

3. АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ, АМПЛИТУДНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ, ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЧАСТОТЫ

3.1. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Амплитудная модуляция, амплитудное детектирование, преобразование частоты сигнала – основные радиотехнические преобразования, выполняемые с помощью нелинейных цепей. Во всех этих преобразованиях требуется получить выходной сигнал, спектр которого содержит не те частоты, которые есть во входном сигнале (или в сумме двух входных сигналов). В отличие от преобразований сигналов в линейных цепях, где можно только ослабить или усилить имеющиеся спектральные компоненты входного сигнала, здесь необходимо создать спектральные составляющие, которых не было.

Входной сигнал или сумма входных сигналов воздействуют на безынерционный элемент с нелинейной вольт-амперной характеристикой $i = f(u)$ (НЭ). Форма тока через НЭ искажена по сравнению с формой входного сигнала. Это означает, что в спектре тока появляются новые частотные составляющие, являющиеся либо высшими гармониками входных частот, либо комбинационными частотами. На выходе нелинейного элемента стоит избирательная нагрузка с частотной характеристикой, обеспечивающей выделение из сложного спектра тока того участка частот, который требуется в данной конкретной задаче.

Целью лабораторной работы является наблюдение формы сигналов (напряжений или токов) в характерных точках тракта преобразования (входной сигнал – нелинейный элемент – избирательная нагрузка), анализ и объяснение наблюдаемых осциллограмм, а также снятие тех

или иных характерных зависимостей, описывающих качество данного нелинейного преобразования.

3.2. ЛАБОРАТОРНЫЙ МАКЕТ

Лабораторный макет (рис. 16) состоит из отдельных узлов, соединяя которые внешними перемычками, можно собрать желаемую схему для эксперимента.

1. Сумматор двух входных сигналов (R_1, R_2, R_3). На клеммы 1, 2 можно подать сигналы от лабораторных генераторов. С клеммы 3 снимается суммарный сигнал (с ослаблением примерно в 10 раз). При изучении процесса амплитудной модуляции на входы 1 и 2 подаются сигналы от генератора высокой частоты (сигнал несущей частоты) и от генератора низкой частоты (модулирующий сигнал). При изучении преобразования частоты на один из входов подается амплитудно-модулированный сигнал от генератора высокой частоты (в генераторе следует установить режим внутренней модуляции), на второй - вспомогательный сигнал высокой частоты (так называемый сигнал гетеродина).

2. Безынерционный нелинейный элемент (транзистор $VT1$) с подключаемыми к его выходу (коллектору) либо активной нагрузкой R_9 , либо резонансным контуром $L_k C_k$ (переключатель S_1). Он является основным звеном макета. Резонансный контур подключается для того, чтобы выделить ту часть спектра тока, которая совпадает по частоте с полосой пропускания контура, и подавить остальные составляющие. Такое соединение используется для получения режимов модуляции и преобразования частоты.

Схема включения транзистора $VT1$ построена так, что его динамическая вольт-амперная характеристика (т.е. зависимость мгновенных значений переменной составляющей коллекторного тока транзистора от мгновенных значений напряжения сигнала на базе) может быть получена близкой к линейно-ломаной или к квадратичной кривой (в зависимости от выбора схемы соединения эмиттерной цепи). Если в цепи эмиттера стоит чисто активный делитель (R_7, R_8), то обеспечивается практически линейная зависимость коллекторного тока от напряжения на базе (при напряжении на базе большем $-0,2$ В). При напряжении $u_5 \leq -0,2$ В коллекторный ток равен нулю (рис. 17).

