

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана

---

**Методические указания  
к лабораторным работам по курсам  
«Электроника и микроэлектроника»,  
«Электроника и микропроцессорная техника»,  
«Радиотехнические цепи и сигналы»**

Часть 2. Нелинейные цепи

*Издание переработанное и дополненное*

Кафедра РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

---

Москва

2012 год

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛИТЕЛЯ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ

Цель работы: изучение физических процессов, происходящих в усилителе на биполярном транзисторе с резисторно-конденсаторной связью, исследование амплитудных и амплитудно-частотных характеристик усилителя, влияние элементов схемы и цепей коррекции на характеристики.

*Описание лабораторной установки*

Исследуемый усилитель смонтирован в лабораторном макете (рис. 1). Включение элементов схемы осуществляется переключками. Цепи коррекции усилителя рассчитаны для ёмкости разделительного конденсатора  $C_{p1}$  и ёмкости нагрузки  $C_{н1}$ . При замыкании гнезд 3-4 параллельно конденсатору  $C_{\phi}$  включается конденсатор большой ёмкости, и цепочка  $C_{\phi}R_{\phi}$  перестаёт корректировать АЧХ в области нижних частот.

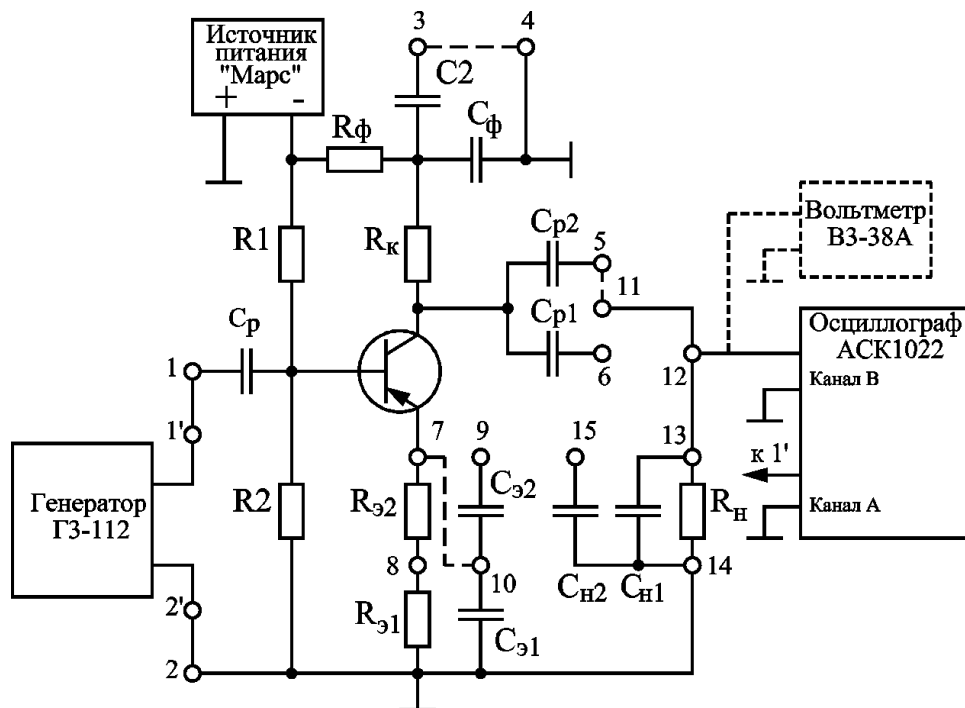


Рис. 1. Схема лабораторного макета для исследования усилителя на биполярном транзисторе

Напряжение питания подаётся на усилитель с источника питания ИПС-1 («Марс») и контролируется по вольтметру источника. В лабораторной работе используется генератор сигналов ГЗ-112 и двухканальный осциллограф АСК-1022. Для измерения выходного напряжения при снятии АЧХ можно также использовать вольтметр ВЗ-38А.

### Параметры макета:

$R1 = 27 \text{ кОм}$	$C3 = C_{\phi} = 60 \text{ нф}$
$R2 = 4 \text{ кОм}$	$C4 = C_{p2} = 1 \text{ мкф}$
$R3 = R_{\phi} = 2,2 \text{ кОм}$	$C5 = C_{p1} = 0,01 \text{ мкф}$
$R4 = R_{\kappa} = 1,1 \text{ кОм}$	$C6 = C_{\varepsilon 1} = 5 \text{ нф}$
$R5 = R_{\varepsilon 1} = 510 \text{ Ом}$	$C7 = C_{\varepsilon 2} = 500 \text{ мкф}$
$R6 = R_{\varepsilon 2} = 33 \text{ Ом}$	$C8 = C_{н1} = 750 \text{ пф}$
$R7 = R_{н} = 2 \text{ кОм}$	$C9 = C_{н2} = 0,01 \text{ мкф}$

### *Задание и порядок выполнения работы*

1. Зарисовать схемы измерения амплитудных и амплитудно-частотных характеристик усилителя.

Схемы измерения составить в соответствии с п. 3 и 4 задания на основе принципиальной схемы макета (рис. 1). На схемах указать измерительные приборы и место их включения.

2. Собрать схему усилителя.

Подключить схему усилителя к источнику питания (гнезда - $E_{\kappa}$  – 2'). Ко входу усилителя (гнезда 1-2) подключить генератор сигнала ГЗ-112. Замкнуть гнезда 3-4 и 7-10. Осциллограф АСК-1022 подключить ко входу усилителя (канал А) и к выходу усилителя (канал В). После проверки схемы преподавателем подать напряжение  $E_{\kappa} = -15 \text{ В}$ .

3. Измерить амплитудные характеристики усилителя.

Измерения производить на частоте 1 кГц. Плавно увеличивая входное напряжение, определить максимальный размах выходного и входного напряжений ( $2U_{\text{м вх макс}}$  и  $2U_{\text{м вых макс}}$  соответственно), соответствующие появлению двустороннего ограничения выходного сигнала. Исходя из значения  $2U_{\text{м вх макс}}$ , определить такой шаг изменения входного напряжения, при котором амплитудная характеристика будет строиться минимум по 8 точкам. Изменяя  $2U_{\text{м вх}}$  от  $2U_{\text{м вх макс}}$  до нуля с выбранным шагом, измерять соответствующие  $2U_{\text{м вых}}$ . При измерениях обращать внимание на то, как снижаются нелинейные искажения выходного сигнала при уменьшении входного сигнала.

Измерения выполнить без цепей коррекции для трёх случаев:

а) отключена нагрузка  $R_{\text{н}}$ . Осциллограф для измерения выходного напряжения подключается к гнездам 5-14;

б) включена нагрузка  $R_{\text{н}}$ . Замкнуть гнезда 5-11. Осциллограф подключить к гнездам 12-14;

в) включена нагрузка  $R_{\text{н}}$ , введена отрицательная обратная связь по переменному току. Разомкнуть гнезда 7-10, замкнуть гнезда 8-10.

