Лабораторная работа № 8

Изучение процессов получения и детектирования амплитудно-модулированных колебаний в нелинейном усилителе

Цель работы

Исследование процессов получения и детектирования сигналов с амплитудной модуляцией.

Теоретические сведения

Основные виды радиотехнических преобразований сигналов осуществляются в нелинейных цепях и устройствах. Типичным нелинейным элементом является полевой транзистор.

На рис. 8.1 приведена проходная вольтамперная характеристика транзистора, аппроксимированная двумя отрезками прямых, что весьма удобно при больших амплитудах воздействующего сигнала.

Таким образом:

$$i_{c}(t) = \begin{cases} S(u_{3}(t) - U_{H}) & \text{при } u_{3} \ge U_{H}, \\ 0 & \text{при } u_{3} < U_{H}. \end{cases}$$
(8.1)

На этом же рисунке показана форма тока стока транзистора при напряжении на затворе:

$$u_{3}(t) = U_{0} + U_{3m} \cos \omega_{\rm H} t$$
 (8.2)

Нелинейный режим работы транзистора приводит к отсечке тока стока, угол отсечки *θ* может быть найден из соотношения:

$$\cos\theta = \frac{U_{\rm H} - U_0}{U_{\rm am}} \,. \tag{8.3}$$

Постоянная составляющая и амплитуды гармоник тока вычисляются по формулам:

$$I_{\rm c0}(\theta) = SU_{\rm 3m}\gamma_0(\theta) \ {}_{\rm H} \ I_{\rm c,n}(\theta) = SU_{\rm 3m}\gamma_n(\theta) \,. \tag{8.4}$$

Значения функции угла отсечки (функции Берга) по первой гармонике $\gamma_1(\theta)$ могут быть найдены из табл. 8.1.



Рис. 8.1. Графики, поясняющие работу транзистора в нелинейном режиме с резистивной нагрузкой

Таблин	as	21	
гаолиц	ac). I	

<i>θ</i> , °	$\gamma_1(\theta)$						
0	0,000	50	0,121	100	0,610	150	0,971
10	0,001	60	0,196	110	0,713	160	0,991
20	0,009	70	0,287	120	0,804	170	0,999
30	0,029	80	0,390	130	0,879	180	1,000
40	0,065	90	0,500	140	0,935		

2

При анализе нелинейных цепей методом угла отсечки удобно пользоваться параметром, называемым средней крутизной по *n*-й гармонике:

$$S_{\text{cp},n}(\theta) = \frac{I_{\text{c},n}(\theta)}{U_{\text{3m}}} = S\gamma_n(\theta).$$
(8.5)

Для первых трёх гармоник максимальные значения средней крутизны принимают следующие значения: $\gamma_1(180^\circ) = 1$, $\gamma_2(90^\circ) = 0.21$, $\gamma_3(60^\circ) = 0.07$.

Зависимость амплитуды I_{cl} от напряжения смещения на затворе U_0 при постоянной амплитуде возбуждения U_{3m} называется статической модуляционной характеристикой:

ī

$$I_{c1}(U_0)\Big|_{U_{3m}} = const = SU_{3m}\gamma_1(\theta).$$
(8.6)

Принципиальная схема амплитудного модулятора на основе нелинейного резонансного усилителя приведена на рис. 8.2.



Рис. 8.2 Принципиальная схема амплитудного модулятора

Для получения АМ-колебания при модуляции смещением на вход нелинейного резонансного усилителя (рис. 8.2) подаётся: а) постоянное напряжение смещения U_0 , определяющее рабочую точку, б) низкочастотный модулирующий сигнал $u_{\Omega}(t)$ с амплитудой $U_{\Omega m}$, управляющий изменением средней крутизны нелинейного элемента — транзистора, в) высокочастотное колебание $u_{\omega}(t)$ с амплитудой $U_{\omega m}$ и частотой $\omega_{\rm H} = \omega_0$, для которого транзистор может рассматриваться как элемент с переменным параметром $S_{\rm cp}$, управляемым модулирующим напряжением. Режим работы транзистора при получении гармонической модуляции смещением показан на рис. 8.4.



Рис. 8.3. Графики, поясняющие режим работы транзисторного усилителя при получении гармонической модуляции смещением

Для выбора режима работы и для оценки качества модуляции удобно использовать статическую модуляционную характеристику, которую снимают при $U_{\Omega m} = 0$. Её можно рассчитать, используя метод угла отсечки, по формулам (8.3), (8.5) и (8.6). Полученная характеристика используется для выбора режима работы модулятора. Рабочую точку U_0 нелинейного элемента выбирают на середине линейного участка этой характеристики. С помощью статической модуляционной характеристике можно определить амплитуду модулирующего напряжения, для получения АМК с заданным коэффициентов глубины модуляции М, определить диапазон изменения модулирующего напряжения, при котором искажения при модуляции будут на приемлемом уровне.

