

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 28.08.2023 16:39:04

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabb75a943d14a4851fda56d089

## МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

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

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 8 » 08 2023 г.

### ФОРМИРОВАНИЕ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ С АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине «Общая теория связи»

Курск 2023

УДК 621.391 (075)

Составители: Д.С. Коптев

Рецензент

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
заведующий кафедрой космического приборостроения и систем связи  
*В. Г. Андронов*

**Формирование и детектирование сигналов с амплитудной модуляцией:** методические указания по выполнению лабораторной работы / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Д.С. Коптев. Курск, 2023. – 18 с.

Методические указания по выполнению лабораторной работы содержат краткие теоретические сведения о формировании и детектировании сигналов с амплитудной модуляцией, лабораторной установке и порядке выполнения лабораторной работы.

Методические указания соответствуют учебному плану по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также рабочей программе дисциплины «Общая теория связи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 08.08.2023. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 1,046. Уч.-изд. л. 0,95. Тираж 100 экз. Заказ 710. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## 1 Цель работы

- исследование процесса формирования и детектирование сигналов с амплитудной модуляцией, получение статической модуляционной характеристики и выбор оптимального режима работы модулятора и детектора.

## 2 Краткая характеристика исследуемых цепей и сигналов

В работе используется универсальный стенд со сменным блоком «ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ В НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ». Принципиальная схема исследуемой цепи амплитудного модулятора приведена на рисунке 1.

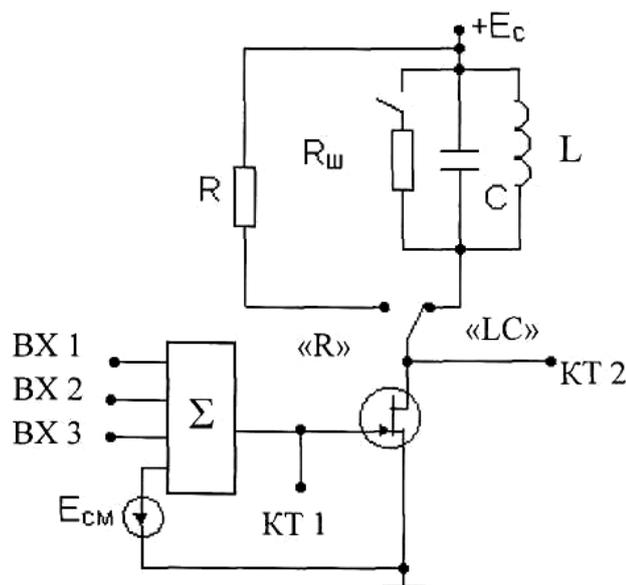


Рисунок 1 – Принципиальная схема исследуемой цепи

С помощью переключателя «R» - «LC» выбирается колебательный контур, а для снижения его добротности сопротивление  $R_{ш}$  должно быть включено. В качестве источника несущего колебания используется встроенный генератор звуковой частоты (Генератор НЧ), подключаемый к гнезду VX 1. Источник низкочастотного модулирующего колебания с частотой 1кГц должен быть подключен к гнезду VX 2. В качестве измерительных приборов используются вольтметр (напряжение смещения –  $E_{см}$ ), осциллограф и ПК в режиме анализатора спектра. Наблюдение процессов на затворе и

стоке полевого транзистора осуществляется на гнезде КТ 1 и КТ 2 соответственно.

Схема исследуемой цепи амплитудного детектора приведена на рисунке 2. Переключатель «С<sub>Н</sub>» дает возможность изменять в широких пределах постоянную времени RC – цепи (нагрузка диода). Изображенный на схеме микроамперметр находится в правой части приборной панели вверху стенда.

В качестве источника АМ сигнала с относительно низкой частотой несущего колебания ( $f_{Н1} = 13...15$  кГц) используется амплитудный модулятор, настроенный на оптимальный режим работы. Выход амплитудного модулятора (гнездо КТ 3) является входом детектора.

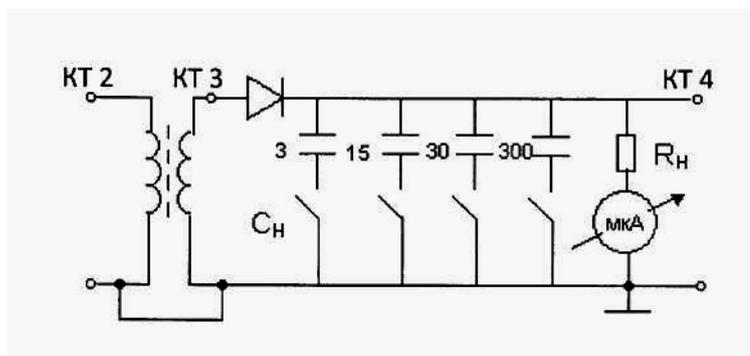


Рисунок 2 – Схема детектора АМ сигналов

В качестве источника АМ сигнала с повышенной частотой несущего колебания используется генератор, расположенный блоке ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ ( $f_{Н2} = 110$  кГц). При использовании этого генератора его выход так же подключается ко входу детектора (гнездо КТ3), но при этом нагрузка модулятора должна являться активной (кнопка «R» нажата). При этом одновременно отключается ёмкость контура (на схеме макета это не показано) и исключается шунтирующее действие расстроенного низкочастотного контура ( $f_{Н1} \approx 15$  кГц) на генератор высокочастотного сигнала ( $f_{Н2} = 110$  кГц).

