпульсы передаются без дополнительных преобразований (например, по кабелю), в противном случае (при передаче, например, по радиоканалу), сигнал подвергается дополнительной модуляции, в результате которой получают радиоимпульсы. Полученные в результате преобразований сигналы могут иметь обозначение АИМ-АМ, ФИМ-АМ, ФИМ-ЧМ, ИКМ-ЧМ и др.

3. Частотная модуляция

При частотной модуляции (ЧМ) частота несущей изменяется в соответствии с НЧ модулирующим сигналом.

$$\omega_{\text{чм}}(t) = \omega_0 + \Delta\omega u_{\text{нч}}(t),$$

где $\omega_{\text{чм}}(t)$ – частота ЧМ сигнала; ω_0 – среднее значение несущей частоты; $u_{\text{нч}}(t)$ – модулирующий сигнал; $\Delta\omega$ – девиация частоты, т.е. максимальное отклонение частоты от среднего значения.

Если модулирующий сигнал является гармоническим $u_{\text{нч}}(t) = \cos \Omega t$, то $\omega_{\text{чм}}(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t$, а выражение для ЧМ сигнала имеет вид:

$$u_{\text{чм}}(t) = U_m \cos \varphi_{\text{чм}}(t),$$

где $\varphi_{\text{чм}}(t) = \int_0^t \omega_{\text{чм}}(t) dt = \int_0^t (\omega_0 + \Delta\omega \cos \Omega t) dt = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t$ – фаза

ЧМ сигнала,

$$u_{\text{чм}}(t) = U_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t\right),$$

где $\frac{\Delta\omega}{\Omega} = M_{\text{чм}}$ – индекс ЧМ,

$$u_{\text{чм}}(t) = U_m \cos\left(\omega_0 t + M_{\text{чм}} \sin \Omega t\right).$$

Временная диаграмма модулирующего сигнала представлена на рисунок 5, а, а соответствующего ему ЧМ сигнала – на рисунке 5, б.

Из рисунка 5, б видно, что частота ЧМ сигнала возрастает пропорционально амплитуде модулирующего сигнала, при этом $\omega_{\text{max}} = \omega_0 + \Delta\omega$, $\omega_{\text{min}} = \omega_0 - \Delta\omega$. Амплитуда ЧМ сигнала постоянна, изменяется только частота.

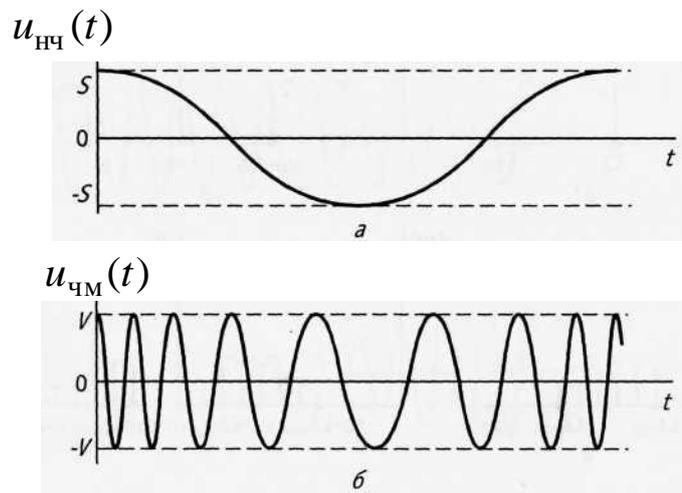


Рисунок 5 – Модулирующий сигнал (а) и соответствующий ему ЧМ сигнал (б)

Для получения спектра ЧМ сигнала разложим $u_{\text{чм}}(t)$ в ряд Фурье:

$$\begin{aligned}
 u_{\text{ЧМ}}(t) &= U_m \cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin \Omega t\right) = U_m I_0(M_{\text{ЧМ}}) \cos \omega_0 t + \\
 &+ U_m I_1(M_{\text{ЧМ}}) \cos(\omega_0 + \Omega)t - U_m I_1(M_{\text{ЧМ}}) \cos(\omega_0 - \Omega)t + \\
 &+ U_m I_2(M_{\text{ЧМ}}) \cos(\omega_0 + 2\Omega)t + U_m I_2(M_{\text{ЧМ}}) \cos(\omega_0 - 2\Omega)t + \\
 &+ U_m I_3(M_{\text{ЧМ}}) \cos(\omega_0 + 3\Omega)t - U_m I_3(M_{\text{ЧМ}}) \cos(\omega_0 - 3\Omega)t + \dots,
 \end{aligned}$$

где $I_k(M_{\text{ЧМ}})$ – функция Бесселя k -ого порядка.