Детектирование колебаний заключается в выделении сигнала, который содержится в модулированном высокочастотном колебании. Детектирование является процессом обратным модуляции. На вход амплитудного детектора подается модулированное колебание, которое содержит только высокочастотные составляющие: несущее колебание и колебания боковых частот. На выходе же выделяется напряжение с низкочастотным спектром передаваемого сообщения. Следовательно, амплитудное детектирование всегда сопровождается трансформацией спектра и может быть реализовано в нелинейных цепях.

Схема простейшего диодного амплитудного детектора приведена на рис. 8.4. Элементы R и C образуют фильтр, который позволяет при правильно выбранных параметрах получить на выходе неискаженное низкочастотное колебание. Для этого необходимо выполнить условия



Рис. 8.4 Диодный амплитудный детектор

При невыполнении левой части неравенства на выходе детектора появляются высокочастотные компоненты (в осциллограмме выходно-

го напряжения появляется «размытость»), а при невыполнении правой части неравенства в выходном напряжении детектора появляются нелинейные искажения Рис. 8.5.



Рис. 8.5 Сигнал на входе и выходе диодного амплитудного детектора при невыполнении и выполнении условия 8.7.

Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на установке, часть передней панели которой приведена на рис. 8.6.



Рис. 8.6. Часть передней панели лабораторного макета

Исследуемые схемы – амплитудный модулятор и амплитудный детектор собираются путем соединения перемычками соответствующих гнезд. При анализе амплитудного модулятора несущее гармоническое колебание от генератора АКИП-3407 подводится к гнёздам «*Bx. B*4.», а низкочастотное управляющее колебание к гнезду «Вх. НЧ»

Постоянное напряжение смещения на затвор транзистора можно изменять потенциометром «U_{см}». Постоянное напряжение измеряется цифровым осциллографом АКИП-4115 при открытом входе (DC), измеряя с помощью масштаба смещение по вертикали нулевой линии. Выход модуляторы (гнездо «2») внутри лабораторного макета соединено со входом амплитудного детектора (гнездо «7»).

Домашнее задание

Исходные данные для расчётов для всех бригад: L = 3,4 мГн, $Q_{\kappa} = 200, p = 0,5, S = 1,2$ мА/В, Ri = 16 кОм. U_н= -1,2 В

Резонансную частоту взять из таблицы заданий.

Бригада	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f ₀ , кГц	130	135	140	145	150	155	160	165	170	180
M %	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35
F кГц	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9
U _m mB	100	110	120	130	140	150	160	170	185	200

- Нарисовать форму напряжения на затворе транзистора и на выходе модулятора.
- 2. Рассчитать и построить по формулам 8.3-8.5 статическую модуляционную характеристику. При расчете напряжение U_0 задавать в диапазоне $U_{\rm H} \pm U_{\rm m}$.
- По статической модуляционной характеристики определить амплитуду модулирующего напряжения U_{Ωm} для получения заданного коэффициента глубины модуляции М.
- Нарисовать форму напряжения на выходе амплитудного детектора при подаче на вход детектора тонально модулированного АМК при правильно выбранным параметрам фильтра.

Лабораторное задание

- Собрать схему для исследования амплитудного модулятора. Для этого перемычками соединить гнезда «1» и «3», гнеда «И» и корпус, гнезда «С» и «К». Подключить канал А генератора сигналов АКИП-3407 к гнездам «Вх. ВЧ» и корпус, выход канала В к гнездам «Вх.Нч» и корпус, вход канала 1 осциллографа АКИП-4115 к гнездам «З» и корпус, а вход канала 2 к гнездам «2» и корпус. Получить разрешение преподавателя или лаборанта на выполнение лабораторной работы.
- 2. Включить приборы. Кнопка включения питания «0 / I » генератора АКИП-3407 находится на задней его панели слева под шнуром питания; после включения питания начинает мигать кнопка включения рабочего режима, расположенная в левом нижнем углу передней панели генератора, нажатие на которую завершает операцию включения генератора. Кнопка включения питания осциллографа АКИП-4115 находится на верхней стороне корпуса слева. Включить питание лабораторного макета (тумблер вверху справа).
- 3. Настроить осциллограф. Прежде всего, необходимо установить стандартные настройки осциллографа («настройки по умолчанию» или «начальные установки»), для этого достаточно нажать кнопку «НАЧ УСТ». Затем нажать кнопку «КАН 1» и выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «КАН1» (расположено по