Измерительные приборы подключаются ко входу (гнездо КТ3) или к выходу детектора (гнездо КТ4). Используются вольтметр, осциллограф и анализатор спектра (ПК).

### 3 Домашнее задание

3.1 Изучите по конспекту лекций и литературе основные вопросы темы «Амплитудная модуляция» и «Детектирование АМ колебаний»:

– Бабанин И.Г., Коптев Д.С. Общая теория связи. Сигналы и аналоговые системы передачи информации: учеб. пособие / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2018. – 110 с.

– Коптев Д.С., Бабанин И.Г., Довбня В.Г. Теория радиотехнических сигналов: учеб. пособие / Юго-Зап. гос. ун-т. – Курск, 2019. – 240 с.

### 4 Основы теории

Сигнал с линейной АМ можно описать следующим выражением:

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = [U_0 + K_{\text{АМ}} b(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

где  $U(t) \geq 0$  – огибающая АМ сигнала;  $K_{\text{АМ}}$  – крутизна характеристики модулятора,  $U_0$  – амплитуда модулируемого сигнала (несущей частоты).

Сигнал (1) можно записать в виде:

$$u_{\text{АМ}}(t) = U_0 [1 + M_{\text{АМ}} x(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (2)$$

где  $M_{\text{АМ}} = \frac{K_{\text{АМ}} |b(t)|_{\text{max}}}{U_0} = \frac{\Delta U}{U_0}$  – коэффициент глубины амплитудной модуляции,  $x(t) = \frac{b(t)}{|b(t)|_{\text{max}}}$  – нормированный модулирующий (низкочастотный) сигнал,  $|x(t)| \leq 1$ .

На рисунке 3, а) приведена векторная диаграмма АМ сигнала. Направление вектора неизменно, а его длина меняется при изменении  $b(t)$ . При гармоническом модулирующем сигнале  $x(t) = \cos \Omega t$ , где  $\Omega$  – модулирующая (низкая) частота, и  $M_{\text{АМ}} < 1$  АМ сигнал:

$$u_{\text{АМ}}(t) = U_0 (1 + M_{\text{АМ}} \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$$

имеет вид, приведенный на рисунке 3, б).

Раскрыв скобки в выражении (2) и представив произведение косинусов в виде косинуса суммы и разности углов, получим:

$$u_{AM}(t) = U_0 \cos \omega_0 t + \frac{M_{AM} U_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + \frac{M_{AM} U_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t.$$

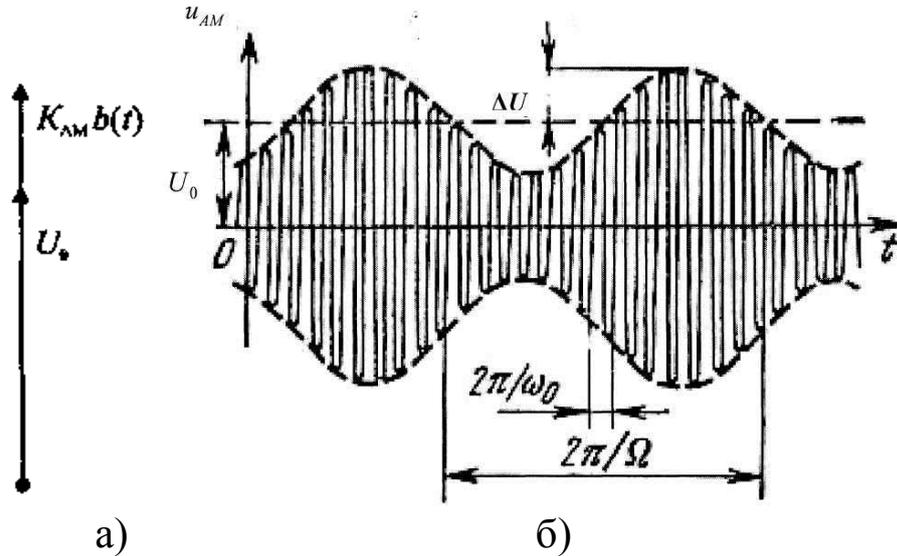


Рисунок 3 – Векторная а) и временная б) диаграммы АМ – сигнала

Этот сигнал содержит три компоненты: несущую частоту  $\omega_0$  (первое слагаемое), верхнюю боковую полосу  $\omega_0 + \Omega$  (второе слагаемое) и нижнюю боковую полосу  $\omega_0 - \Omega$  (третье слагаемое). Амплитудные спектры (на положительных частотах) первичного и АМ сигнала (3) приведены на рис. 4.