Покажем справедливость этого утверждения. Рассмотрим эмиттерную цепь схемы. Эмиттер подключен к средней точке делителя R_7, R_8 , включенного между источником питания -9 В и корпусом. Потенциал u_5 , т.е. потенциал средней точки делителя, определяется токами, протекающими по R_7 и R_8 . В силу принципа суперпозиции можно рассмотреть

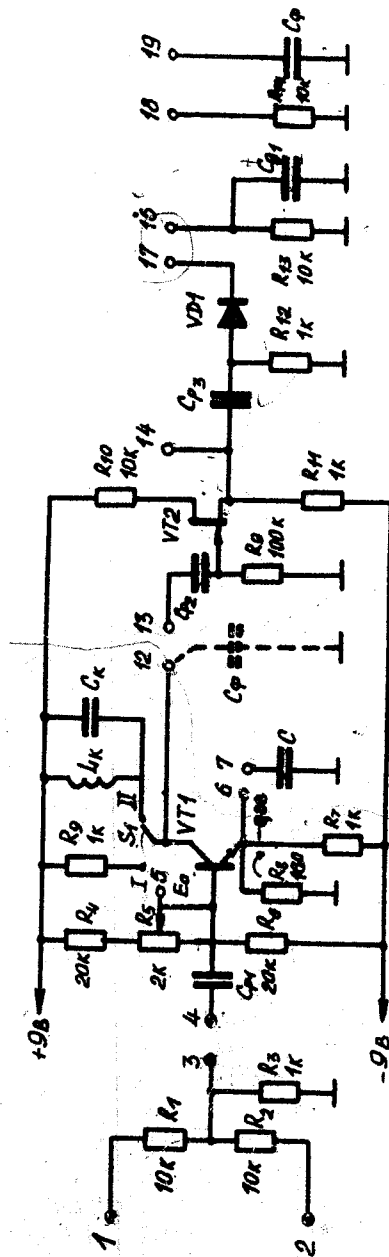


Рис. 16

по отдельности ток i_3 и ток делителя i_D , протекающий под воздействием источника -9 В последовательно по R_7 и R_8 . Этот ток будет

$$i_D = \frac{9B}{R_7 + R_8}. \text{ Эмиттерный ток, поступающий}$$

в среднюю точку, разветвляется по параллельным цепям R_7 и R_8 обратно пропорционально величинам их сопротивлений. Найдем зависимость u_3 от тока i_3 , считая ток i_3 независимой переменной. При $i_3 = 0$ потенциал u_3 определяется только током делителя $i_D = \frac{9}{1100} \approx$

≈ 8 мА и равен $u_{30} = -R_D i_D = -0,8$ В. При появлении некоторого тока $i_3 > 0$ потенциал

эмиттера возрастает на величину $\Delta u_3 = i_3 (R_7 \parallel R_8)$. Отметим, что u_3 может быть равен $-0,8$ В (если $i_3 = 0$), больше $-0,8$ В (если протекает ток через транзистор), но не может быть меньше $-0,8$ В, так как ток через транзистор не может изменить направление (если только не наступит пробой транзистора).

Изучив работу эмиттерной цепи схемы, нетрудно понять вид вольт-амперной характеристики всей схемы при этом включении. Стрелка тока транзистора происходит при смещении база - эмиттер около $u_{B_0} = 0,6$ В. Следовательно, в данной схеме точка отсечки наблюдается при потенциале на базе $u_{B_0} = u_{30} + u_{B_30} = -0,2$ В. При повышении потенциала $\Delta u_3 > 0$ начинает протекать ток транзистора, что вызывает повышение потенциала эмиттера $\Delta u_3 = i_3 (R_7 \parallel R_8)$. Схема работает как эмиттерный повторитель с эквивалентным сопротивлением в цепи эмиттера $R_3 = R_7 \parallel R_8 \approx 91$ Ом. Коэффициент передачи повторителя близок к 1, поэтому $\Delta u_3 \approx \Delta u_5$. Имеем

$$i_K \approx i_3 = \frac{\Delta u_3}{R_3} = \frac{\Delta u_5}{R_3} = S_0 \Delta u_5,$$

где $S_0 = \frac{1}{R_3} \approx 11$ мА/В.

Итак, вольт-амперная характеристика справа от точки $u_5 = -0,2$ В линейная. Если идти от точки $u_5 = -0,2$ В влево, т.е. понижать потенциал базы, то это не вызовет понижения u_3 ниже $-0,8$ В. При этом транзистор заперт, его ток равен нулю, схема не работает как эмиттерный повторитель, потенциал эмиттера зафиксирован током делителя. Вольт-амперная характеристика схемы: $i_K = 0$ при $u_5 < -0,2$ В $i_K = S_0 (u_5 + 0,2)$.