Измеренные характеристики построить в одной системе координат. На каждой характеристике выделить линейный участок.

#### 4. Измерить амплитудно-частотные характеристики усилителя.

Амплитуду входного напряжения выбрать на линейном участке амплитудной характеристики, измеренной в п.3, б (не более 40 мВ), и поддерживать постоянной. Частоту сигнала на входе усилителя изменять от 20 Гц до 200 кГц. При построении АЧХ использовать логарифмический масштаб по оси частот; измерения проводить на частотах, кратных 2, 4, 10 (20, 40, 100, 200, 400 Гц; 1 кГц, 2кГц и т. д.). Для измерения выходного напряжения по указанию преподавателя можно использовать осциллограф АСК-1022 (канал В) или вольтметр ВЗ-38А.

Измерения выполнить при одном и том же входном напряжении для шести случаев:

а) включена ёмкость разделительного конденсатора  $C_{p1}$ , ёмкость нагрузки  $C_{н1}$ , коррекция отключена. Замкнуть гнезда 3-4, 7-10, 6-11. Осциллограф (вольтметр) подключить к гнездам 12-14.

б) включена ёмкость разделительного конденсатора  $C_{p2} > C_{p1}$ , ёмкость нагрузки  $C_{н1}$ , коррекция отключена. Разомкнуть гнезда 6-11, замкнуть гнезда 5-11.

в) включена ёмкость разделительного конденсатора  $C_{p2}$ , ёмкость нагрузки  $C_{н1} + C_{н2}$ , коррекция отключена. Замкнуть гнезда 13-15.

г) включена ёмкость разделительного конденсатора  $C_{p1}$ , ёмкость нагрузки  $C_{н1}$ , введена НЧ-коррекция. Разомкнуть гнезда 5-11, 15-13, 3-4. Замкнуть гнезда 6-11.

д) включена ёмкость разделительного конденсатора  $C_{p1}$ , ёмкость нагрузки  $C_{н1}$ , введена ООС, НЧ-коррекция отключена. Разомкнуть гнезда 7-10. Замкнуть гнезда 3-4, 8-10.

е) включена ёмкость разделительного конденсатора  $C_{p1}$ , ёмкость нагрузки  $C_{н1}$ , введена ВЧ-коррекция. Замкнуть гнезда 7-9.

### ***Обработка экспериментальных данных***

1. По результатам измерения амплитудных характеристик рассчитать коэффициенты усиления (на линейном участке) для всех вариантов п. 3 задания.

2. По экспериментальным амплитудно-частотным характеристикам определить верхние и нижние граничные частоты по уровню 3 дБ ( $0,707U_{\text{м вых макс}}$ ) и ширину полосы пропускания для всех вариантов п. 4 задания.

3. Рассчитать коэффициент усиления исследуемой схемы на средних частотах для вариантов п. 3 задания (без учёта цепей коррекции), используя параметры макета. Сравнить расчетные значения с экспериментальными.

4. Рассчитать граничные частоты усилителя для вариантов а – г п. 4 задания, используя параметры макета. Сравнить расчетные значения с экспериментальными.

### *Содержание отчета*

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) результаты измерений (графики амплитудных и амплитудно-частотных характеристик);
- 4) результаты обработки экспериментальных данных;
- 5) выводы по результатам работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСИЛИТЕЛЯ НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ**

Цель работы: изучение явлений, возникающих при прохождении через каскад УНЧ на биполярном транзисторе прямоугольного импульса. Исследуется влияние на временные характеристики элементов схемы, цепей коррекции и отрицательной обратной связи. Устанавливается связь между временными и частотными характеристиками УНЧ.

#### *Описание лабораторной установки*

Данная работа выполняется на макете, используемом в лабораторной работе № 1 (рис. 1). Цепи коррекции усилителя рассчитаны для ёмкости разделительного конденсатора  $C_{p1}$  и ёмкости нагрузки  $C_{н1}$ . При замыкании гнезд 3-4 параллельно конденсатору  $C_{\phi}$  включается конденсатор большой ёмкости и цепочка  $C_{\phi}R_{\phi}$  не корректирует спад вершины импульса на выходе усилителя.

Напряжение питания подаётся на усилитель от источника питания ИПС-1 («Марс») и контролируется при помощи вольтметра источника.

При исследовании импульсных свойств усилителя прямоугольный импульс отрицательной полярности подаётся на вход усилителя с выхода генератора импульсов Г5-63, при этом должны быть включены делители выходного напряжения 1:10 и 1:100 (соответствующие тумблеры в левом положении). Для удобства в проведении измерений осциллограф должен работать в режиме внешней синхронизации. Для этого на вход "X" осциллографа необходимо подать импульсы синхронизации с выхода синхроимпульсов генератора Г5-63. Импульс на вход усилителя подаётся с задержкой относительно импульса синхронизации. Подбирая

задержку в ходе эксперимента при помощи лимба и переключателя "ВРЕМЕННОЙ СДВИГ" генератора, можно добиться на экране осциллографа устойчивого изображения как выходного импульса в целом, так и его переднего фронта. В последнем случае может оказаться полезным дополнительной растяжки осциллограммы по времени. Измерения параметров выходного импульса необходимо выполнять в соответствии с рис. 2.

### ***Задание и порядок выполнения работы***

#### **1. Снятие временных характеристик**

1.1. Зарисовать схему эксперимента для снятия осциллограмм импульсов на выходе усилителя с указанием измерительных приборов и мест их подключения.

1.2. Собрать схему эксперимента для УНЧ с параметрами, указанными в п. 1 таблицы 2.1.

Таблица 2.1.

№ опыта	Параметры схемы	Полученные результаты			
		$t_{\phi}$	$d_c$	$f_H$	$f_B$
1	$C_p = C_{p1}$ (замкнуть 6-11), $C_{H1} = C8$ , НЧ-коррекции нет (замкнуть 3-4), ВЧ-коррекции нет, ООС нет (замкнуть 7-10).				
2	$C_p = C_{p1}$ , $C_{H1} = C8$ , НЧ-коррекции нет. <b>Ввести ООС</b> (разомкнуть 7-10, (замкнуть 8-10).				
3	Схема из опыта 1 с <b>увеличенной разделительной ёмкостью</b> : $C_p = C_{p2}$ (разомкнуть 6-11, (замкнуть 5-11).				
4	В схеме п. 3 <b>увеличить ёмкость нагрузки</b> : $C_H = C_{H1} + C_{H2}$ (замкнуть 13-15)				
5	Вернуться к схеме из опыта 1, <b>ввести НЧ-коррекцию</b> (разомкнуть 3-4)				
6	Вернуться к схеме из опыта 1, отключить НЧ-коррекцию (замкнуть 3-4) и <b>ввести ВЧ-коррекцию</b> (замкнуть 7-9 и 8-10).				