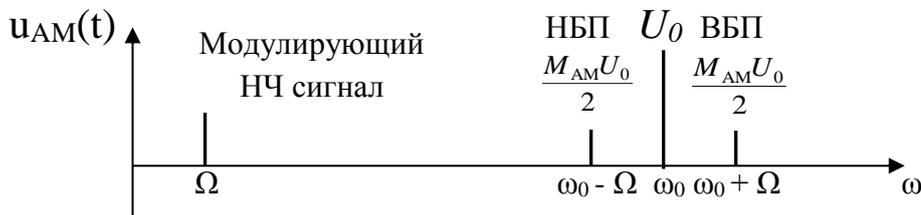


Рисунок 4 – Спектры гармонического модулирующего и АМ сигналов

Новыми колебаниями, возникающими в амплитудном модуляторе, являются комбинационные колебания второго порядка  $\omega_0 \pm$

$\Omega$ . Следовательно, наилучшей аппроксимацией ВАХ нелинейного элемента в амплитудном модуляторе является полином второй степени:

$$i = \alpha_0 + \alpha_1(u - U_0) + \alpha_2(u - U_0)^2 \text{ при } u \geq U_0,$$

где  $U_0$  – рабочая точка.

Если на вход нелинейного элемента подать бигармонический сигнал:

$$u = E_{см} + u_{\omega} + u_{\Omega} = E_{см} + U_{\omega} \cos \omega_0 t + U_{\Omega} \cos \Omega t,$$

где  $E_{см} = U_0$  – напряжение смещения,

$$u_{\omega} = U_{\omega} \cos \omega_0 t \text{ – сигнал несущей частоты (модулируемый),}$$

$$u_{\Omega} = U_{\Omega} \cos \Omega t \text{ – модулирующий (низкочастотный) сигнал,}$$

то в спектре тока  $i$ , кроме гармоник входных сигналов, образуются комбинационные колебания второго порядка:

$$i = \alpha_0 + 0,5\alpha_2(U_{\omega}^2 + U_{\Omega}^2) + \alpha_1 U_{\omega} \cos \omega t + \alpha_1 U_{\Omega} \cos \Omega t + 0,5\alpha_2 U_{\omega}^2 \cos 2\omega t + \\ + 0,5\alpha_2 U_{\Omega}^2 \cos 2\Omega t + \alpha_2 U_{\omega} U_{\Omega} \cos(\omega + \Omega)t + \alpha_2 U_{\omega} U_{\Omega} \cos(\omega - \Omega)t.$$

Третье, седьмое и восьмое слагаемые в этом выражении соответствуют АМ сигналу:

$$i_{AM} = \alpha_1 U_{\omega} \cos \omega t + \alpha_2 U_{\omega} U_{\Omega} \cos(\omega + \Omega)t + \alpha_2 U_{\omega} U_{\Omega} \cos(\omega - \Omega)t.$$

В данном случае коэффициент глубины АМ равен:

$$M_{AM} = (2\alpha_2/\alpha_1)U_{\Omega}.$$

Для выделения из спектра тока полезных компонентов сигнала  $(\omega, \omega \pm \Omega)$  необходимо применить полосовой фильтр с центральной частотой  $\omega$  и полосой пропускания не уже  $2\Omega$ . В простейшем варианте таким полосовым фильтром может быть параллельный контур с  $\omega_{рез} = \omega$  и невысокой добротностью. (При высокой добротности контура в спектре выходного напряжения будут подавлены боковые частоты).

Для нахождения оптимального режима работы модулятора необходимо получить (расчетным или экспериментальным путем) статическую модуляционную характеристику (СМХ)  $I_{m1} = f(E_{см})$  при  $U_{\omega} = \text{const}$ . Эта характеристика показывает возможности модулятора в изменении амплитуды сигнала.

Строятся несколько таких характеристик для разных амплитуд колебаний несущей частоты ( $U_{\omega}$ ) и из них выбирается та, которая имеет наибольший по протяженности линейный участок. Требование линейности СМХ вытекает из определения АМ. Тангенс угла наклона линейного участка СМХ (угла  $\alpha$  на рис. 5) является коэффициентом пропорциональности  $K_{AM}$ .