Вид спектра зависит от величины $M_{\text{ЧМ}}$ (рисунок 6, рисунок 7).

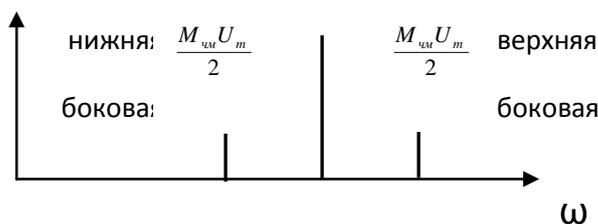


Рисунок 6 – Спектр ЧМ сигнала при $M_{\text{ЧМ}} \ll 1$ (т.е. порядка 0,1; 0,01; ...)

При $M_{\text{ЧМ}} \ll 1$ спектр ЧМ аналогичен спектру АМ сигнала (несущая и две боковых).

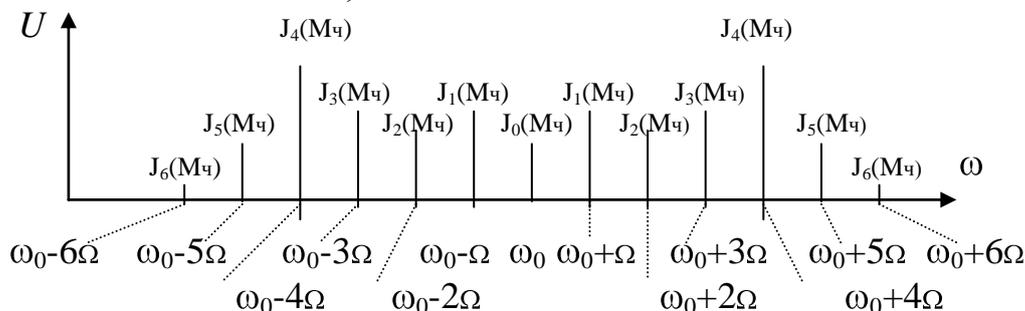


Рисунок 7 – Спектр ЧМ сигнала при $M_{\text{ЧМ}} > 1$ ($M_{\text{ЧМ}} = 5$)

Полоса частот сигнала ЧМ определяется выражением $\Pi_{\text{ЧМ}} \cong 2\Omega (M_{\text{ЧМ}} + 1)$:

- при $M_{\text{ЧМ}} \ll 1$ $\Pi_{\text{ЧМ}} \cong 2\Omega$, (аналогично АМ), такой вид ЧМ называется узкополосной;

- при $M_{\text{ЧМ}} \gg 1$ $\Pi_{\text{ЧМ}} \cong 2\Omega M_{\text{ЧМ}} = 2\Omega \frac{\Delta\omega}{\Omega} = 2\Delta\omega$, такой вид ЧМ называется широкополосной.

Ширина спектра при широкополосной ЧМ ($M_{\text{чм}} \gg 1$) не зависит от модулирующей частоты, а зависит только от величины девиации частоты.

ЧМ сигнал может быть получен с помощью частотного модулятора. Частотный модулятор состоит из автогенератора и элемента, с помощью которого изменяется его частота.

Автогенератор – генератор с самовозбуждением, т.е. усилитель, охваченный цепью положительной обратной связи (колебания с выхода поступают на вход, поддерживая возникшие колебания). Для LRC - генератора цепью обратной связи может быть катушка обратной связи. Элементом, управляющим частотой генератора, в этом случае является варикап (емкость p - n перехода, которая зависит от приложенного напряжения). Для RC - генератора цепью обратной связи является цепочка RC . В качестве резистора R используются сопротивления транзисторов, зависящие от приложенного напряжения. Частота генерации RC генератора определяется выражением $\omega_r = 1/RC$.

В соответствии с модулирующим НЧ сигналом изменяется в LRC - генераторе величина ёмкости варикапа, а в RC - генераторе – величина сопротивления R и, следовательно, в обоих случаях изменяется частота генерации.

Основной характеристикой частотного модулятора является статическая модуляционная характеристика (СМХ). СМХ частотного модулятора называется зависимость частоты генерируемых колебаний от напряжения смещения E $\omega_r = f(E)$.