С помощью потенциометра R_5 можно выбирать рабочую точку на характеристике E_0 , относительно которой будет приложено переменное напряжение входного сигнала.

На рис. 17 показаны два примера выбора режима: E_0 - режим с отсечкой, E'_0 - линейный режим. Контроль установки режима удобно провести, наблюдая напряжение на эмиттере (клемма 6), так как форма напряжения на резисторе совпадает с формой тока через него (рис. 18).

При работе в режиме модуляции с квадратичной нелинейностью схему эмиттерной цепи нужно изменить: параллельно делителю R_7, R_8 включить конденсатор с большой емкостью (соединить клеммы 6 и 7). Начальное напряжение на базе E_0 нужно выбрать так, чтобы транзистор был открыт (u_B выше $-0,2$ В). При постоянном токе схема работает аналогично предыдущему случаю, так как включение конденсатора не изменяет условий протекания постоянного тока. При подаче сигнала напряжение на базе будет изменяться, а на эмиттере - удерживаться неизменным за счет большой постоянной времени цепи. Обратная связь по переменному эмиттерному току отсутствует (эмиттер по переменному току заземлен через конденсатор С), поэтому динамическая вольт-амперная характеристика схемы (транзистор и эмиттерная цепь) в окрестности рабочей точки E_0 совпадает по форме с вольт-амперной характеристикой транзистора:

$$i_K = I_{K_0} e^{\frac{\Delta u_{B_3}}{u_T}},$$

где u_T - тепловой потенциал (25 мВ при комнатной температуре); Δu_{B_3} - переменный сигнал между базой и эмиттером транзистора; I_{K_0} - коллекторный ток покоя.

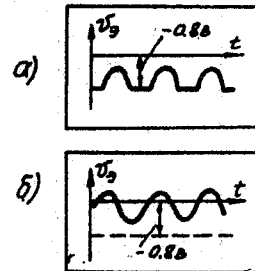


Рис. 18

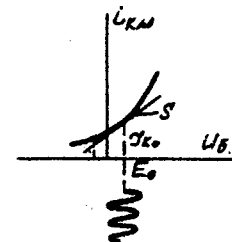


Рис. 19

Динамическая вольт-амперная характеристика схемы $i_{K_0} = f(u_5)$ при заданном положении рабочей точки E_0 представлена на рис. 19.

В небольшой окрестности рабочей точки эта нелинейная зависимость хорошо аппроксимируется квадратичным полиномом:

$$i_{кн} = I_{к0} + S_{кн} u_{с} + b_2 \Delta u_{с}^2,$$

где $S = I_{к0} / U_T$ - крутизна транзистора в рабочей точке; $b_2 = \frac{1}{2} \frac{I_{к0}}{u_T^2}$.

Такой режим тоже можно проконтролировать по осциллографу. Однако в этом случае контроль нужно вести не в эмиттерной цепи, где наличие конденсатора C большой емкости приводит к тому, что напряжение не повторяет формы тока, а в цепи коллектора (клемма I2), включив резистор R_g . При этом форма напряжения на коллекторе будет повторять форму тока с изменением полярности (при малых токах потенциал коллектора высокий, при больших - пониженный). Квадратичная нелинейность дает характерную форму искажения синусоиды - уплощение сверху, обострение снизу (рис. 20).

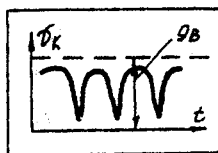


Рис. 20

Таким образом, лабораторный макет, собранный на VT1, позволяет получить разнообразные схемы нелинейных преобразователей: амплитудный модулятор или преобразователь частоты, как с линейно-ломаной, так и с квадратичной нелинейностью, а также амплитудный детектор с квадратичной нелинейностью. В последнем случае необходимо в качестве нагрузки в коллекторной цепи включить RC-фильтр. Это можно сделать, включив R_g (переключатель C_{ϕ}) и добавив внешнюю емкость C_{ϕ} , соединив клеммы I2 и I9.