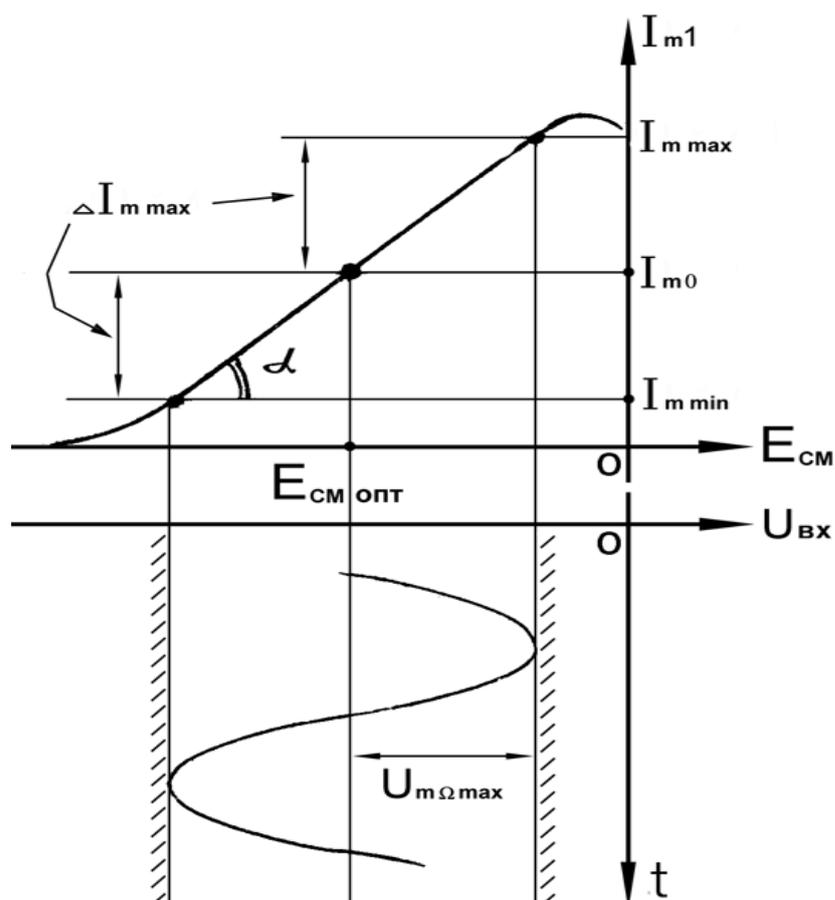


Рисунок 5 – Статическая модуляционная характеристика

С помощью СМХ можно определить оптимальный режим амплитудного модулятора и его параметры:

- оптимальную амплитуду несущей частоты  $U_{\omega}$  (по максимальной протяженности линейного участка СМХ);
- границу линейного участка СМХ (средняя точка линейного участка соответствует оптимальному напряжению смещения и амплитуде несущей частоты (по вертикальной оси));

- максимальную амплитуду модулирующего сигнала  $U_{\Omega}$  – половина проекции линейного участка СМХ на горизонтальную ось графика;

- максимальную девиацию амплитуды  $\Delta I_{\max}$  – половина проекции линейного участка СМХ на вертикальную ось;

- максимально достижимую глубину модуляции

$$M_{AM_{\max}} = \Delta I_{m_{\max}} / I_{m0}.$$

Рассмотрим принцип детектирования АМ сигналов в нелинейной цепи. Пусть нелинейный элемент (НЭ) обладает квадратичной ВАХ. Такая аппроксимация соответствует любому НЭ при малых амплитудах входных сигналов. При гармоническом модулирующем сигнале спектр тока АМ детектора (рис. 6) состоит из первых и вторых гармоник всех трех сигналов, а также комбинационных колебаний второго порядка между парами этих сигналов:

$$(\omega_0 + \Omega) \pm \omega_0; (\omega_0 - \Omega) \pm \omega_0; (\omega_0 - \Omega) \pm (\omega_0 + \Omega).$$

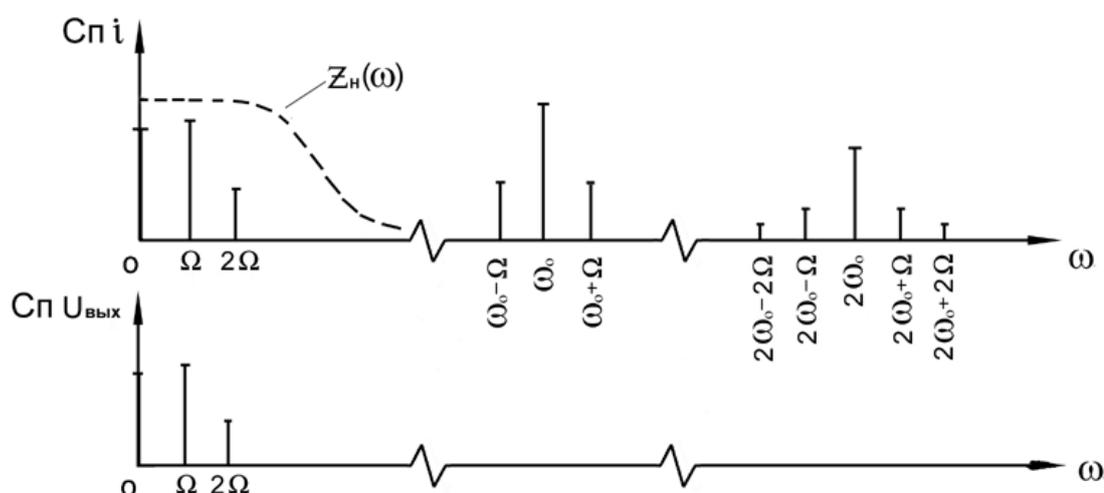


Рисунок 6 – Спектральный состав тока и выходного напряжения детектора АМ при нормальных сигналах

