

240

Лаб. 11
15к

Через...

Министерство образования и науки Российской Федерации
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Кафедра радиофизики

Наталья Михайловна Золотухина

Владимир Петрович Валухов

**Исследование амплитудной модуляции и детектирование
амплитудно-моделированных колебаний**

Методическое пособие по лабораторной работе

Санкт-Петербург

2005

Цель лабораторной работы

Исследование физических процессов при амплитудной модуляции смещением. В работе снимаются статистические и динамические модуляционные характеристики транзисторного усилителя с базовой модуляцией.

Исследование процессов, происходящих при детектировании амплитудно-модулированных колебаний в диодном детекторе. В работе снимаются детекторные характеристики, измеряется входное сопротивление детектора, наблюдаются осциллограммы напряжений при различных параметрах нагрузки.

I. Оборудование

1. Лабораторный макет
2. Осциллограф типа С1-5
3. Вольтметр постоянного тока, цифровой, типа Ф4202, В7-27
4. Вольтметр типа В3-38, 2 штуки
5. Генератор стандартных сигналов типа Г3-33 (Г3-36)
6. Генератор стандартных сигналов типа Г4-42, Г4-102, Г4-106
7. Частотомер ЧЗ-33
8. Источник питания собран непосредственно в макете

II. Лабораторная установка

Принципиальная схема макета представлена на рис. 1.

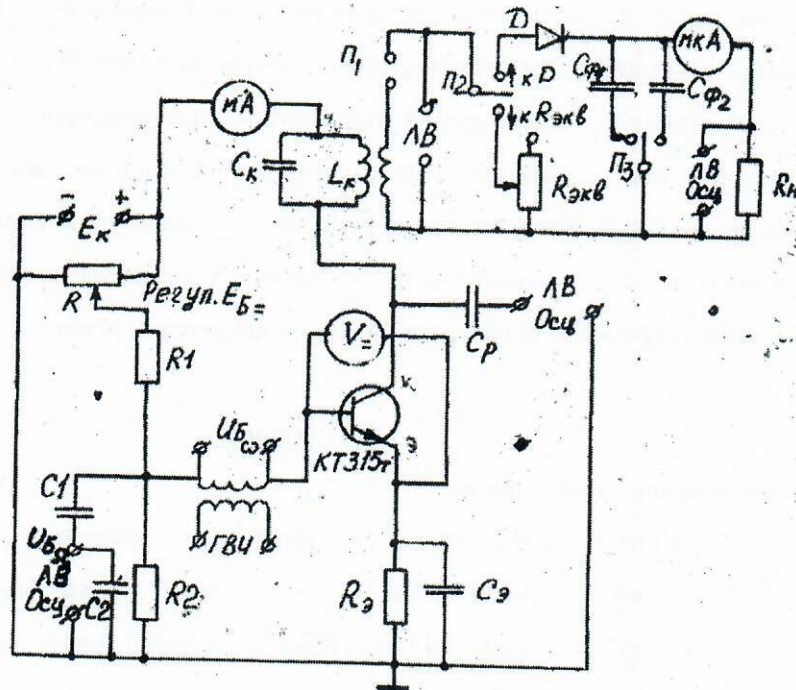


Рис. 1

В. Порядок выполнения лабораторной работы

1. Включить питание макета, подключить цифровой вольтметр к гнездам 3-4. Переключатель П2 установить в положение «Д» (диод). Снять статическую характеристику транзистора $I_K = \varphi_1(U_{бэ=})$.

2. Собрать полностью схему, снять статическую модуляционную характеристику $U_{к\omega} = \varphi_2(U_{бэ=})$ транзисторного усилителя при действии на входе гнезд 1-2 высокочастотного колебания с частотой $f = f_{p(\text{рез})}$ и амплитудой $U_{б\omega} = 100$ мВ. Настройка в резонанс производится по максимуму напряжения в контуре, измеряемому ламповым вольтметром при подключенном к гнезду 15 осциллографе С1-5. Построить снятую характеристику, выбрать смещение $U_{бэ=}$, соответствующее середине линейного участка статической модуляционной характеристики.

3. Установить смещение $U_{бэ=}$ и напряжение $U_{б\Omega}$ в соответствии с п.2., снять резонансную характеристику контура и коллекторной цепи $L_K C_K$, поддерживая $U_{б\omega} = 100$ мВ = Const. Определить Q колебательного контура.