Ко входу УНЧ (гнезда 1-2) подключить генератор импульсов Г5-63 и канал А осциллографа АСК-1022; выход УНЧ подключить к каналу В осциллографа. Включить источник питания ИПС-1 («Марс») и установить его выходное напряжение равным -15 В. Включить генератор

импульсов и подать на вход УНЧ импульс отрицательной полярности длительностью 100 мкс и амплитудой 10 мВ. Зарисовать осциллограмму выходного импульса; масштаб по вертикали и горизонтали выбрать так, чтобы импульс занимал не менее половины площади экрана. По осциллограмме выходного импульса измерить его амплитуду  $U_{m \text{ Вых}}$ , время фронта  $t_{\phi}$  и абсолютную величину спада вершины  $\Delta_c$  (рис. 2). Вычислить относительный спад вершины  $d_c = \Delta_c / U_{m \text{ Вых}}$ . Значения  $t_{\phi}$  и  $d_c$  занести в п. 1 таблицы 2.1.

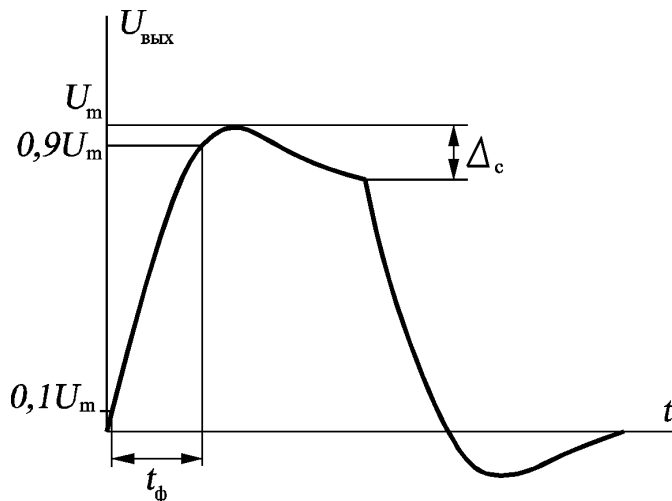


Рис. 2. Определение параметров выходного импульса

Для повышения точности измерений  $t_{\phi}$  следует использовать вспомогательную разметку на экране осциллографа (уровни 0, 10, 90 и 100%). Для этого, перемещая изображение импульса по вертикали и плавно меняя масштаб по вертикали (вращая регулятор «Var», соосный с переключателем В/дел.), добиться того, чтобы нижний уровень выходного сигнала находился на линии 0 %, а его вершина – на линии 100 %. После этого измерение  $t_{\phi}$  можно выполнять по уровням 10 – 90 % на экране осциллографа. Кроме того, для повышения точности измерений  $t_{\phi}$  можно использовать режим дополнительной растяжки осциллограммы по времени (выдвинутая ручка перемещения осциллограммы по горизонтали <POSITION>), в этом режиме цена деления по времени уменьшается в 10 раз.

**ВНИМАНИЕ!** Измерение напряжения по осциллографу (в данной работе измерения  $U_{m \text{ Вых}}$  и  $\Delta_c$ ) могут проводиться только при крайнем правом положении регулятора «Var». При вращении регулятора «Var» влево цена деления по вертикали будет отличаться от определяемой переключателем В/дел., тем самым будет вноситься значительная погрешность.

1.3. Аналогично п. 2.2 провести измерение  $t_{\phi}$  и  $d_c$  для вариантов 2 – 6, указанных в таблице 2.1, зарисовать осциллограммы выходных импульсов в одинаковом масштабе, выбранном при выполнении п. 2.2.

## 2. Определение полосы рабочих частот УНЧ

2.1. Зарисовать схему эксперимента для определения полосы рабочих частот УНЧ с указанием измерительных приборов.

2.2. Собрать схему эксперимента для УНЧ с параметрами, указанными в п. 1 таблицы 2.1. Ко входу УНЧ (гнезда 1-2) вместо генератора импульсов подключить генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112 и канал А осциллографа АСК-1022; выход УНЧ подключить к милливольтметру ВЗ-38А. Установить амплитуду входного сигнала УНЧ 10 мВ (измерение проводить по каналу А осциллографа), частоту 3 кГц. Изменяя частоту в пределах 1 – 10 кГц, по показаниям вольтметра определить частоту  $f_m$ , на которой уровень выходного сигнала будет максимальным. Предел измерений вольтметра ВЗ-38А выбрать таким, чтобы стрелка вольтметра находилась в правой половине шкалы. Измерить максимальный уровень выходного сигнала в децибелах (дБ) по нижней шкале вольтметра с учетом предела измерения. Далее, уменьшая частоту входного сигнала, найти нижнюю граничную частоту  $f_n$  УНЧ, на которой уровень выходного сигнала уменьшится на 3 дБ относительно максимального. Вновь установить частоту входного сигнала  $f_m$ ; увеличивая частоту входного сигнала, найти верхнюю граничную частоту  $f_v$  УНЧ, на которой уровень выходного сигнала уменьшится на 3 дБ относительно максимального. Значения  $f_n$  и  $f_v$  занести в таблицу 2.1.

При изменении частоты нужно поддерживать постоянным напряжение входного сигнала, контролируя его по каналу А осциллографа.

2.3. Аналогично п. 3.2 провести измерение  $f_n$  и  $f_v$  для вариантов 2 – 6, указанных в таблице 2.1.

### ***Обработка экспериментальных данных***

Для вариантов 1-6 по измеренным  $t_{\phi}$  и  $d_c$  определить постоянные времени в области больших и малых времён и рассчитать соответствующие  $f_n$  и  $f_v$ . Сравнить с измеренными значениями  $f_n$  и  $f_v$ .

### ***Содержание отчета***

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) таблица с результатами измерений;
- 4) осциллограммы выходных импульсов для всех вариантов;
- 5) результаты обработки экспериментальных данных;
- 6) выводы по результатам работы.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### LC-АВТОГЕНЕРАТОР

Цель работы: изучить процессы, происходящие в LC-автогенераторе гармонических колебаний с индуктивной положительной обратной связью; исследовать режимы мягкого и жёсткого возбуждения автогенератора (АГ), их зависимость от выбора положения рабочей точки, от выбора параметров схемы; исследовать влияние способов подачи смещения на работу АГ.

#### *Описание лабораторной установки*

Принципиальная схема лабораторного макета приведена на рис. 3. Лабораторный макет содержит ламповый и транзисторный варианты LC-автогенераторов с колебательным контуром в анодной (коллекторной) цепи. Анодное (коллекторное) напряжение и напряжение смещения на управляющую сетку подаётся с блока питания. Коэффициент взаимной индукции  $M$  изменяется путём изменения расстояния между катушками. Ручка регулировки связи находится на правой боковой панели макета. График зависимости  $M$  от расстояния  $l$  приводится на рис. 4.

Ламповый вариант генератора с подачей смещения от внешнего источника получается при включении перемычек между гнездами 20-21, 13-14, 10-11, 17-8, 3-4. Ламповый вариант генератора с автоматическим смещением в цепи сетки получается при замыкании перемычек между гнездами 11-12, 17-8, 4-5, 20-21, 13-14.