3. Линейный детектор, собранный на диоде VD1. Можно к выходу диода (клемма I7) подключать RC-фильтр (клемма I6), а также варьировать величину R и C , подключая шунтирующий резистор R_{14} (клемма I8) или емкость C_{ϕ} (клемма I9).

Напряжение на вход линейного детектора (клемма I4) подается через истоковый повторитель VT2 (клемма I3). Это сделано для того, чтобы малое входное сопротивление детектора не нагружало источник сигнала.

На первый взгляд кажется, что схему линейного детектора можно было бы собрать на базе основной схемы VT1, поставив транзистор в режим линейно-ломаной характеристики и включив нагрузку RC. На самом деле это не так: в принципе действия линейного детектора важно не то, что вольт-амперная характеристика нелинейного звена близка к линейно-ломаной, а то, что к нелинейному элементу приложена разность между входным и выходным сигналами. В опытах с ли-

нейным детектором рекомендуется соединять узлы макета так, чтобы схема на VT1 работала, как амплитудный модулятор, а ее выходной сигнал подавать на вход линейного детектора (клемму I2 соединить с клеммой I3).

3.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

В соответствии с указанием преподавателя исследуется либо режим модуляции на нелинейности с отсечкой, либо режим модуляции с квадратичной (экспоненциальной) нелинейностью.

1. Соберите схему амплитудного модулятора. Подайте сигнал несущей частоты ω_H от лабораторного генератора высокой частоты на клемму I или 2, установив частоту f_H в соответствии с резонансной частотой контура f_p , указанной на макете. Напряжение должно быть порядка I В. Наблюдая напряжение на контуре (клемма I2), подстройте f_H точно в резонанс.

2. Наблюдая форму тока с помощью осциллографа, как это было описано выше при ссылке на рис. I8 или 20, подстройте режим, изменяя E_0 и амплитуду входного напряжения несущей частоты.

3. Подайте модулирующий сигнал ω_M от генератора низкой частоты ($F_M = 1 \dots 10$ кГц) с $U_M \approx 1$ В. Убедитесь, что выходной сигнал амплитудно-модулированный. Варьируя амплитуды U_H, U_M и рабочую точку E_0 , добейтесь "красивой картинки" на экране осциллографа - четко видной, неискаженной огибающей при средней глубине модуляции ($M \approx 50\%$).

4. Исследуйте прохождение сигнала по тракту. (Зарисуйте осциллограммы: входного сигнала модулятора (клемма 3); тока, протекающего через транзистор (клемма I2 с включенным резистором R_g при квадратичной или клемма 6 при линейно-ломаной вольт-амперной характеристике); выходного сигнала (клемма I2 при включенном контуре)). Для каждой точки сделайте три рисунка: при отсутствии модулирующего сигнала (прохождение только сигнала несущей частоты); при небольшом значении U_M , соответствующем средним значениям коэффициента модуляции M ; при большом U_M , таком, при котором начинают наблюдаться искажения, вызванные выходом за пределы правильного режима работы. Выясните, как влияет на вид осциллограмм выбор напряжения рабочей точки E_0 . Изменяется ли угол отсечки, глубина модуляции, амплитуда выходного сигнала?

Дайте словесное описание наблюдавшихся эффектов, иллюстрируя это описание полученными рисунками.