4. Подать на вход (гнезда 7-8) схемы напряжения низкой частоты от генератора ГЗ-33, получить АМ – колебания. Снять динамическую модуляционную характеристику – зависимость коэффициента модуляции напряжения на контуре m_U от амплитуды модулирующего сигнала $U_{б\Omega}$ при $f = f_{p(\text{рез})}$, $F = 1$ кГц, $U_{б\omega} = 100$ мВ.

Коэффициент модуляции измеряется по осциллограмме АМ – колебаний:

$$m_U = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}$$

5. Снять зависимость коэффициента модуляции от частоты модулирующего сигнала F , изменяя F от 400 Гц до 20 кГц.

Амплитуда $U_{б\Omega}$ не должна превосходить значения соответствующего наличию нелинейных искажений АМ - колебаний.

6. Рассчитать зависимость $m_u = m_u(F)$ по формуле:

$$m_u = \frac{m_i}{\sqrt{1 + \left(Q \frac{2\Omega}{\omega_0}\right)^2}}. \text{ Значение } m_i \text{ принять равным } m_U \text{ при } F = 400 \text{ Гц в п. 5.}$$

IV. Содержание отчета

Отчет должен содержать:

1. Формулировку цели работы
2. Принципиальную схему макета
3. Перечень приборов, примененных при исследовании
4. Формулы, использованные при обработке результатов измерений и примеры расчета
5. Графики исследованных зависимостей по пп. 1 – 7, 9
6. Осциллограммы напряжения на кальках по пп. 8, 9
7. Выводы по каждому пункту исследования.

Принцип действия исследуемых схем

Амплитудная модуляция является наиболее распространенным в радиотехнике способом заложения информации в высокочастотное колебание. При амплитудной модуляции огибающая амплитуд несущего колебания с частотой ω_0 изменяется по закону, совпадающему с изменением передаваемого сообщения $S(t)$, частота же и начальная фаза несущего колебания поддерживаются неизменными:

$$a(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \Theta_0)$$

Характер огибающей $A(t)$ определяется видом передаваемого сообщения $S(t)$. Например, когда модулирующая функция $S(t)$ является гармоническим колебанием: $S(t) = S_0 \cos \Omega t$, огибающая модулированного колебания будет иметь вид:

$$A(t) = A_0 + kS(t) = A_0 + \Delta A_m \cos \Omega t,$$

где Ω – модулирующая частота, k – коэффициент пропорциональности, $\Delta A_m = kS_0$ – амплитуда изменения огибающей (рис. 2)

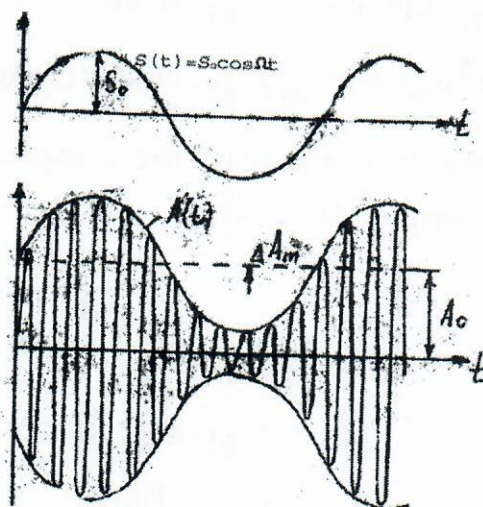


Рис. 2

Спектр тока содержит первую и вторую гармоники частот ω_0 и Ω , и комбинационные частоты $\omega_0 \pm \Omega$. Для получения АМ – колебания нужно из всего спектра выделить составляющие ω_0 , $\omega_0 + \Omega$, $\omega_0 - \Omega$, что достигается пропусканием тока через колебательный контур с резонансной частотой ω_0 . Составляющая тока с частотами, близкими к ω_0 , определяются выражением:

$$i_{\omega_0} = a_1 U_{m\omega} \cos \omega_0 t + 2 a_2 U_{m\omega} U_{m\Omega} \cos \Omega t \cos \omega_0 t.$$

Если характеристика контура $Z_3(\omega)$ такова, что для частот ω_0 , $\omega_0 \pm \Omega$: $Z_3(\omega) \approx R_3$, а для остальных составляющих тока $Z_3(\omega) \approx 0$ (т. е. контур представляет короткое замыкание), то на контуре получаем АМ – напряжение:

$$U_{\text{ВЫХ}} = i_{\omega_0} R_3 = a_1 R_3 U_{m\omega} \left(1 + \frac{2a_2 U_{m\Omega}}{a_1} \cos \Omega t \right) \cos \omega_0 t \quad (2)$$