Для снятия колебательной характеристики нужно уменьшить связь до минимума (катушки разведены на максимальное расстояние), на вход УВЧ (гнезда 1-2) подать сигнал с генератора ВЧ и гнезда 6-7 замкнуть.

При переходе к транзисторному варианту генератора для предохранения транзистора от перенапряжения следует разомкнуть перемычку 20-21.

Транзисторный вариант генератора может быть получен включением перемычек 21-22, 14-15, 16-17.

Выходное напряжение измеряется на контуре автогенератора (гнезда 18-12).

#### *Задание и порядок выполнения работы*

1. Начертить принципиальную схему исследуемого автогенератора с принудительным смещением на сетке. Собрать схему в соответ-

ствии с описанием лабораторной работы. Убедиться в наличии колебаний.

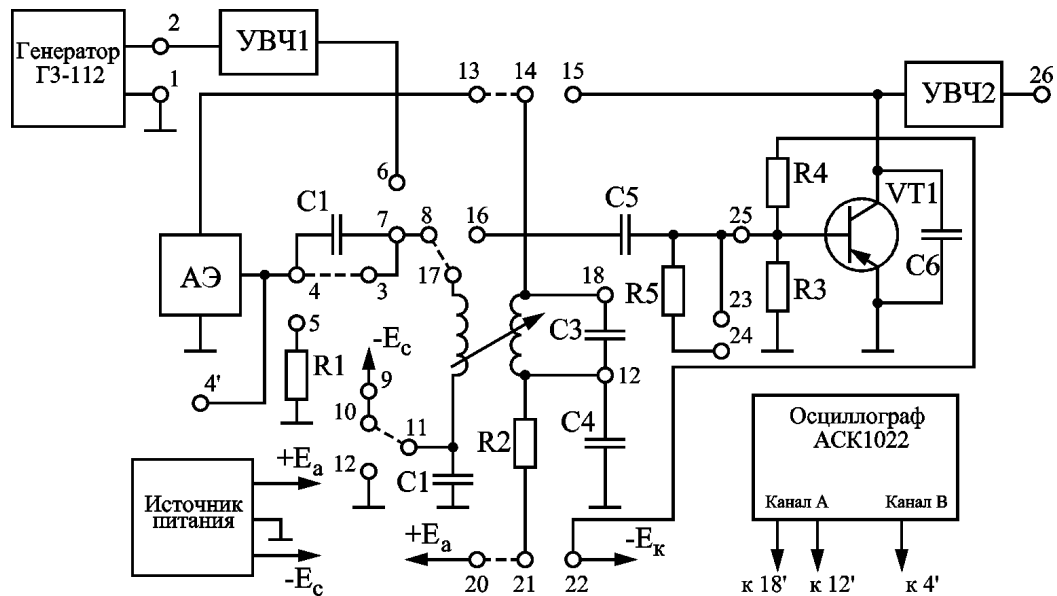


Рис. 3. Схема лабораторного макета «LC-автогенератор»

Для выполнения этого пункта необходимо при  $M=0$  (катушки разведены на максимальное расстояние) установить статический режим работы усилительного элемента ( $E_a=120$  В,  $U_{co}=-10$  В). Для визуального наблюдения возникновения колебаний к контуру автогенератора (клеммы 18-12) подключить осциллограф. Увеличивая связь, т.е. уменьшая расстояние между катушками, добиться возникновения колебаний в автогенераторе.

2. Подобрать значение анодного напряжения  $E_a$  и напряжения смещения  $U_{co}$ , обеспечивающие жёсткий и мягкий режим возбуждения АГ.

Для этого надо уменьшить напряжение анодного питания до нуля. Напряжение смещения взять максимально возможным (ручка регулировки смещения ставится в крайнее правое положение). Связь между катушками сделать максимальной (расстояние между катушками минимальное). Медленно увеличивать анодное напряжение до возникновения колебаний в автогенераторе. Затем уменьшать связь (разводить катушки) до величины  $M_{кр}'$ , при которой колебания срываются. Вновь увеличить связь до величины  $M_{кр}''$ , обеспечивающей появление колебаний. Если  $M_{кр}'' > M_{кр}'$ , то режим возбуждения АГ жёсткий. При  $M_{кр}'' = M_{кр}'$  режим мягкий. Для получения мягкого режима достаточно уменьшить напряжение смещения до -10 В.

3. Снять зависимость выходного напряжения от коэффициента взаимной индукции  $U_a = f(M)$  для мягкого и жёсткого режимов автогенератора.

Напряжение  $E_a$  и  $U_{co}$  выставлять для мягкого и жёсткого режимов по результатам предыдущего опыта. Выходное напряжение измерять осциллографом, подключённым к контуру автогенератора (гнезда 18-12). Начинать следует с  $M=0$  (расстояние между катушками максимально). Затем снять ту же характеристику, меняя  $M$  в противоположном направлении т.е. изменяя расстояние между катушками от 0 до максимального значения. Зависимость  $M = f(l)$  см. на рис. 4.

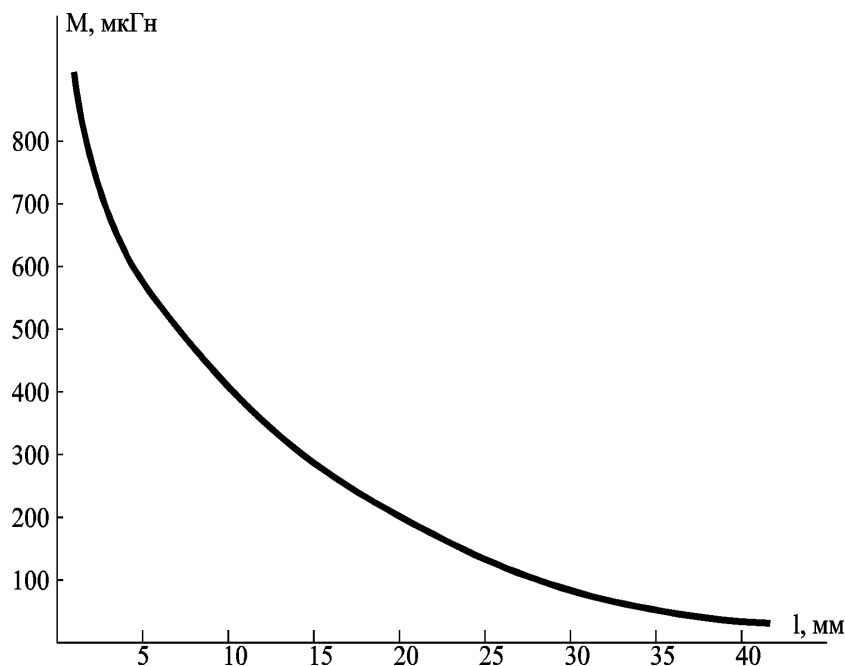


Рис. 4. Зависимость коэффициента взаимоиндукции  $M$  от расстояния между катушками  $l$

4. Рассчитать резонансную частоту контура и коэффициент взаимной индукции, при котором выполняется условие самовозбуждения АГ в мягком режиме.