5. Выбрав на основании предыдущих опытов наилучший с Вашей точки зрения режим работы схемы (рабочую точку E_0 , амплитуду несущих колебаний U_H), снимите модуляционную характеристику: зависимость коэффициента модуляции M от амплитуды модулирующего сигнала U_M . Коэффициент модуляции можно определить по осциллографу (рис. 21):

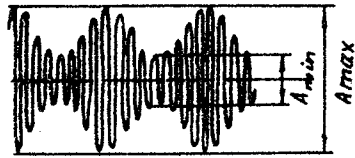


Рис. 21

$$M = \frac{A_{max} - A_{min}}{A_{max} + A_{min}}$$

3.4. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В КВАДРАТИЧНОМ ДЕТЕКТОРЕ

Схема квадратичного детектора собирается на основе транзистора $V71$ при подключении емкости C к эмиттерной цепи (клеммы 6, 7 соединить), что обеспечивает квадратичную вольт-амперную характеристику (при правильном выборе рабочей точки E_0). В коллекторную цепь следует ввести RC -фильтр, для этого включается резистор R_0 , конденсатор C_ϕ (соединяются клеммы 12 и 19 внешней перемычкой).

1. Сигнал от внешнего высокочастотного генератора с частотой $f_H \approx 300$ кГц и амплитудой порядка 50 мВ подается на вход (клемма 4). Вначале следует убедиться, что установленный режим соответствует квадратичному. Для этого наблюдайте форму тока в коллекторной цепи (клемма 12, конденсатор C_ϕ отключен). Установкой E_0 и амплитуды U_H добейтесь "картинки", подобной рис. 20.

Включите в лабораторном генераторе режим внешней модуляции, подав на него модулирующий сигнал от низкочастотного генератора с частотой $F_M = 1 \dots 10$ кГц. Убедитесь в правильной форме амплитудно-модулированного сигнала, подаваемого на вход детектора (клемма 4).

2. Зарисуйте осциллограммы входного сигнала (клемма 4), коллекторного тока через транзистор (клемма 12 при отключенном C_ϕ), выходного сигнала (клемма 12 с подключенным C_ϕ). Обратите внимание, соответствует ли форма выходного сигнала форме огибающей входного сигнала.

3. Снимите зависимость $U_{вых}$ от частоты модулирующего сигнала F_M при неизменном $M \sim 50\%$. Частоту F_M повышайте до тех пор, пока не отметите существенные изменения в выходном сигнале. Дайте объяснение полученной зависимости.

3.5.1. Краткие теоретические сведения

В схеме линейного детектора (рис. 22) нелинейный элемент — диод D — находится под воздействием разности входного сигнала $U_{вх}(t)$ и выходного $U_{вых}(t)$, причем входной сигнал высокочастотный, амплитудно-модулированный, а выходной — медленно меняющееся напряжение, действующее на цепочке RC с большой постоянной времени. При вычитании этих сигналов напряжение между анодом и катодом диода почти все время отрицательно, диод заперт (рис. 23, а, б, в). Ток диода течет короткими импульсами с малым углом отсечки, соответствующим самым вершинам высокочастотного входного сигнала (рис. 23, г). Импульсы тока диода быстро подзаряжают конденсатор, компенсируя тем самым разряд конденсатора через резистор R в течение пауз между импульсами. Напряжение на конденсаторе (т.е. на выходе детектора) не вполне "гладкое", на синусоиду наложены как бы маленькие ступеньки (рис. 23, д). Конденсатор, подзаряжаясь через диод и разряжаясь через R , обеспечивает отслеживание изменения амплитуды входного сигнала. Напряжение на нем автоматически устанавливается настолько ниже амплитуды высокочастотного сигнала, сколько нужно для того, чтобы импульс тока скомпенсировал разряд в течение одной паузы. Так как разряд очень мал, требуется и очень малый импульс для подзаряда. Другими словами, схема автоматически (действие обратной связи!) входит в режим с малыми углами отсечки. Математический анализ показывает, что при большом отношении R нагрузки к сопротивлению диода r_D устанавливаются углы отсечки порядка $10 \dots 20^\circ$. Это означает, что напряжение на выходе лишь немного меньше амплитуды входного сигнала:

$$U_{вых} = k U_{вх},$$

$$\text{где } k = \cos(10 \dots 20^\circ) \approx 1.$$

Это соотношение почти не зависит от вида вольт-амперной характеристики диода. При наличии модуляции выходной сигнал почти в точности отслеживает огибающую, оставаясь всегда чуть ниже. Таким образом обеспечивается линейная характеристика детектирования независимо от вида вольт-амперной характеристики диода.