которое можно записать как:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВЫХ}} (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t \quad (3)$$

$$\text{где } U_{\text{ВЫХ}} = a_1 R_3 U_{m\omega} m = 2 \frac{a_2}{a_1} U_{m\Omega}.$$

Глубина модуляции (рис. 2) тем больше, чем сильнее нелинейность характеристики, определяемая a_2 , и амплитуда модулирующего сигнала $U_{m\Omega}$. В рассмотренном случае нелинейного элемента с квадратичной характеристикой амплитуда АМ – колебания изменяется пропорционально модулирующему сигналу $U_{m\Omega}$, т. е. модуляция оказывается неискаженной. Обычно в качестве нелинейных модуляторов используются не диоды, а транзисторы или лампы. Моделируемое высокочастотное (несущее) колебание подают во входную цепь нелинейного элемента, а модулирующий сигнал вводят в цепи различных электродов: в транзисторах чаще всего в цепь базы (такая модуляция называется базовой) или в цепь коллектора (коллекторная модуляция), в лампах – в цепь сетки или анода (соответственно – сеточная или анодная модуляция).

В лабораторной работе исследуется схема амплитудной модуляции – АМ, в которой в качестве нелинейного элемента применен высокочастотный транзистор – КТ-315Г, *n-p-n* типа, с граничной частотой усиления в схеме с общей базой $f_{\alpha} = 400$ МГц, а коллекторной нагрузкой является колебательный контур (рис. 1). Схема рис. 1 образует модулируемый усилитель, в котором транзистор включен по схеме с общим эмиттером. В данной схеме АМ – колебания получаются модуляцией смещения модулируемого

Линейному участку характеристики $i_k = f(U_{бэ=})$ соответствует участок с постоянной крутизной $S = \text{Const}$. Коллекторный ток представляет последовательность импульсов, отличающихся друг от друга значением $I_{к\text{MAX}}$ и углом Θ . Если разложить каждый из этих импульсов тока в ряд Фурье за период высокой частоты, то получим постоянную составляющую и гармоники высокой частоты. Напряжение на контуре, настроенном на частоту ω_0 создается только первой гармоникой $i_{k1} = I_{km1} \cos \omega_0 t$:

$$U_{\text{ВЫХ}} = i_{k1} R_{\text{Э}} = I_{km1} R_{\text{Э}} \cos \omega_0 t. \quad (4)$$

Изменение высоты и ширины импульсов тока во времени приводит к изменению амплитуды I_{km1} с низкой частотой. Амплитуда первой гармоники I_{km1} , при неизменной амплитуде входного сигнала несущей частоты $U_{б\omega_m}$ зависит от $I_{к\text{MAX}}$ и Θ , воздействовать на которую, в свою очередь, можно изменением напряжения смещения.

Первую гармонику коллекторного тока можно записать в виде:

$$I_{km1} = S_{\text{СР}} U_{б\omega_m}, \quad (5)$$

где

$$S_{\text{СР}} = S(1 - \cos \Theta) \alpha_1(\Theta)$$

Здесь $S_{\text{СР}}$ – средняя крутизна характеристики $i_k = f(U_{бэ=})$ для первой гармоники тока, $\alpha_1(\Theta)$ – некоторая функция от Θ . Таким образом, при изменении напряжения смещения происходит изменения амплитуды первой гармоники коллекторного тока за счет изменения средней крутизны характеристики.

При осуществлении модуляции могут возникать искажения, заключающиеся в отклонении от формы огибающей АМ – колебания от формы модулирующего сигнала U_{Ω} . Для оценки качества воспроизведения модулирующего сигнала огибающей АМ – колебания удобно пользоваться статистическими и динамическими модуляционными характеристиками. Напряжения на базе транзистора можно рассматривать как сумму высокочастотного колебания с частотой ω_0 и напряжения смещения $e_{бэ} = U_{бэ=} + U_{б\omega_m} \cos \Omega t$ медленно изменяющегося с низкой частотой (обычно $\Omega \ll \omega_0$, так что за период высокой частоты напряжение моделирующего сигнала изменяется незначительно и по отношению к сигналу $U_{б\omega_m}$ напряжение смещения $e_{бэ}$ является медленно меняющимся во времени). Так как амплитуда выходного напряжения $U_{\text{тВЫХ}}$ пропорциональна I_{km1} , для получения неискаженной модуляции необходимо, чтобы I_{km1} изменялась пропорционально изменению напряжения смещения. Зависимость