Резонансная частота контура рассчитывается по формуле

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Критический коэффициент взаимной индукции определяется по формуле

$$M_{кр} = \frac{rC}{S_0} + \frac{L}{\mu},$$

где параметры контура  $C=1200$  пФ,  $L=2$  мГн,  $r=200$  Ом;  $S_0$  и  $\mu$  - стати-

ческие параметры лампы в точке покоя. Точку покоя выбирать в соответствии с п. 2.

5. Начертить принципиальную схему исследуемого генератора с автоматическим смещением на сетке. Собрать схему.

6. Снять зависимость выходного напряжения от коэффициента взаимной индукции  $U_k = f(M)$  для АГ с автоматическим смещением в цепи сетки (см. методические указания к п. 3).

7. Начертить принципиальные схемы для измерения колебательных характеристик АГ с принудительным и автоматическим смещением на сетке.

8. Снять колебательную характеристику генератора  $U_k = f(U_{вх})$  для мягкого и жёсткого режимов возбуждения и режима возбуждения с автоматическим смещением в цепи сетки.

Уменьшить связь до нуля (развести катушки на максимальное расстояние). На вход УВЧ, встроенного в макет (гнезда 2-1), подать сигнал от генератора ГЗ-112. С выхода УВЧ сигнал подать на вход усилителя (замкнуть гнезда 6-7). Выходное напряжение измерять на контуре АГ (гнезда 18-12). Настроить генератор на резонансную частоту контура. Настройку вести по максимуму выходного напряжения при изменении частоты генератора вблизи от расчётной резонансной частоты контура. Для снятия колебательной характеристики входной сигнал менять с помощью ручки "Ослабление" генератора ВЧ. Измерение входного сигнала производить непосредственно на сетке лампы (гнезда 4-12) с помощью осциллографа. Амплитуду напряжения входного сигнала на сетке изменять от 0 до 15-20 В.

### *Содержание отчета*

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) результаты измерений (графики колебательных характеристик и характеристик возбуждения)
- 4) выводы по результатам работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО МУЛЬТИВИБРАТОРА И МУЛЬТИВИБРАТОРА НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ

Цель работы: изучить физические процессы, происходящие в мультивибраторе на различных активных элементах, исследовать влияние параметров схемы на частоту, форму и амплитуду генерируемых колебаний.

#### *Описание лабораторной установки*

В состав лабораторного макета входят схемы мультивибраторов на биполярных транзисторах и на операционном усилителе (ОУ). Для наблюдения выходных сигналов мультивибраторов и измерения их параметров используется осциллограф АСК-1022. Напряжение питания подается на макет от источника питания по кабелю.

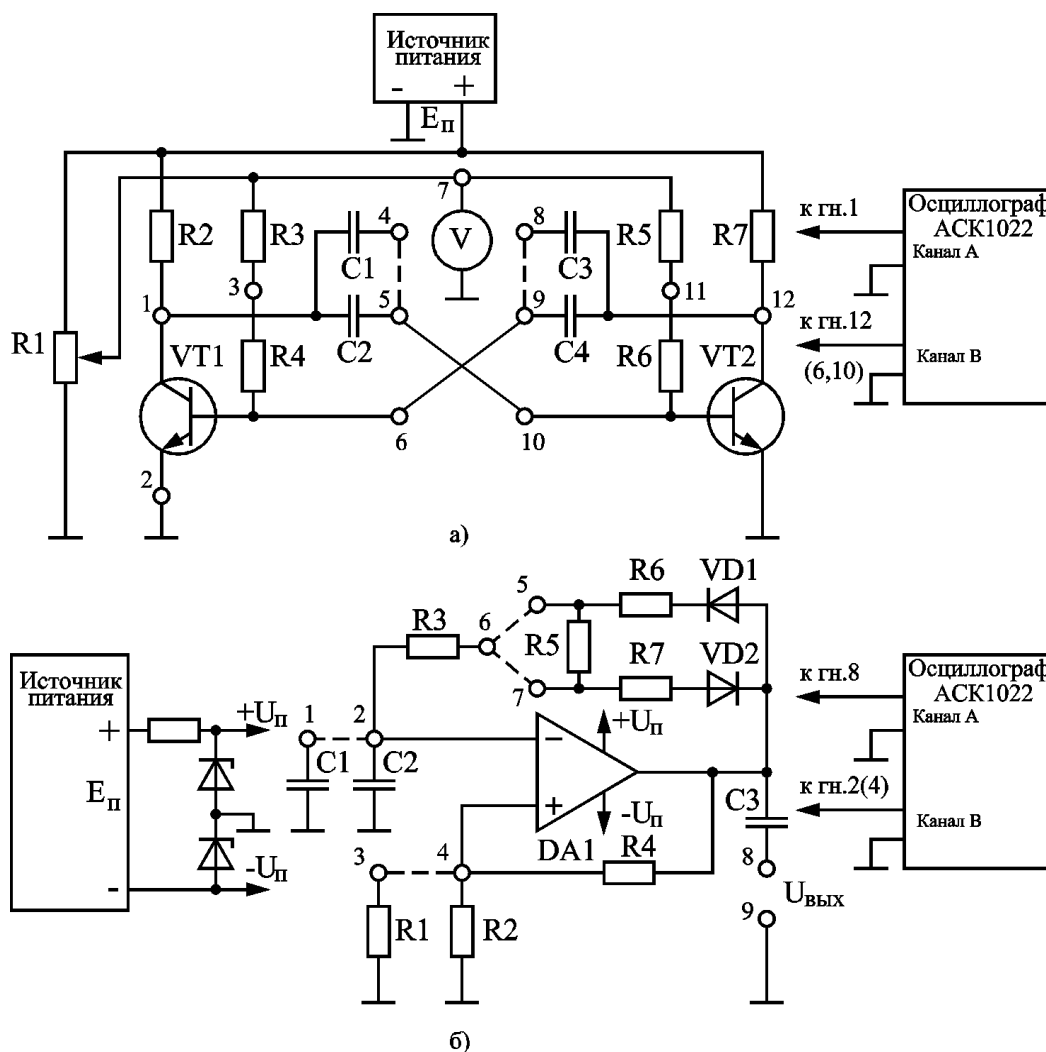


Рис. 5. Схема лабораторного макета для исследования мультивибратора на биполярных транзисторах (а) и операционном усилителе (б)

В схеме транзисторного мультивибратора (рис. 5, а) предусмотрено изменение сопротивлений и емкостей в базовых цепях транзисторов с помощью перемычек, а также изменение напряжения  $E_{см}$  в базовых цепях с помощью потенциометра R1. Для измерения  $E_{см}$  используется вольтметр В7-58/2. В схеме мультивибратора на ОУ (рис. 5, б) предусмотрено изменение сопротивлений и емкостей в цепях ООС и ПОС, также с помощью перемычек. Для обеспечения двуполярного питания мультивибратора на ОУ макет содержит простейший преобразователь питания.