Из приведенного спектра видно, что полезная составляющая тока детектора с частотой  $\Omega$  является комбинационной разностной частотой между несущей и одной из боковых:

$$\begin{aligned} \omega_0 - (\omega_0 - \Omega) &= \Omega; \\ (\omega_0 + \Omega) - \omega_0 &= \Omega. \end{aligned}$$

Разность между боковыми дает вторую гармонику полезного сигнала:

$$(\omega_0 + \Omega) - (\omega_0 - \Omega) = 2 \Omega,$$

являющуюся помехой, обуславливающей нелинейные искажения полученного сигнала.

Для выделения из всего спектра тока низкочастотных сигналов в качестве нагрузки НЭ применяют ФНЧ, а в простейшем случае – параллельное соединение  $R_n$  и  $C_n$ , сопротивление которых  $z_n(\omega)$  велико на низких частотах и очень мало на частотах вблизи несущей  $\omega_0$ . Избавиться от второй гармоники  $2\Omega$  с помощью фильтра невозможно (кроме частных случаев), т. к. спектр модулирующего сигнала достаточно широк и рассматриваемый сигнал с частотой  $\Omega$  и его гармоники могут оказаться в пределах полосы пропускания ФНЧ. Появление второй гармоники при детектировании связано с работой на квадратичном участке ВАХ НЭ, что соответствует малым амплитудам входных сигналов.

Для больших сигналов на входе детектора ВАХ НЭ может быть аппроксимирована кусочно-линейной функцией, причем напряжение отсечки  $U_1$  для диода обычно считают равным нулю:

$$i = \begin{cases} Su & \text{при } u \geq 0, \\ 0 & \text{при } u < 0. \end{cases}$$

В практических схемах детекторов с этой целью часто вводят смещение, компенсирующее напряжение отсечки.

Пусть на входе амплитудного детектора (АД) действует АМ сигнал  $u_{\text{вх}} = U_m(t) \cos \omega_0 t$ , где  $U_m(t)$  является медленно меняющейся функцией времени (по сравнению с быстрым изменением текущей фазы  $\omega_0 t$ ). За один период высокочастотного колебания  $T_{\text{вч}} = 2\pi/\omega_0$  амплитуда (огибающая) АМ сигнала не успевает заметно измениться (при выполнении условия  $\Omega \ll \omega_0$ ). Это позволяет считать форму АМ сигнала за один период  $T_{\text{вч}}$  – гармонической (точнее – квазигармонической) и при выводе расчетных соотношений пользоваться методом угла отсечки. Напряжение на выходе цепи  $u_{\text{вых}} = U_{\text{но}} + u_{\approx}$ , состоящее из медленно меняющегося слагаемого  $U_{\text{но}}$  (будем считать его постоянным за время  $T_{\text{вч}}$ ) и быстро меняющегося второго сигнала  $u_{\approx}$ , описывает переход-

ной процесс перезаряда конденсатора  $C_H$ . При правильно выбранной емкости  $C_H$   $1/(\omega_0 R_H) \ll C_H \ll 1/(\Omega R_H)$   $u_{\approx} \ll U_{H0}$ , поэтому величиной  $u_{\approx}$  для количественных расчетов можно пренебречь, т. е.  $u_{\text{ВЫХ}} = U_{H0}(t)$ .

К диоду детектора (рис. 7) приложена разность напряжений между входом и выходом:

$$u = U_m(t) \cos \omega_0 t - U_{H0}(t). \quad (4)$$

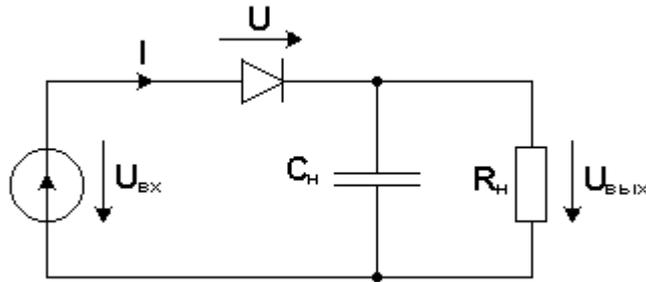


Рисунок 7 – Схема диодного детектора

При  $\omega_0 t = \theta$   $U_m(t) \cos \theta - U_{H0}(t) = 0$ , откуда:

$$\cos \theta = \frac{U_{H0}(t)}{U_m(t)}. \quad (5)$$

При  $\omega_0 t = 0$ :

$$u_{\text{max}} = U_m(t) - U_{H0}(t) = U_m(t)[1 - \cos \theta]. \quad (6)$$

Постоянная составляющая тока равна:

$$I_0 = \alpha_0(\theta) i_{\text{max}} = \alpha_0(\theta) \frac{u_{\text{max}}}{R_i} = U_m(t)[1 - \cos \theta] \frac{\alpha_0(\theta)}{R_i}.$$