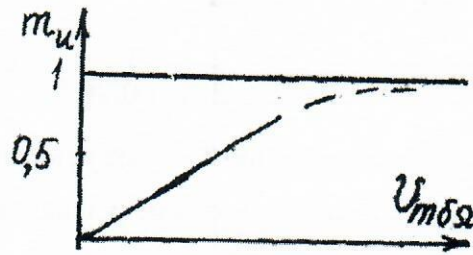


Рис. 8

Коэффициент модуляции в соответствии с обозначениями на рис. 7 может быть подсчитан по статической модуляционной характеристике как:

$$m = \frac{\Delta I_{K\text{м1}}}{I_{K\text{мCP}}}$$

В исследуемой схеме получения АМ – колебаний в качестве нагрузки используется параллельный контур, настроенный на частоту ω_0 и обладающий полосой пропускания $2\Omega_{\text{МАХ}}$. Коэффициент модуляции напряжения m_U отличается от коэффициента модуляции тока m_i : $m_U < m_i$ так как сопротивление Z_K контура для боковых частот меньше, чем для несущей (рис. 9).

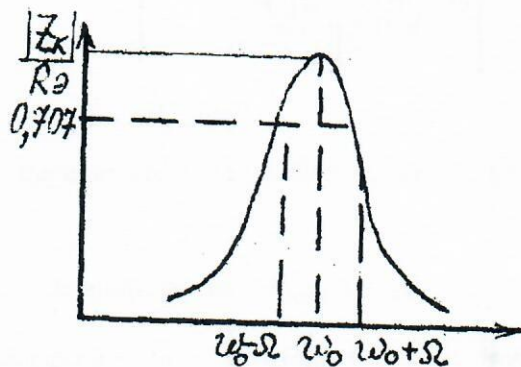


Рис. 9

Это явление носит название демодуляции. При увеличении частоты модулирующего сигнала F ($F = \Omega / (2\pi)$) напряжение $U_{\text{БОК}}$ верхней и нижней боковых частот ($\omega_0 + \Omega$ и $\omega_0 - \Omega$) уменьшается по сравнению с неизменным напряжением $U_{\text{НЕС}}$ несущей частоты ω_0 и $m_U = \frac{2U_{\text{БОК}}}{U_{\text{НЕС}}}$ уменьшается.

Связь между m_U и m_i можно получить исходя из зависимости модуля сопротивления параллельного контура от частоты:

$$m_U = \frac{m_i}{\sqrt{1 + \left(Q \frac{2\Omega}{\omega_0}\right)^2}}, \quad (6)$$

$$K = \frac{U_{m\Omega}}{mU_{m\omega}}. \quad (10)$$

в). Степень частотных искажений, определяемая частотной характеристикой

$$K = \Phi(\Omega) \text{ при } U_{m\omega} = \text{Const}, m = \text{Const}, \omega = \text{Const}$$

г). Входное сопротивление детектора, т. е. отношение амплитуды подводимого к детектору синусоидального напряжения высокой частоты к амплитуде первой гармоники входного тока высокой частоты

д). Степень нелинейных искажений, характеризуемых отношением действующего значения всех высших гармоник выходного напряжения к действующему значению напряжения основной частоты модуляции

На рис. 1 представлена принципиальная схема диодного детектора, состоящего из нелинейного элемента (полупроводниковый диод D), нагрузки (резистор R_H) и фильтра (конденсатор C_Φ). Параметры схемы выбираются таким образом, чтобы выполнялись соотношения:

$$R_{\partial\text{ПР}} < 1/(\omega C_\Phi), \quad (11)$$

$$1/(\omega C_\Phi) \ll R_H, \quad (12)$$

$$R_H \ll 1/(\Omega C_\Phi), \quad (13)$$

$$C_\Phi \gg C_\partial, \quad (14)$$

$$R_H \ll R_{\partial\text{ОБР}}. \quad (15)$$

Здесь $R_{\partial\text{ПР}}$ и $R_{\partial\text{ОБР}}$ – прямое и обратное сопротивление диода; C_∂ – ёмкость диода.

Пусть к входу схемы (рис. 1) приложено синусоидальное напряжение высокой частоты $U_{\text{ВХ}}$. Имеем:

$$U_{\text{ВХ}} = U_\partial + U_{C_\Phi} \quad (16)$$

где U_∂ – напряжение на диоде, U_{C_Φ} – напряжение на конденсаторе C_Φ .