### ***Задание и порядок выполнения работы***

#### ***ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО МУЛЬТИВИБРАТОРА (рис. 5, а)***

1. Просмотреть осциллограммы напряжений мультивибратора и измерить параметры выходных импульсов.

Подать на макет напряжение питания  $E_{п}=10$  В, контролируя его величину вольтметром источника питания. Установить ручку потенциометра R1 в крайнее левое положение и проконтролировать осциллограмму напряжения на коллекторе транзистора VT1. Для этого канал А осциллографа АСК-1022 подключить к гнезду 1. Просмотреть и зарисовать осциллограммы напряжения на коллекторе и базе транзисторов VT1 и VT2 одну под другой. Для этого канал А осциллографа АСК-1022 оставить подключенным к коллектору VT1, а канал В последовательно подключать к базе VT1 (гнездо 6), коллектору VT2 (гнездо 12) и базе VT2 (гнездо 10). При этом осциллограф должен работать в режиме внутренней синхронизации по каналу А. На зарисованных осциллограммах показать, каким образом далее будут измеряться параметры выходных импульсов (длительность, время фронта, период), при этом учесть, что длительность импульса измеряется по уровню 0, длительность фронта по уровням 10% – 90 % амплитуды.

2. Исследовать влияние элементов времязадающих цепей на параметры выходных импульсов.

Провести измерения параметров импульсов с коллектора VT1 и VT2 для вариантов схемы указанных в таблице 4.1.

Для измерения  $t_{ф1}$  и  $t_{ф2}$  следует использовать вспомогательную разметку экрана осциллографа (уровни 0 – 10 – 90 – 10%), см. работу № 2 «Исследование временных характеристик усилителя на биполярном транзисторе». Результаты измерений занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1.

№ опы-та	Описание схемы	Параметры выходных импульсов				
		$t_{и1}$ , мкс	$t_{и2}$ , мкс	$T=t_{и1}+t_{и2}$ , мкс	$t_{ф1}$ , мкс	$t_{ф2}$ , мкс
1	Исходное состояние (см. п.2) $R_{61}=R_3+R_4$ $R_{62}=R_5+R_6$ $C_{61}=C_4$					
2	Уменьшить сопротивление в базовой цепи VT1 $R_{61}=R_3$ (замкнуть 3-6) $R_{62}=R_5+R_6$ $C_{61}=C_4$ $C_{62}=C_2$					
3	Уменьшить сопротивление в базовой цепи VT2 $R_{61}=R_3$ (замкнуть 3-6) $R_{62}=R_5$ (замкнуть 10-11) $C_{61}=C_4$ $C_{62}=C_2$					
4	Восстановить исходные значения сопротивлений в базовых цепях VT1 и VT2 (разомкнуть 3-6 и 10-11): $R_{61}=R_3+R_4$ $R_{62}=R_5+R_6$ Увеличить ёмкость в базовой цепи VT1: $C_{61}=C_3+C_4$ (замкнуть 8-9) $C_{62}=C_2$					
5	Увеличить ёмкость в базовой цепи VT2: $R_{61}=R_3+R_4$ $R_{62}=R_5+R_6$ $C_{61}=C_3+C_4$ (замкнуть 8-9) $C_{62}=C_1+C_2$ (замкнуть 4-5)					

3. Исследовать влияние напряжения смещения  $E_{см}$  на период генерируемых импульсов.

Восстановить схему в исходное состояние (разомкнуть гнезда 4-5 и 8-9) и измерить период колебаний выходных импульсов для различного напряжения смещения. Напряжение смещения изменяется потенциометром R1, а величина его контролируется цифровым вольтмет-

ром В7-58/2, подключенным к гнезду 7. Гнездо «0» вольтметра подсоединяется к любой точке на общем проводе схемы.  $E_{см}$  следует уменьшать от  $E_{см} = E_{п} = 10$  В с шагом 1 В до такого значения, при котором на осциллограммах выходных напряжений в паузах между импульсами появляется характерный излом (переход транзистора из режима насыщения в активный режим). По результатам измерений построить зависимость  $T(E_{см})$ .

4. Исследовать влияние напряжения питания на амплитуду выходных импульсов. Изменяя напряжение питания от 10 В до 2 В с шагом 2 В, с помощью осциллографа произвести измерения амплитуды выходных импульсов в абсолютных единицах и построить зависимость  $U_{имп}(E_{п})$ .

5. При подготовке отчёта рассчитать  $t_{и1}$ ,  $t_{и2}$ ,  $t_{ф1}$  и  $t_{ф2}$  для опытов 1-5, используя параметры макета:

$$C1=C3=1200 \text{ пФ}$$

$$R3=R5=8,2 \text{ кОм}$$

$$C2=C4=2400 \text{ пФ}$$

$$R4=R6=4,7 \text{ кОм}$$

$$R2=R7=1 \text{ кОм}$$

$$VT1 \text{ и } VT2 - \text{МПЗ9А}$$

Расчёт выполнить для случая  $E_{см} = E_{п}$ . Результаты расчета сравнить с полученными экспериментально.

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИВИБРАТОРА НА ОПЕРАЦИОННОМ УСИЛИТЕЛЕ (рис.5, б)***

1. Просмотреть осциллограммы напряжения мультивибратора на ОУ и измерить параметры выходных импульсов для исходного варианта схемы (таблица 4.2).

Замкнуть клеммы 5 и 6. Подать на макет напряжение питания  $E_{п} = 15$  В, контролируя его величину вольтметром источника питания. На осциллографе просмотреть и зарисовать одну под другой осциллограммы напряжения на выходе и входах ОУ. Для этого канал А осциллографа АСК-1022 подключить к выходу ОУ (гнезда 8-9), а канал В поочерёдно подключать к инвертирующему входу (гнездо 2) и неинвертирующему входу (гнездо 4). Указать способ измерения параметров выходного импульса на осциллограммах.

2. Исследовать влияние элементов цепи ООС на параметры выходных импульсов (опыты 2 и 3, таблица 4.2). Результаты измерений занести в таблицу 4.2.



3. Исследовать влияние элементов цепи ПОС на параметры выходных импульсов (опыт 4, таблица 4.2). Результаты измерений занести в таблицу 4.2.

