

МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)  
«МАИ»

Кафедра теоретической радиотехники

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА  
«Исследование амплитудного модулятора»

Утверждено на заседании кафедры 405  
31 августа 2006 г.  
протокол № 1

Москва, 2006 г.

## Цель работы

Наблюдение формы сигналов (токов и напряжений) в характерных точках преобразования (входной сигнал – нелинейный элемент – избирательная нагрузка), анализ и объяснение наблюдаемых осциллограмм, а также снятие статической и динамической модуляционных характеристик.

## Краткие сведения о лабораторной работе

Схема лабораторного макета амплитудного модулятора показана на рис. 1.

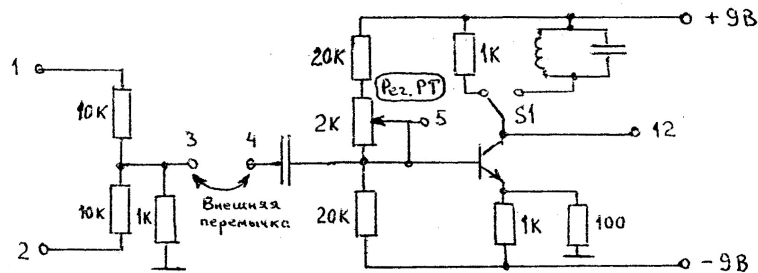


Рис. 1. Схема лабораторного макета амплитудного модулятора.

Функциональная схема амплитудного модулятора показана на рис. 2.



Рис. 2. Функциональная схема амплитудного модулятора.

## Задание для подготовки к лабораторной работе

Вольтамперная характеристика нелинейного элемента аппроксимирована функцией

$$i(t) = \begin{cases} S \cdot (u(t) - U_{\text{отс}}), & u > U_{\text{отс}}, \\ 0, & u < U_{\text{отс}}, \end{cases}$$

где крутизна ВАХ  $S$  и напряжение отсечки  $U_{\text{отс}}$  заданы в таблице 1.

Таблица 1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S$ , мА/В	5	20	4	6	10	3,5	8	2	7	15
$U_{\text{отс}}$ , В	-5	2	3	-10	5	-7	10	-3	0	-2

На вход НЭ подаётся сигнал

$$u(t) = U_0 + U_m \cos \Omega t + U_n \cos \omega_0 t.$$

Параметры входного напряжения указаны в таблице 2.

Таблица 2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_0, \text{В}$	-6	2	2,5	-10	4	-6	8	-3	0,5	-1,5
$U_{н}, \text{В}$	5	3	7	4	6	5	4	3	7	2

Определить амплитуду низкочастотного сигнала  $U_m$ , обеспечивающую заданный в таблице 3 коэффициент амплитудной модуляции на выходе модулятора.

Таблица 3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M, \%$	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80

Нарисовать графики:

- ВАХ нелинейного элемента;
- входного напряжения;
- импульсов тока на выходе НЭ;
- напряжения на колебательном контуре, стоящем в нагрузке НЭ. Сопротивление колебательного контура на резонансной частоте  $Z_p = 10 \text{ кОм}$ .

### Порядок выполнения лабораторной работы

#### 1. Экспериментальное определение статической модуляционной характеристики.

1.1. Соберите схему подключения приборов и измерительного стенда для измерения статической модуляционной характеристики в соответствии с рис. 3. В качестве источника сигнала используется генератор высокой частоты (ГВЧ, выход  $\mu\text{В}$ ). Рекомендуется при этом использовать синхронизацию ГВЧ (выход 1 В) и осциллографа.

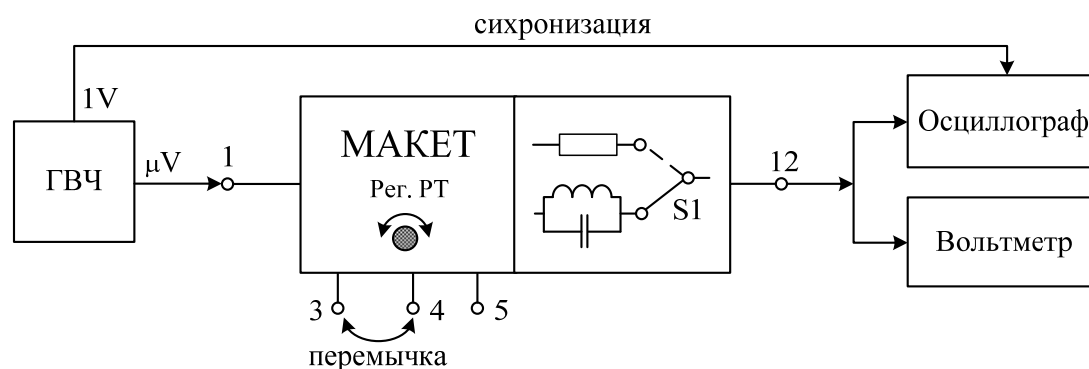


Рис. 3. Схема подключения приборов и измерительного стенда для снятия статической модуляционной характеристики.