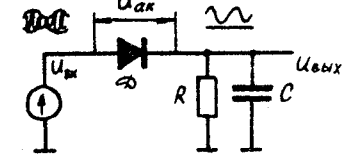


Рис. 22

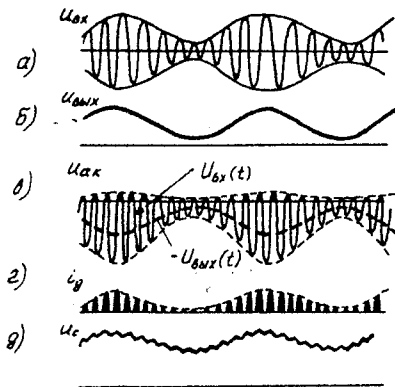


Рис. 23

При быстрых изменениях огибающей схема перестает "отслеживать" изменения амплитуды, так как диод оказывается постоянно запертым и конденсатор разряжается через R по экспоненте независимо от входного сигнала (рис. 24). Эти эффекты (динамические искажения) зависят от постоянной времени нагрузки RC .

3.5.2. Методика выполнения эксперимента

1. При исследовании процессов в линейном детекторе схема включает в себя все узлы макета. Сумматор и схема на $V1$ используются как модулятор для получения входного сигнала детектора. Настройку этой части схемы нужно провести, как указано в разделе 3.3. Сигнал с выхода (клемма I2) нужно подать на вход детектора через источник повторитель (клемма I3). К выходу диода (клемма I7) нужно подключить RC -фильтр (клемма I6).

2. При подаче вначале немодулированного входного сигнала рассмотрите и зарисуйте форму "постоянного" выходного напряжения. Что изменится, если уменьшить сопротивление нагрузки (подключить параллельно резистор R_{14})? Если увеличить емкость (подключить параллельно конденсатор $C_{ф}$)?

3. Снимите статическую характеристику детектирования - зависимость $U_{вых}$ от $U_{вх}$.

4. Подайте амплитудно-модулированный сигнал и зарисуйте форму выходного сигнала. Повышая частоту модулирующего сигнала F_M , проследите ее роль. Сделайте несколько (3 - 4) измерений зависимости

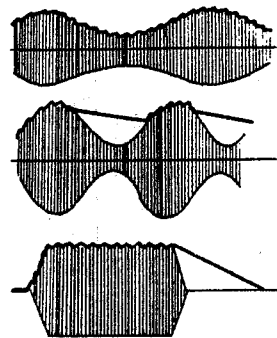


Рис. 24

амплитуды выходного сигнала от частоты F_M . Отметьте и зарисуйте появление резких динамических искажений. Как влияет на них уменьшение или увеличение постоянной времени RC -фильтра? Дайте словесное описание, иллюстрируемое осциллограммами.

3.6. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЧАСТОТЫ

1. Схему следует настроить так же, как в режиме модуляции с квадратичной нелинейностью (конденсатор C подключен к эмиттерной цепи). Подайте вначале один немодулированный сигнал на частоте, равной резонансной частоте контура. Наблюдая форму тока в коллекторной цепи (включив резистор R_g), выберите рабочую точку E_0 и амплитуду сигнала так, чтобы обеспечивался квадратичный режим нелинейности. Введя модуляцию во входной сигнал и включив LC контур, убедитесь в прохождении амплитудно-модулированного входного сигнала на несущей частоте $f_0 - f_p$.

2. Установите новую несущую частоту входного сигнала f' на 100...200 кГц выше или ниже f_p . Убедитесь, что колебания в контуре отсутствуют (или почти отсутствуют). Включите второй входной сигнал - вспомогательное высокочастотное напряжение. Амплитуда его должна быть примерно такая же, как амплитуда первого сигнала. Частоту вспомогательного сигнала установите с таким расчетом, чтобы суммарная (или разностная) комбинационная частота оказалась в полосе пропускания контура. Убедитесь, что на выходе появляется амплитудно-модулированный сигнал на несущей частоте f_p . Отметьте совпадение (или несовпадение) огибающей преобразованного сигнала с огибающей исходного сигнала. Запишите данные: $f_0, f_p, f_{вспом.сигн.}$ коэффициенты модуляции входного и выходного сигналов.