Выходное напряжение детектора равно:

$$U_{H0}(t) = I_0 R_H = U_m(t)[1 - \cos \theta] \alpha_0(\theta) \frac{R_H}{R_i}.$$

Разделив обе части уравнения на  $U_m(t)$ , получим:

$$\cos \theta = (1 - \cos \theta) \alpha_0(\theta) \frac{R_H}{R_i} \quad \text{или} \quad \frac{R_H}{R_i} = \frac{\cos \theta}{\alpha_0(\theta)(1 - \cos \theta)}.$$

Из последнего выражения следует, что угол отсечки  $\theta$  является сложной функцией отношения сопротивлений  $\theta = f(R_H/R_i)$ , причём нет никакой зависимости угла отсечки от амплитуды сигнала  $U_m(t)$ . Следовательно, при выбранных параметрах схемы детектора ( $R_H$  и  $R_i = 1/S$ ) угол отсечки  $\theta = \text{const}$  и  $\cos \theta = \text{const}$ . Из выражения (5) следует:

$$U_{\text{но}}(t) = U_m(t) \cos \theta. \quad (7)$$

Из последнего выражения следует, что выходное напряжение детектора с точностью до постоянного коэффициента ( $\cos \theta = \text{const}$ ) повторяет огибающую входного сигнала  $U_m(t)$ . Следовательно, в рассмотренном случае (больших сигналов) детектирование происходит без искажений.

Для определения границы между слабыми и сильными сигналами необходимо рассчитать или экспериментально определить характеристику детектирования  $I_0 = \varphi(U_m)$  при  $M_{\text{AM}} = 0$  (рис. 8).

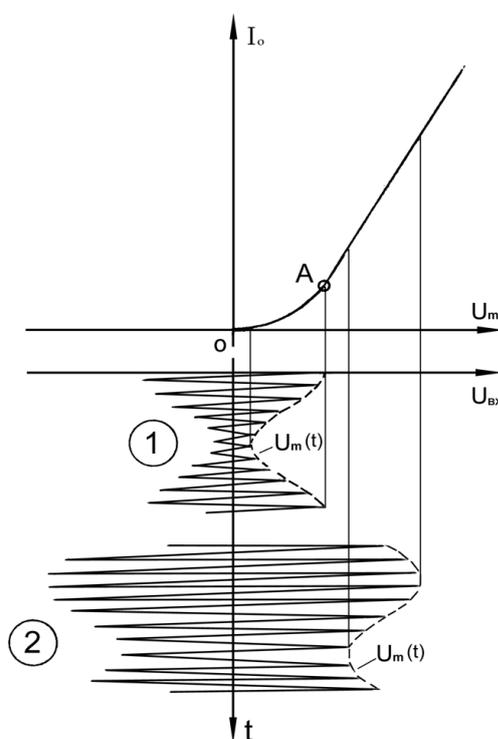


Рисунок 8 – Характеристика детектирования (режим малых (1) и больших (2) сигналов)

Эта характеристика по смыслу обратна СМХ амплитудного модулятора: она показывает, как меняется ток  $I_0$  (а, следовательно, и  $U_{\text{но}}(t) = I_0 R_{\text{н}}$ ) при изменении амплитуды входного сигнала (полезная информация в АМ сигнале заключена в его огибающей). Если последняя приходится на линейный участок характеристики детектирования, то искажения при детектировании отсутствуют. При малых сигналах (участок левее точки А на рис. 8) нет пропорциональности  $I_0$  амплитуде входного сигнала, следовательно выходное напряжение детектора не соответствует огибающей входного сигнала, т.е. при малых сигналах детектирование сопровождается искажениями.

Граница линейного участка (точка А) характеристики детектирования соответствует границе слабых и сильных сигналов. Рассмотренная характеристика детектирования позволяет определять условия, при которых искажения отсутствуют – выбрать амплитуду несущей на входе детектора и максимально допустимую глубину модуляции  $M_{\text{АМ max}}$ .

## 5 Лабораторное задание

5.1 Получите статическую модуляционную характеристику модулятора.

5.2 Определите величины напряжений, необходимых для получения сигнала с наибольшей глубиной модуляции без заметных искажений.