Пусть нам известна зависимость сопротивления R в цепи обратной связи частотно-модулируемого генератора от напряжения смещения E (рисунок 8):

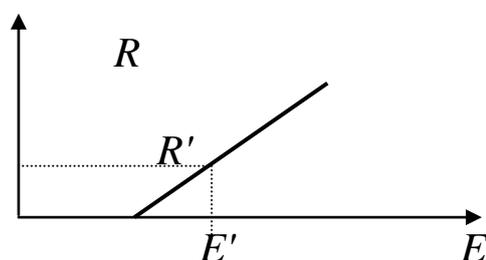


Рисунок 8 – Зависимость сопротивления от напряжения смещения

Расчет СМХ частотного модулятора выполняется по следующему алгоритму.

1) При заданном (выбранном) смещении E' определить по графику R' .

2) Определить частоту генерации $\omega'_r = 1/R'C$.

3) Изменив смещение E'' , определить R'' и ω_2'' , и т.д.

Стандартная СМХ для частотного модулятора имеет вид, изображённый на рисунке 9.

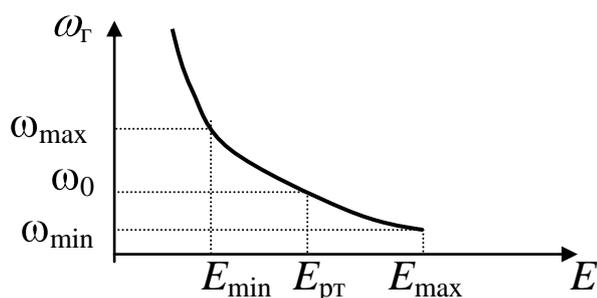


Рисунок 9 – Стандартная СМХ частотного модулятора

Выбор рабочего режима по СМХ осуществляется по следующему алгоритму.

1) Определить относительно линейный участок на СМХ.

2) Определить границы рабочего участка: ω_{\max} , ω_{\min} , E_{\max} , E_{\min} .

3) Выбрать рабочую точку в середине рабочего участка. Определить ω_0 и $E_{рт}$ для рабочей точки.

4) Определить максимальную амплитуду модулирующего (НЧ) сигнала:

$$U_m = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{2} \approx E_{\max} - E_{рт}$$

5) Определить максимально допустимую девиацию частоты:

$$\Delta\omega_{\max} \cong \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{2} \approx \omega_{\max} - \omega_0$$

6) Определить максимально допустимый индекс неискаженной ЧМ.

$$M_{чм\max} = \frac{\Delta\omega_{\max}}{\Omega}$$

Назначение частотного детектора (ЧД) состоит в том, чтобы из ВЧ модулированного ЧМ сигнала получить НЧ модулирующий сигнал. ЧД преобразует ЧМ сигнал в амплитудно - частотно моду-

лированный (АЧМ), который детектируется с помощью амплитудного детектора. Наиболее распространенная схема ЧД с расстроенными контурами. Его принципиальная схема представлена на рисунке 10.

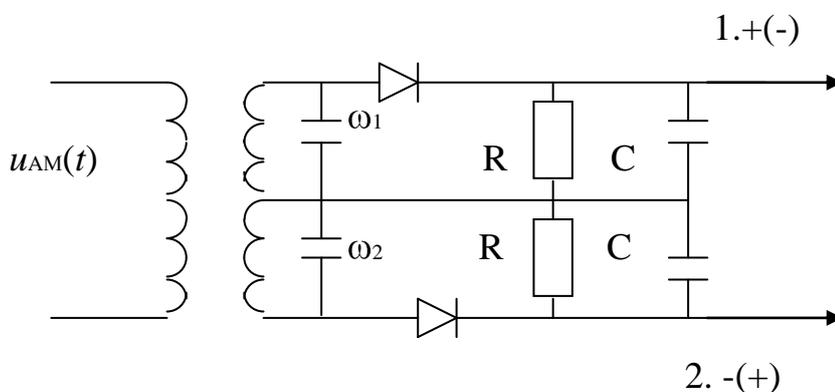


Рисунок 10 – Принципиальная схема ЧД с расстроенными контурами

Контура расстроены относительно средней частоты ЧМ сигнала ω_0 , например: $\omega_1 > \omega_0$, $\omega_2 < \omega_0$. Если частота ЧМ сигнала больше ω_0 [$\omega_{\text{ЧМ}}(t) > \omega_0$], то она ближе к ω_1 , чем к ω_2 , т.е. напряжение (его амплитуда) на верхнем контуре (на входе Д1) больше, чем напряжение на выходе нижнего контура (на входе Д2). Напряжение в точке 1 будет больше чем в точке 2.