1.2. Установите на ГВЧ частоту, равную резонансной частоте контура (при этом амплитуда колебания на контуре максимальна, и стрелка вольтметра отклоняется на максимальный угол). На экране осциллографа наблюдайте гармоническое колебание.

1.3. Переключите ключ S1 в положение «R<sub>H</sub>» и наблюдайте на экране осциллографа сигнал, показанный на рис. 4.

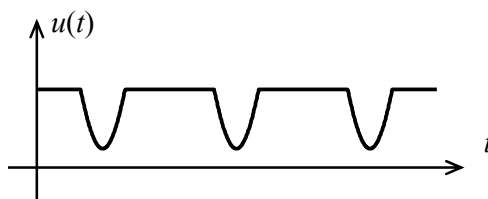


Рис. 4. Осциллограмма напряжения на сопротивлении нагрузки R<sub>H</sub>.

Нелинейный элемент должен работать в режиме с отсечкой тока. Установите такую амплитуду колебания на выходе ГВЧ, чтобы при смещении рабочей точки из крайнего левого в крайнее правое положение угол отсечки менялся от 0° (полная отсечка) до 180° (неискаженная синусоида). Амплитуда сигнала на клемме 5 должна быть примерно 0,1 ... 0,2 В.

1.4. Подсоедините осциллограф к клемме «5». Переключатель S1 поставьте в положение «контур». Изменяя положение рабочей точки (поворачивайте ручку регулятора от крайнего левого до крайнего правого положения), измеряйте постоянную составляющую сигнала на базе  $U_0$  по осциллографу и действующее значение колебания на контуре  $U_{\text{вых}}$  вольтметром. При измерении  $U_0$  вход осциллографа открытый ( $\approx$ ). Измерение  $U_0$  производится с учетом знака напряжения. Осциллограмма напряжения на клемме «5» показана на рис. 5.

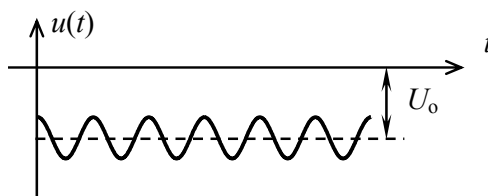


Рис. 5. Осциллограмма напряжения на сопротивлении нагрузки R<sub>H</sub>.

Результаты измерений занесите в таблицу. Измерения произвести для десяти значений напряжения.

1.5. Постройте график зависимости  $U_{\text{вых}} = f(U_0)$  – статическую модуляционную характеристику. Она показывает зависимость амплитуды (мгновенного значения огибающей) выходного сигнала амплитудного модулятора от мгновенного значения входного низкочастотного (модулирующего) сигнала.

**(Примечание:** по оси ординат откладывается действующее значение колебания на выходе, однако оно пропорционально амплитуде).

1.6. Выделите на статической модуляционной характеристике линейный участок согласно рис. 6.

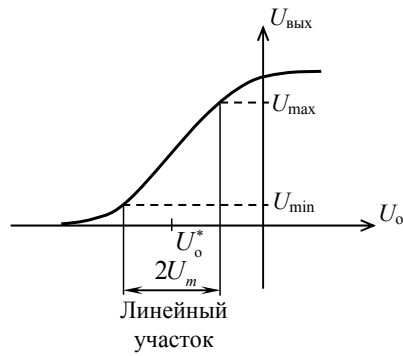


Рис. 6. Статическая модуляционная характеристика.

Определите середину линейного участка  $U_o^*$  и половину его ширины  $U_m$ . Если низкочастотный модулирующий сигнал будет принимать значения в пределах линейного участка, то огибающая выходного модулированного сигнала  $U_{\text{вых}}(t)$  будет иметь такую же форму, как и модулирующий сигнал, т.е. процесс модуляции будет осуществляться без искажений.

Рассчитайте коэффициент модуляции по формуле

$$M = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  обозначены на рис. 6.

## 2. Исследование модулятора при отсутствии искажений.

2.1. Соберите схему подключения приборов и измерительного стенда для исследования процесса амплитудной модуляции в соответствии с рис. 7.

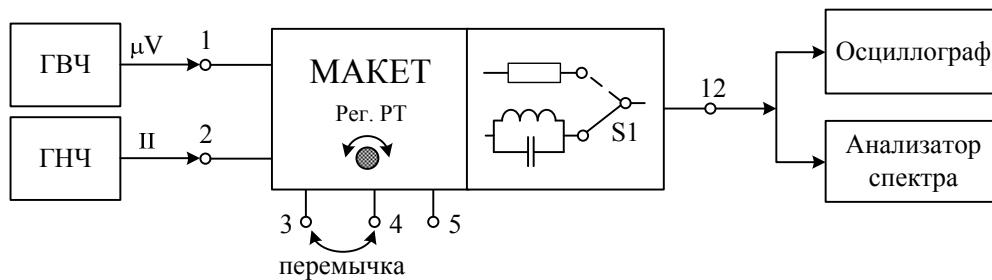


Рис. 7. Схема подключения приборов для исследования процесса амплитудной модуляции.