Таблица 4.2

№№ опы-тов	Описание Схемы		Параметры выходных импульсов				
			$t_{н1}$ , мкс	$t_{н2}$ , мкс	$T=t_{н1}+t_{н2}$ , мкс	$t_{ф}$ , мкс	$U_{имп}$ , В
1	Исходное состояние: замкнуть 5-6						
2	Изменения в цепи ООС	Увеличить ёмкость в цепи ООС (замкнуть 1-2)					
3		Изменить соотношение сопротивлений в цепях заряда-разряда ёмкости в цепи ООС(разомкнуть 5-6, замкнуть 6-7).					
4	Изменения в цепи ПОС. Вернуть схему в исходное состояние(разомкнуть 1-2 и 6-7, замкнуть 5-6). Уменьшить $K_{пос}$ (замкнуть 3-4)						

### *Содержание отчета*

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) результаты измерений (осциллограммы работы мультивибраторов, таблицы с результатами измерений, графики, расчёты).
- 4) выводы по результатам работы.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ И ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Цель работы: изучение физических процессов, происходящих в схеме амплитудного модулятора и схеме диодного детектора. Исследование модуляционных характеристик модулятора при изменении амплитуды входного высокочастотного напряжения несущей, влияния выбора рабочего участка модуляционной характеристики на качество амплитудной модуляции. Исследование характеристики детектирования детектора и качества детектирования.

#### *Описание лабораторной установки*

В состав лабораторного макета входят сеточный амплитудный модулятор на электровакуумном триоде и амплитудный детектор на полупроводниковом диоде (рис. 6, а). Сигнал несущей частоты подается на вход модулятора (гнезда 1-2) от генератора ГЗ-112 через вспомогательный усилитель высокой частоты (УВЧ). Модулирующий сигнал подается во входную цепь модулятора (гнезда 3-4) от генератора ГЗ-36А. В выходную цепь модулятора включается колебательный контур L2-C5 (замыкаются гнезда 12-13), который может быть заменен на активную нагрузку R2 (замыкаются гнезда 10-11). Напряжения питания модулятора  $E_n$  и  $E_c$  подаются на макет от источника питания с помощью шнура питания. Анодное напряжение  $E_n$  регулируется двумя потенциометрами “грубо” и “плавно” контролируется вольтметром источника питания при включении тумблера под вольтметром в положение “300 В” (полная шкала прибора), при этом показания вольтметра следует умножать на 10. На сетку подается отрицательное напряжение смещения  $E_c$ , которое регулируется потенциометром справа от вольтметра источника и измеряется при включении тумблера под вольтметром в положение “30 В” (полная шкала прибора), либо (более точно) вольтметром В7-58/2, подключенным к внешним клеммам источника питания. Для наблюдения входного и выходного сигнала модулятора используется осциллограф АСК-1022.

Выходной сигнал модулятора подается на вход детектора (VD1, R4, C9) благодаря индуктивной связи между колебательными контурами в выходной цепи модулятора L2-C5 и во входной цепи детектора L3-C8. При вращении регулятора на правой боковой панели макета изменяется расстояние между катушками контуров, что приводит к изменению

входного напряжения детектора. Расстояние между катушками определяется по указателю в правой верхней части макета. При сближении катушек входное напряжение детектора увеличивается. Для наблюдения сигналов на входе и выходе детектора используется осциллограф АСК-1022. При снятии характеристики детектирования к выходу детектора подключается вольтметр В7-58/2.

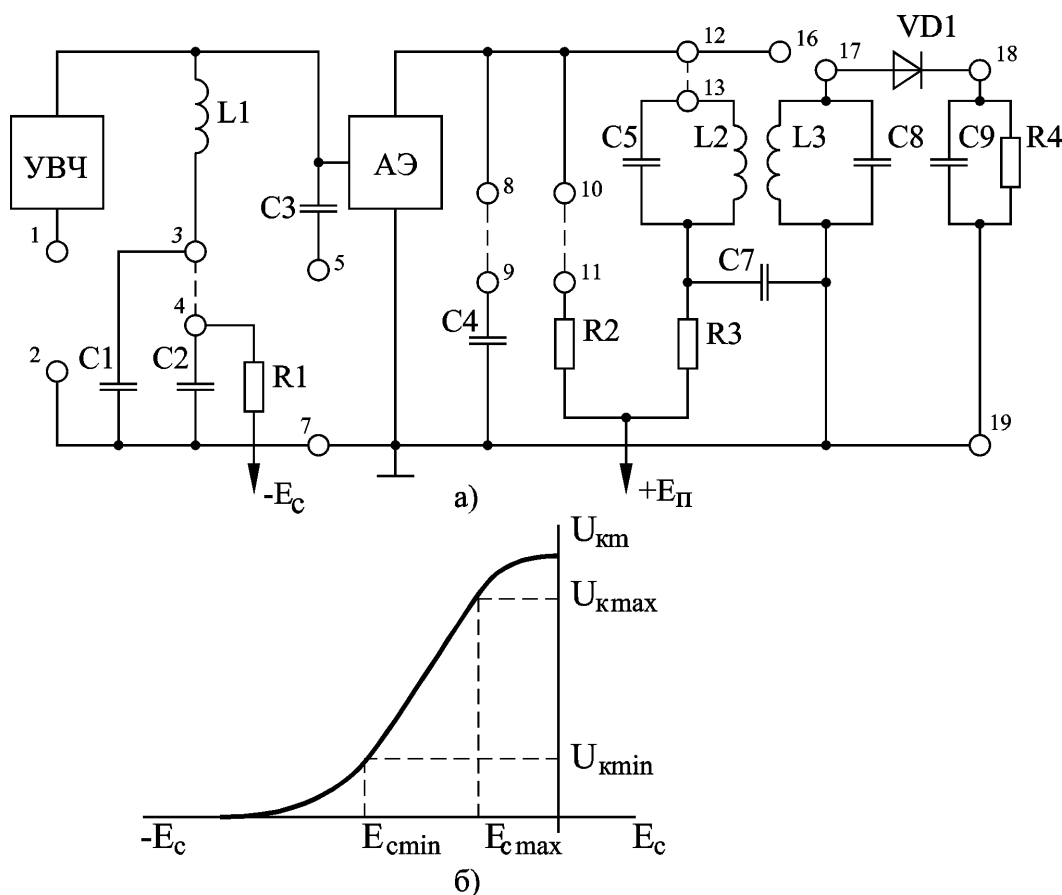


Рис. 6. Схема лабораторного макета «Амплитудная модуляция и детектирование» (а); модуляционная характеристика (б)

### ***Задание и порядок выполнения работы***

#### ***ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО МОДУЛЯТОРА***

1. Нарисовать принципиальную схему исследования сеточного модулятора в соответствии со схемой макета и описанием лабораторной установки (рис. 6, а). Указать измерительные приборы и точки их подключения к схеме.

2. Рассчитать резонансную частоту колебательного контура

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

если  $L = 1,5$  мГн,  $C = 270$  пФ.

3. Собрать схему для измерения модуляционной характеристики. Замкнуть гнезда 3-4 и 12-13. Развести катушки (до минимума ослабить связь между контурами модулятора и детектора). Ко входу схемы (гнезда 1-2) подключить генератор несущей частоты ГЗ-112. Канал А осциллографа АСК-1022 подключить ко входу модулятора (гнезда 5-7), канал В – к выходу (гнезда 16-19) через внешний делитель 1:10. Подать от источника питания  $E_{\text{п}}=120$  В и  $E_{\text{с}} = -2$  В. Установить на генераторе ГЗ-112 расчетную частоту  $f_0$ . Затем ручкой плавной регулировки частоты настроить генератор по максимуму напряжения на контуре модулятора (канал В осциллографа).