Обратимся к рис. 11, на котором приведены временные зависимости напряжений $U_{\text{ВХ}}$, U_∂ , U_{C_Φ} и тока диода i_∂ . В интервале времени (t_1, t_2) , когда $U_{\text{ВХ}} > U_{C_\Phi}$ и $U_\partial > 0$ диод открыт и конденсатор быстро заряжается через малое сопротивление диода $R_{\partial\text{ПР}}$ до напряжения $U_{C_\Phi}(t_2)$ (постоянная составляющая времени заряда $\tau_3 = R_{\partial\text{ПР}} C_\Phi$ меньше периода высокочастотного колебания T_ω). Полярность напряжения на конденсаторе является для диода обратной. В интервале времени (t_2, t_3) $U_{\text{ВХ}} < U_{C_\Phi}$ и $U_\partial < 0$ диод закрыт,

Рассмотрим процессы в схеме диодного детектора при изменении входного напряжения (см. рис. 12). Отметим, что в АМ – колебаниях эти изменения происходят с много меньшей частотой Ω , чем несущая частота ω . При медленном изменении амплитуды $U_{m\omega}$, процессы в схеме близки к стационарным, напряжение на емкости примерно равно амплитуде входного и «следит» за ее изменением.

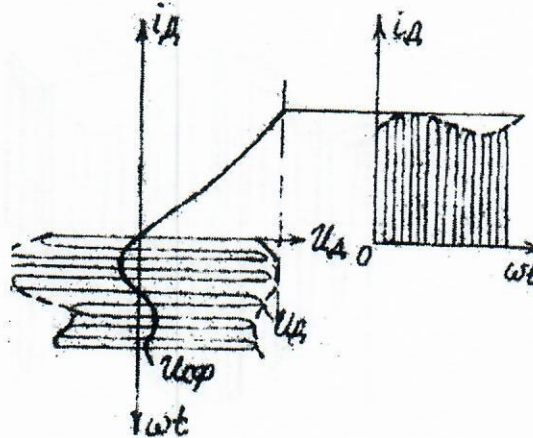


Рис. 12

Таким образом, закон изменения напряжения на емкости повторяет закон изменения амплитуды, что и определяет процесс детектирования. Если амплитуда входного напряжения в соответствии с (7) изменяется по косинусоидальному закону, то напряжение на емкости также будет меняться по этому закону, причем амплитуда переменной составляющей частоты Ω будет равна:

$$U_{m\Omega} = m U_{m\omega} \cos \Theta, \quad (20)$$

и коэффициент передачи напряжения (коэффициент детектирования) составит:

$$K = \frac{U_{m\Omega}}{m U_{m\omega}} = \cos \Theta \quad (21)$$

Коэффициент передачи диодного детектора всегда меньше единицы.

Рассмотрим искажения, обусловленные быстрым изменением $U_{m\Omega}$ во времени, когда частота модуляции Ω настолько велика, что нарушается соотношение (13) и период модуляции T_{Ω} становится соизмеримым с постоянной времени разряда конденсатора $\tau_p = R_H C_{\phi}$. В этом случае скорость изменения амплитуды входного напряжения может стать настолько большой, что при уменьшении амплитуды с момента времени t_1 (рис. 13) величина амплитуды оказывается меньше напряжения на конденсаторе, диод все время закрыт, и напряжение конденсатора уменьшается независимо от изменения амплитуды.

2. Пояснить физические процессы при модуляции смещением. Провести временные диаграммы, иллюстрирующие получение АМ – колебаний в транзисторном усилителе с базовой модуляцией
3. Почему режим модулирующего усилителя для получения АМ – колебаний должен быть существенно нелинейным?
4. Дать определение статической модуляционной характеристике
5. Чем следует руководствоваться при выборе рабочей точки модулирующего усилителя?
6. Привести принципиальную схему последовательного диодного детектора, пояснить назначение всех элементов схемы
7. Чем следует руководствоваться при выборе параметров нагрузки диодного детектора?
8. Дать определение детекторной характеристики. Изобразить детекторные характеристики при различных параметрах нагрузки
9. Почему принято разделять детектирование слабых и сильных сигналов?
10. Какими признаками обусловлено появление нелинейных искажений на выходе детектора АМ – колебаний?

V. Литература

1. Гоноровский И.С. «Радиотехнические цепи и сигналы», 1971, с. 111-120, 452-455
2. Андреев В.С. «Теория нелинейных электрических цепей», изд. «Связь», М., 1972, с. 73-81
3. Лабораторный практикум по курсу «Радиотехнические цепи и сигналы» под ред. проф. Б.А.Кашеева, «Высшая школа», М., 1976, с. 67-76.