2.2. Временно отключив ГНЧ, подсоедините осциллограф к клемме «5» и путем регулировки рабочей точки установите постоянное смещение  $U_o^*$ , которое вы определили по статической модуляционной характеристике (см. п. 1.6).

2.3. Подключите ГНЧ и временно отключите ГВЧ. Установите на ГНЧ частоту  $F$  согласно номеру варианта, таблица 4. Установите на ГНЧ такую амплитуду, чтобы амплитуда колебания в клемме «5», измеренная осциллографом, составляла значение  $U_m$ , определенное по статической модуляционной характеристике (см. п. 1.6).

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Частота $F$ , кГц	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

2.4. Подключите ГНЧ и ГВЧ. Зарисуйте осциллограммы входного сигнала на клемме «5», выходных сигналов на клемме «12» при подключенном резисторе и при подключенном контуре, а также спектрограмму колебания на контуре.

Согласно рис. 8 рассчитайте коэффициент амплитудной модуляции по осциллограмме и по спектрограмме по формулам:

$$M = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}, \quad M = \frac{2 \cdot S_1}{S_0}. \quad (2)$$

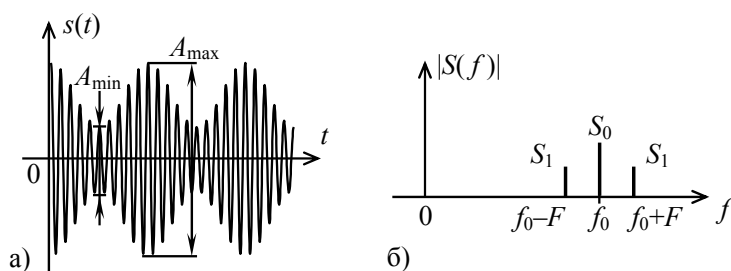


Рис. 8. Осциллограмма а) и односторонний амплитудный спектр б) амплитудно-модулированного сигнала.

Сравните полученные значения с коэффициентом модуляции, рассчитанным по статической модуляционной характеристике (см. п. 1.6).

### 3. Исследование искажений в модуляторе.

3.1. Увеличьте амплитуду колебания, подаваемого с ГНЧ, так, чтобы стали заметны искажения огибающей выходного сигнала, а на спектрограмме появились дополнительные составляющие. Зарисуйте осциллограмму и спектрограмму выходного сигнала модулятора. Объясните характер искажений, опираясь на график статической модуляционной характеристики (см. п. 1). Рассчитайте коэффициент гармоник (коэффициент нелинейных искажений) на основе спектрограммы по формуле:

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{S_2^2 + S_3^2 + \dots}}{S_1} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $S_2, S_3, \dots$  – амплитуды боковых гармоник на выходе амплитудного модулятора, показанные на рис. 9.

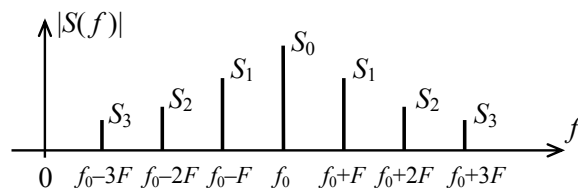


Рис. 9. Односторонний амплитудный спектр на выходе амплитудного модулятора.

3.2. Уменьшите амплитуду колебания на ГНЧ до прежнего значения. Сместите рабочую точку влево, чтобы стали заметны искажения огибающей. Зарисуйте осциллограмму и спектрограмму выходного сигнала. Затем сместите рабочую точку вправо до появления новых искажений. Зарисуйте осциллограмму и спектрограмму выходного сигнала. Определите коэффициент гармоник.

#### 4. Экспериментальное определение динамической модуляционной характеристики.

4.1. Соберите схему подключения приборов и измерительного стенда для исследования процесса амплитудной модуляции в соответствии с рис. 7.

4.2. Установите среднее значение рабочей точки  $U_0^*$ , контролируя его по осциллографу, подключенному к клемме «5», при отсоединенном ГНЧ.

4.3. Подключите вольтметр к клемме 2 (выход ГНЧ). Установите такое значение амплитуды НЧ сигнала, чтобы были заметны искажения огибающей выходного сигнала (наблюдайте по осциллографу в клемме «12»).

4.4. Измерьте вольтметром действующее значение НЧ сигнала  $V_{\max}$ . Уменьшайте амплитуду НЧ сигнала с шагом  $0,2V_{\max}$ . Измеряйте  $U_{\max}$  и  $U_{\min}$  по осциллограмме выходного сигнала (см. рис. 8). Результаты измерений занесите в таблицу.

4.5. Постройте график динамической модуляционной характеристики  $M = f(U_m)$ .

#### 5. Сделать выводы по проделанной работе.

В выводах отразить:

1. Как зависит амплитуда выходного напряжения амплитудного модулятора от напряжения смещения. Опишите характерные участки статической модуляционной характеристики.

2. Сравните коэффициент АМ, полученный по статической модуляционной характеристике и по АМ сигналу на выходе модулятора.

3. За счет чего возникают нелинейные искажения в модуляторе и какая величина коэффициента гармоник.

4. Как зависит коэффициент амплитудной модуляции от амплитуды НЧ сигнала.