4. Измерить модуляционную характеристику  $U_{\text{км}}(E_{\text{с}})$  при постоянном значении амплитуды несущей частоты  $U_{\text{ом}}$  для  $U_{\text{ом}} = 1$  В.

Напряжение смещения  $E_{\text{с}}$  изменять от 0 до значения, при котором амплитуда выходного напряжения уменьшится до 0,5 - 1 В. Амплитуда напряжения несущей  $U_{\text{ом}}$  устанавливается с выхода генератора, а измеряется на входе модулятора (гнезда 5-7) по каналу А осциллографа. Амплитуда напряжения на контуре модулятора  $U_{\text{км}}$  (гнезда 16-19) измеряется по каналу В осциллографа. Следует иметь в виду, что полный размах напряжения на экране осциллографа соответствует двум амплитудам. При измерении характеристики следует контролировать напряжение  $U_{\text{ом}}$  и поддерживать его постоянным.

5. Определить по модуляционной характеристике границы наклонного линейного участка  $U_{\text{км max}}$  и  $U_{\text{км min}}$  и рассчитать величину допустимого коэффициента модуляции

$$m_{\text{дон}} = \frac{U_{\text{км max}} - U_{\text{км min}}}{U_{\text{км max}} + U_{\text{км min}}}.$$

По модуляционной характеристике определить ширину линейного участка по оси абсцисс ( $E_{\text{с max}} - E_{\text{с min}}$ ) и определить допустимую амплитуду модулирующего низкочастотного напряжения

$$U_{\Omega \text{ don}} = \frac{E_{\text{с max}} - E_{\text{с min}}}{2},$$

обеспечивающую максимальный коэффициент модуляции без искажений.

6. Собрать схему для просмотра на экране осциллографа модулированного сигнала. Установить напряжение смещения

$$E_{\text{с}} = \frac{E_{\text{с max}} + E_{\text{с min}}}{2},$$

и амплитуду напряжения несущей  $U_{\text{ом}} = 2$  В. Подключить к гнёздам 3-4 генератор низкой частоты ГЗ-36 (ГЗ-112). Установить на генераторе частоту модуляции  $F = 1$  кГц и амплитуду  $U_{\Omega \text{доп}}$ , которая устанавливается по вольтметру генератора. Иметь в виду, что вольтметр измеряет эффективное значение напряжения

$$U_{\text{эфф}} = \frac{U_{\Omega m}}{\sqrt{2}}.$$

7. Зарисовать в одном масштабе осциллограммы напряжения на выходе модулятора (второй канал осциллографа) для трех значений напряжения смещения

$$\text{а) } E_c = \frac{E_{c \text{ max}} + E_{c \text{ min}}}{2};$$

$$\text{б) } E_c = E_{c \text{ max}};$$

$$\text{в) } E_c = E_{c \text{ min}}.$$

8. Для  $E_c = 0,5(E_{c \text{ max}} + E_{c \text{ min}})$  отключить контур (разомкнуть гнёзда 12-13) и подключить резистор (замкнуть гнёзда 10-11). Зарисовать осциллограмму напряжения на резисторе и сравнить с осциллограммами напряжения на контуре. Масштаб оставить такой же, что и в п. 7.

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ ДИОДНОГО ДЕТЕКТОРА***

1. Нарисовать принципиальную схему диодного детектора в соответствии со схемой макета и описанием лабораторной установки. Указать измерительные приборы и точки их подключения к схеме.

2. Собрать схему для исследования характеристики детектирования. Замкнуть гнёзда 3-4 и 12-13 (гнёзда 10-11 должны быть разомкнуты). Свести катушки индуктивности (усилить связь между контурами модулятора и детектора). Ко входу схемы (гнёзда 1-2) подключить генератор несущей ГЗ-112. Для измерения входного напряжения  $U_{\text{вх}}$  на вход детектора (гнёзда 17-7) включен первый канал осциллографа. На выход детектора (гнёзда 18-19) подключить цифровой вольтметр для измерения постоянного напряжения  $U_{\text{вых}}$ .

3. Измерить характеристику детектирования  $U_{\text{вых дет}}(U_{\text{м вх}})$  – зависимость постоянного напряжения на выходе детектора от амплитуды немодулированного напряжения несущей на входе детектора  $U_{\text{вх}} = U_{\text{ом}}$  при изменении амплитуды несущей от 0 до 10 В. Напряжение  $U_{\text{вх}}$  изменяется при изменении напряжения на выходе генератора ГЗ-112.

4. Собрать схему для просмотра осциллограмм работы детектора. Установить смещение на входе модулятора

$$E_c = \frac{E_{c \max} + E_{c \min}}{2}$$

и амплитуду напряжения несущей частоты  $U_{\omega m} = 1$  В. Подключить к гнездам 3-4 генератор низкой частоты ГЗ-36А. Установить на генераторе ГЗ-36 частоту  $F = 1$  кГц и амплитуду  $U_{\Omega \text{доп}}$ . К выходу детектора (гнезда 18-19) подключить канал В осциллографа. Установить на каналах осциллографа одинаковый масштаб по оси напряжения. Установить нуль (в положении "GND") на каналах по средней линии экрана. Наблюдение сигнала выполнять в положении переключателя "DC".

5. Зарисовать осциллограммы напряжений на входе и выходе детектора для трех случаев:

- а)  $U_{\Omega m} = U_{\Omega \text{доп}}$ ;
- б)  $U_{\Omega m} = 0,5 U_{\Omega \text{доп}}$ ;
- в)  $U_{\Omega m} = 0$  (гнезда 3-4 замкнуты).

### *Содержание отчета*

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1) название и цель работы;
- 2) схемы проведения измерений с указанием типов измерительных приборов;
- 3) результаты измерений (осциллограммы работы модулятора и детектора, графики снятых характеристик);
- 4) выводы по результатам работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей: Учебное пособие для вузов/ В.С.Андреев. - М.: Радио и связь, 1982.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. - М.:Высшая школа, 2006.
3. Манаев В.И. Основы радиоэлектроники. - 3-е изд.; перераб. и доп.- М.: Радио и связь, 1990.
4. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи: Учебник для вузов – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 2002.
5. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс): Учебник для вузов. Под ред. О.П. Глудкина.- М.: Горячая линия – Телеком, 2007.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Исследование усилителя на биполярном транзисторе.....	2
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Исследование временных характеристик усилителя на биполярном транзисторе.....	5
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
LC-автогенератор.....	9
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Исследование транзисторного мультивибратора и мультивибратора на операционном усилителе.....	13
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Амплитудная модуляция и детектирование.....	18
Список литературы.....	22