3. Не изменяя частоты вспомогательного сигнала, перестраивайте несущую частоту входного амплитудно-модулированного сигнала. Отметьте, при какой новой несущей частоте проявляется эффект "зеркального" канала.

Лабораторная работа №8а "Исследование амплитудного модулятора"

Схема лабораторного макета

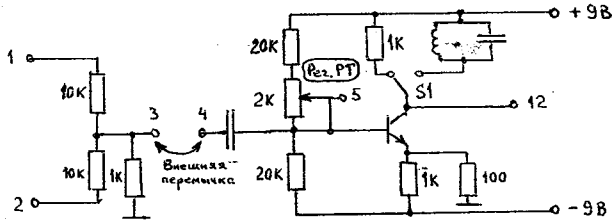


Рис.1

Функциональная схема амплитудного модулятора

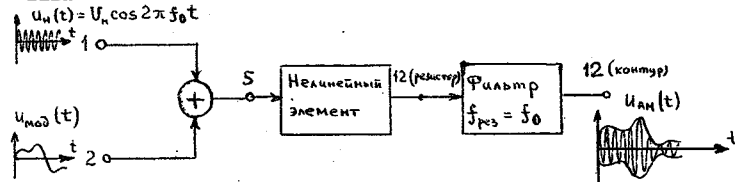


Рис.2

I. Экспериментальное определение статической модуляционной характеристики

а) Соберите следующую схему.

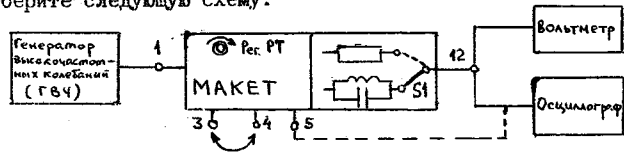


Рис.3

б) 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.

в) Переключите ключ S1 в положение "R_n" и наблюдайте на экране осциллографа сигнал вида:

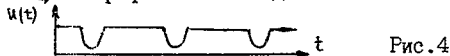


Рис.4

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 в клемме 5 должна быть примерно 0,1...0,2 В.

г) 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 (U₀) по осциллографу и действующее значение колебания на контуре (U_{вых}) вольтметром. При измерении U₀ вход осциллографа открытый (∞).

В клемме ⑤

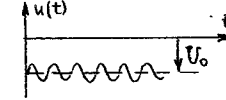


Рис.5

Результаты измерений занесите в таблицу:

U ₀ , В					
U _{вых} , В					

(не менее десяти значений каждой величины)

Постройте график зависимости U_{вых} = f(U₀) - статическую модуляционную характеристику. Она показывает, как зависит амплитуда (мгновенное значение огибающей) выходного сигнала амплитудного модулятора от мгновенного значения входного низкочастотного (модулирующего) сигнала. (Прим.: по оси ординат откладывается действующее значение колебания на выходе, однако оно пропорционально амплитуде)

д) Выделите на статической модуляционной характеристике примерно линейный участок.

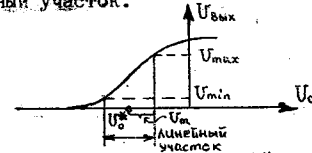


Рис.6

Определите его середину U₀* и половину его ширины U_m. Если низкочастотный модулирующий сигнал будет принимать значения в пределах линейного участка, то огибающая выходного модулированного сигнала {U_{вых}(t)} будет иметь такую же форму, как и модулирующий сигнал, т.е. процесс модуляции будет осуществляться без искажений. Рассчитайте коэффициент модуляции по формуле

$$M = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \quad (U_{\max} \text{ и } U_{\min} \text{ обозначены на рис.6})$$

2. Исследование модулятора при отсутствии искажений

а) Соберите следующую схему.