5.3 Исследуйте форму и спектр АМ сигнала в оптимальном режиме, а также при различных отклонениях от этого режима.

5.4 Проведите исследование временных диаграмм и спектров сигналов при амплитудном детектировании с различными постоянными времени нагрузки АД.

5.5 Изучите характеристику АД при малых и при больших амплитудах входного сигнала.

## 6 Методические указания

6.1 Непосредственному выполнению лабораторного задания предшествует определение резонансной частоты контура. Для этого

необходимо на один из входов сумматора подать сигнал от встроенного генератора НЧ напряжением около 0,5 В. Изменяя частоту генератора НЧ в диапазоне от 12 до 16 кГц, зафиксируйте частоту, соответствующую максимуму выходного напряжения на гнезде КТ2. Контроль выходного напряжения может осуществляться с помощью встроенного индикатора (микроамперметра стенда), встроенного комбинированного прибора или осциллографа. Точное значение резонансной частоты  $f_{рез}$  вносится в таблицу 1.

Таблица 1 – Промежуточные результаты

$f_{рез} = \dots$ кГц ;	$U_{\omega} = \dots$ В;	$U_{\Omega} = 0$
$E_{см}, В$		
$U_{вых}, В$		
$I_{с1}, мА$		

6.2 СМХ  $I_{с1} = f(E_{см})$  измеряются на резонансной частоте контура при отсутствии модулирующего сигнала ( $U_{\Omega} = 0$ ) для двух значений напряжения высокочастотного сигнала на выходе сумматора:  $U_{\omega} = 0,5 В$  и  $U_{\omega} = 1,0 В$ . Изменяя напряжение смещения с шагом 0,5 В, измерьте выходное напряжение в КТ2. Данные эксперимента в обоих случаях внесите в две таблицы, аналогичные приведенной выше. Первая гармоника тока стока рассчитывается по формуле:

$$I_{с1} = U_{вых} / R_{Э0},$$

где  $R_{Э0} = 1 кОм$  – сопротивление контура на резонансной частоте.

По таблицам на одном графике постройте обе зависимости  $I_{с1} = f_1(E_{см})$  при  $U_{\omega} = 0,5 В$  и  $I_{с1} = f_2(E_{см})$  при  $U_{\omega} = 1,0 В$ .

6.3 Оптимальный режим модулятора находится в два этапа. На первом этапе выбирается статическая модуляционная характеристика с наиболее протяженным линейным участком, на втором – определяется положение рабочей точки на этой характеристике. По этой же характеристике определяется максимальная амплитуда низкочастотного модулирующего напряжения  $U_{\Omega max}$  так, чтобы модуляция осуществлялась без заметных искажений.

Соедините гнездо «1кГц» блока ИСТОЧНИКИ СИГНАЛОВ со входом сумматора и ручкой регулятора выхода установите найденное значение  $U_{\Omega\max}$ , помня, что вольтметры переменного напряжения показывают действующее значение  $U_{\Omega} = U_{\Omega\max} / \sqrt{2}$ .

Установите смещение  $E_{\text{см опт}}$ , соответствующее середине линейного участка СМХ  $I_c = f(E_{\text{см}})$ . Установите на входе 1 сумматора выбранное значение  $U_{\omega}$  (0,5 В или 1 В). Найденные величины занесите в таблицу 2.

Таблица 2 – Оптимальный режим модулятора

$f_0$ , кГц	$E_{\text{см опт}}$ , В	$U_{\omega}$ , В	$U_{\Omega\max}$ , В	$R_{\text{ш}}$
				ВКЛ

В данном (оптимальном) режиме модулятор будет использован в следующей лабораторной работе как источник АМ сигналов. Поэтому чётко зафиксируйте условия эксперимента и схему соединений.

6.4 Анализ временных диаграмм и спектров на входах и выходе модулятора при оптимальном режиме выполнять в следующей последовательности (масштаб по оси времени сохранить неизменным):

- 1) входной сигнал несущей частоты (ВХ1);
- 2) входной сигнал низкой частоты (ВХ2);
- 3) суммарный входной сигнал (КТ1);
- 4) выходное напряжение (КТ2);
- 5) форма тока стока  $I_c(t)$  (КТ2, кнопка «R» нажата);
- 6) выходное напряжение при высокой добротности контура (КТ 2 при нажатой кнопке «LC» и отжатой «R<sub>ш</sub>»).

Одновременно с осциллограммами зарисуйте спектры всех перечисленных сигналов с сохранением масштаба по оси частоты. По полученным осциллограммам определите и зафиксируйте в таблице 3 глубину модуляции  $M_{\text{АМ}}$ .

Таблица 3 – Глубина модуляции

$R_{\text{ш}}$	Глубина модуляции, $M_{\text{АМ}}$	
	по спектрограмме	по временной диаграмме
ВКЛ.		
ВЫКЛ.		