Статической характеристикой ЧД (СХД) называется зависимость постоянной составляющей тока в нагрузке детектора I_0 от частоты входного сигнала $I_0 = \varphi(\omega)$ (рисунок 11).

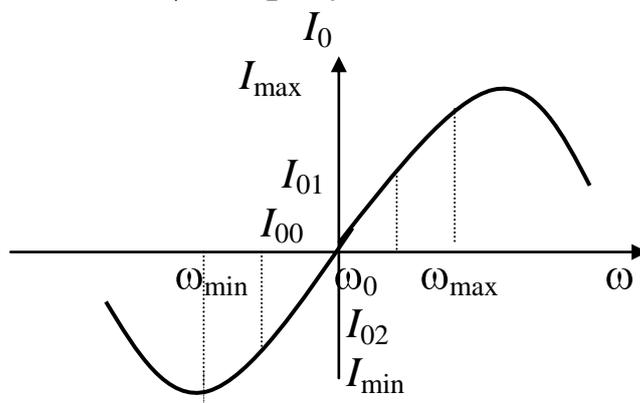


Рисунок 11 – Стандартный вид статистической характеристики ЧД

Расчет рабочего режима по СХД осуществляется по следующему алгоритму.

- 1) Выбрать линейный участок.
- 2) Определить ω_{\max} , ω_{\min} , I_{\max} , I_{\min} .
- 3) Выбрать рабочую точку в середине линейного участка характеристики.

4) Определить ω_0 , $I_{00} \cong 0$.

5) Определить допустимую девиацию частоты

$$\Delta\omega_{\max} = (\omega_{\max} - \omega_{\min})/2.$$

6) Определить максимально допустимый индекс $M_{\text{ЧМ макс}}$ входного ЧМ сигнала для неискаженного детектирования $M_{\text{ЧМ макс}} = \Delta\omega_{\max}/\Omega$, где Ω - модулирующая низкая частота.

7) Рассчитать амплитуды первых четырех гармоник и коэффициент нелинейных искажений полезного сигнала. Для расчета вводим обозначения:

$$I_1 = \frac{I_{\max} - I_{\min} + I_{01} - I_{02}}{3}; \quad I_2 = \frac{I_{\max} + I_{\min} - 2I_{00}}{4};$$

$$I_3 = \frac{I_{\max} - I_{\min} - 2(I_{01} - I_{02})}{6}; \quad I_4 = \frac{I_{\max} + I_{\min} - 4(I_{01} + I_{02}) + 6I_{00}}{12};$$

$$K_r = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2}}{I_1}.$$

4 Задание на практическую работу

В соответствии с таблицей 1 и на основании вышеизложенного материала, необходимо дать развернутые ответы на вопросы.

Таблица 1 – Варианты заданий на практическую работу

Номер варианта	Услуги
1	Запишите аналитическое выражение для ЧМ сигнала.
2	Что такое девиация частоты?
3	Чему равен индекс ЧМ?
4	Нарисуйте временную диаграмму ЧМ сигнала при гармонической модуляции.
5	Нарисуйте спектр ЧМ сигнала для очень малых и больших значений индекса ЧМ.

6	Нарисуйте принципиальную схему частотного модулятора.
7	Что такое СМХ частотного модулятора?
8	Каков порядок расчета СМХ
9	Нарисуйте принципиальную схему частотного детектора.
10	Что такое СХД?

5 Контрольные вопросы

1. Какова структура устройства передачи сообщений?
2. В чем состоит принцип модуляции (АМ, ЧМ, ФМ)?
3. Чем отличается непрерывная модуляция от импульсной?
4. Что такое помехи и искажения сигналов?

6 Список рекомендуемой литературы для подготовки к практическому занятию:

- 1 Направляющие системы электросвязи [Текст] : учебник / В. А. Андреев ; Э. Л. Портнов, Л. Н. Кочановский. - 7-е изд., перераб. и доп. - М. : Горячая линия - Телеком, 2011 - .Т. 1 : Теория передачи и влияния. - 424 с. : ил. - ISBN 978-5-9912-00 92-9.
- 2 Многоканальные телекоммуникационные системы [Текст] : учебник для вузов / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Горячая линия-Телеком, 2015. - 396 с. : ил. - Библиогр.: с. 393. - ISBN 5-93517-9912-0251-0.
3. Макаренко С.И., Сапожников В.И., Захаренко Г.И., Федосеев В.Е. Системы связи [Электронный ресурс]: учебное пособие для студентов (курсантов) вузов. - Воронеж: ВАИУ, 2011. - 285 с. // <http://window.edu.ru/resource/488/77488>
4. Бернард, С. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.