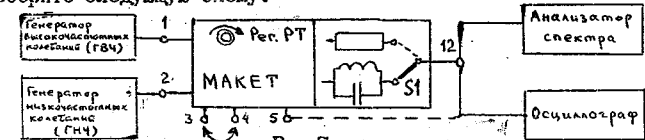


Рис.7

б) Временно отключив ГНЧ, подсоедините осциллограф к клемме 5 и путем регулировки рабочей точки установите постоянное смещение U₀*, которое вы определили по статической модуляционной характеристике. (см. п. Iд).

- 1) Подключите ГНЧ и временно отключите ГВЧ. Установите на ГНЧ частоту $F = 1$ кГц. Установите на ГНЧ такую амплитуду колебания в клемме 5, измеренная осциллографом, составляла значение U_m , определенное по статической модуляционной характеристике (см. п. 1д).
- 2) Подключите ГНЧ и ГВЧ. Зарисуйте осциллограммы в клеммах 5, I2 (при подключенном резисторе) и I2 (при подключенном контуре), а также спектрограмму колебания на контуре. Эти осциллограммы иллюстрируют процесс получения АМ-колебания в соответствии с функциональной схемой модулятора (см. рис.2).

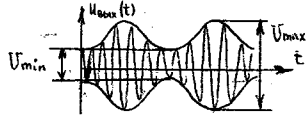


Рис.8

Рассчитайте коэффициент модуляции по осциллограмме и по спектрограмме:

$$M = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}} \quad (\text{см. рис.8}), \quad M = \frac{2S_1}{S_0} \quad (\text{см. рис.9}).$$

Сравните эти значения с коэффициентом модуляции, рассчитанным по статической модуляционной характеристике (см. п. 1д).

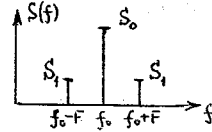


Рис.9

шей выходного сигнала (наблюдайте по осциллографу в клемме I2). Измерьте действующее значение НЧ-сигнала вольтметром (V_{max}). Уменьшайте амплитуду НЧ-сигнала с шагом $0,2 V_{max}$. Измеряйте U_{min} и U_{max} по осциллограмме выходного сигнала (см. рис.8). Результаты измерений занесите в таблицу:

$V, В$ (измеряется вольтметром в клемме 2)					
$U_m = \frac{\sqrt{2}V}{10}, В$ (вычисляется)					
$U_{max}, В$ (измеряется по осциллографу в клемме I2)					
$U_{min}, В$					
$M = \frac{U_{max} - U_{min}}{U_{max} + U_{min}}$					

(5 значений)

Постройте график зависимости $M = f(U_m)$. Объясните характер этой зависимости, опираясь на график статической модуляционной характеристики.

1. Исследование искажений в модуляторе

- 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 нелинейных искажений на основе спектрограммы:

$$K_{ни} = \frac{\sqrt{S_2^2 + S_3^2 + \dots}}{S_1} \cdot 100\%$$

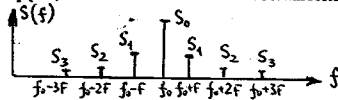


Рис. 10

- 2) Уменьшите амплитуду колебания на ГНЧ до прежнего значения. Сместите рабочую точку влево, чтобы стали заметны искажения огибающей. Зарисуйте осциллограмму выходного сигнала. Затем сместите рабочую точку вправо до появления новых искажений и также зарисуйте осциллограмму выходного сигнала. Как изменяется коэффициент модуляции при смещении рабочей точки влево и вправо относительно среднего значения U^* ? Опираясь на график статической модуляционной характеристики, объясните характер искажений и укажите, почему изменяется коэффициент модуляции.

1. Исследование зависимости коэффициента модуляции от амплитуды модулирующего сигнала

Установите среднее значение рабочей точки U^* (контролируйте по осциллографу, подключенному к клемме 5, при отсоединенном ГНЧ). Подключите вольтметр к клемме 2 (выход ГНЧ). Установите такое значение амплитуды НЧ-сигнала, чтобы были заметны искажения огиба-