6.5 Проведите анализ и зарисуйте временные диаграммы сигналов с искажениями на выходе модулятора при режимах, отличных от оптимального («LC» и «R<sub>ш</sub>» включены, напряжения отличны от найденных в п. 6.3).

$$6.5.1 E_{\text{см}} = E_{\text{см опт}} + 1 \text{ В}$$

$$6.5.2 E_{\text{см}} = E_{\text{см опт}} - 1 \text{ В}$$

$$6.5.3 E_{\text{см}} = E_{\text{см опт}}, U_{\Omega} \cong 2 U_{\Omega \text{max}}.$$

6.6 Проведите анализ работы амплитудного модулятора при сложном модулирующем сигнале. Для этого подайте из блока «ИСТОЧНИКИ» на ВХ2 и ВХ3 сумматора низкочастотные сигналы с частотами соответственно 1 кГц и 2 кГц. Для сохранения оптимального режима модулятора амплитуду каждого из подаваемых сигналов установит равной половине  $U_{\Omega \text{max}}$ . Зарисуйте осциллограммы и спектры сигналов:

- на входе модулятора (гнездо КТ1), для чего отключите источник несущей частоты  $\omega$  от ВХ1;

- на выходе модулятора (гнездо КТ2) при восстановленном сигнале несущей частоты на ВХ1.

6.7 Установите оптимальный режим работы амплитудного модулятора. Зарисуйте друг под другом с сохранением масштаба осциллограммы и спектры:

- модулированного колебания на входе детектора (гнездо КТ3);
- напряжения на выходе детектора при всех значениях емкости нагрузки  $C_{\text{H}} = 0, 3; 15; 30; 300 \text{ нФ}$  (гнездо КТ4).

6.8 Задания п. 6.7 повторите (без анализа спектров) при детектировании АМ сигналов с высокой частотой несущего колебания ( $f_{\text{H2}} \approx 110 \text{ кГц}$ ). Для этого к гнездам КТ3 подключить внутренний источник АМ колебаний. Амплитуду несущей установит равной 1 В при  $M_{\text{AM}} = 0,6 \dots 0,8$ . Переключатель «С<sub>Н</sub>» установить вначале в положение «0». Переключатель R или LC (нагрузка полевого транзистора) установить в положение «R».

6.9 Детектирование АМ сигналов с глубиной модуляции  $M_{\text{AM}} > 1$ . Сохраняя схему измерений пункта 6.8, увеличьте до максимума глубину модуляции (ручку «m» установите в крайнее правое положение).

Зарисуйте осциллограммы на входе и выходе детектора при  $C_{\text{H}} = 3 \text{ нФ}$ .

6.10 Измерение характеристики детектирования  $I_0(U_\omega)$  произведите при действии немодулированного сигнала от встроенного генератора с частотой  $f_{H2}$  ( $M_{AM} = 0$ ). Переключатель  $C_H$  установите в положение 15 нФ. Ток детектирования при изменении  $U_\omega$  в пределах от нуля до 1 В измеряйте внутренним микроамперметром. Данные измерений занесите в таблицу 4, при этом особое внимание обратите на выявление общего вида характеристики и, в частности, её начального участка (определите  $U_\omega$  при одном, двух и трех делениях шкалы микроамперметра).

Таблица 4 – Промежуточные результаты

$f_H = \dots$ кГц	$M_{AM} = 0$	$C_H = 15$ нФ
$U_\omega$ , В		
$I_0$ , мкА		

## 7 Контрольные вопросы

- 1) Что такое АМ? Запишите аналитическое выражение АМ сигнала.
- 2) Какая форма ВАХ НЭ является наилучшей для получения АМ сигналов?
- 3) Что такое глубина модуляции?
- 4) Как измерить глубину модуляции по временной диаграмме и спектрограмме АМ сигнала?
- 5) Как связаны между собой ширина спектра модулирующего и модулированного сигнала при АМ?
- 6) Как распределяется мощность между составляющими АМ сигнала?
- 7) Какова роль нагрузки амплитудного модулятора?
- 8) Что такое СМХ? Как по СМХ выбрать режим работы модулятора?
- 9) Как по СМХ определить максимальную девиацию амплитуды и максимальную глубину модуляции?
- 10) Какова характеристика детектирования диодного детектора при подаче слабых сигналов?
- 11) Каковы условия линейного детектирования в схеме диодного детектора?

12) Изобразите схему диодного детектора. Поясните работу диодного детектора соответствующими временными диаграммами.

13) С каким углом отсечки работает диод в схеме диодного детектора? От чего зависит величина этого угла?

14) Из каких условий выбирается постоянная времени нагрузки при детектировании АМ сигналов?

15) Можно ли детектировать диодным детектором:

- АМ колебания при  $M_{AM} > 1$ ;
- АМ колебания с подавленной несущей;
- колебания с однополосной модуляцией?