правому краю экрана осциллографа) режим связи канала 1 по постоянному току — режим «ДС» (такой режим называется также «открытым входом»). Управление экранным меню осуществляется с помощью кнопок управления, размещённых вдоль правого края экрана осциллографа, напротив соответствующих пунктов экранного меню. Настройки каналов вертикального отклонения символически отображаются в левом нижнем углу экрана. После переключения в режим связи по постоянному току на экране должен появиться значок «СН1---1.00V». В правой части этой строки указывается масштаб изображения по вертикали — коэффициент вертикального отклонения. Указанная в данном случае величина «1.00V» означает, что одна клетка экранной сетки соответствует 1 В входного напряжения осциллографа. Аналогично настроить осциллограф по КАН2, с тем отличием, что режим связи установить - «АС».

- Установить на генераторе АКИП-3407 по каналу А гармоническое напряжение с частотой f₀ и амплитудой U_m. Для этого с помощью клавиш меню (внизу экрана) установить f₀, кГц и заданную амплитуду U_m.
- 5. Установить напряжение смещения U₀=-0,8 В. Для этого по каналу КАН1 выбрать в разделе «Связь входа» экранного меню «земля», ручкой смещение по вертикали совместить нулевую линию с одной из горизонтальных линий экрана, заметить выбранную линию. Перейти, нажимая клавишу «Связь входа», в режим «DC», и ручкой U_{см} (лаб. макет) с помощью масштаба по КАН1 установить нулевую линию в положение соответствующее напряжению смещения U₀=-0,8 В. Подать с генератора АКИП-3407 установленное гармоническое колебание, нажав клавишу «Выход» канала А (клавиша «выход» должна загореться).
- 6. Изменяя емкость конденсатора С1, настроить контур модулятора в резонанс.
- 7. Снять по пяти, шести точкам и построить статическую модуляционную характеристику, изменяя U₀ в диапазоне U_н ± U_m. Рекомендуется каждый раз при установке напряжения U₀ отключать выход канала A (клавиша «выход» должна быть погашена). По построенной статической модуляционной характеристики определить амплитуду модулирующего напряжения U_{Ωm} для получения заданного коэффициента глубины модуляции М. Сравнить полученное значение со значением, найденном в домашнем задании.
- 8. Подать на гнездо «Вх. НЧ» модулирующее напряжение частотой F и амплитудой $U_{\Omega m}$, найденной при выполнении п.7. Для этого на

генераторе АКИП-3407 по каналу В установить гармоническое напряжение частотой F и амплитудой $U_{\Omega m}$, найденной при выполнении п.7, и нажать клавишу «Выход» канала В (клавиша «выход» должна загореться). Ручкой «горизонт» установить масштаб по горизонтали, чтобы на экране осциллографа размещалось два, три периода модулирующего напряжения. Ручками «смещение» канала 1 и 2, регулируя усиление по каналам 1 и 2 установить, чтобы изображение по каналу 1 было в верхней части экрана, а изображение по каналу 2 – в нижней половине . Зарисовать или сфотографировать изображение колебаний на экране. Измерить коэффициент глубины модуляции М ((A-B)/(A+B)) и сравнить с требуемым.

- 9. Исследовать структуру спектров на входе и выходе модулятора. Для этого ручкой «горизонт» установить масштаб по горизонтали 500 мкс/клетку, нажать клавишу «математика», выбрать оператор «БПФ», окно «прямоугольник», перейти на стр. 2, выбрать шкалу-Vrms, дисплей – «полный» и по очереди переключаясь на канал 1 и канал 2, подводя спектральные пики ручкой смещение по горизонтали под курсор (расположен вверху в центре экрана), измерить частоту спектральных пиков. Зарисовать или сфотографировать спектры колебаний u₃(t) и u_c(t). Для получения изображений колебания и его спектра следует изображение по другому каналу погасить, нажав соответствующую кнопку «вход» (кнопка должна погаснуть). Спектры наблюдать при растяжке БПФ «1×»
- Повторить пункты 8. 9 подав на гнездо «Вх. НЧ» модулирующее напряжение частотой 2F и амплитудой U_{Qm}, найденной при выполнении п.7. После выполнения п.9 установить частоту модулирующего напряжения F.
- 11. Собрать схему детектора АМК. Для этого двойной перемычкой соединить гнездо резистора R2 с гнездом конденсатора C6 и гнездом «8», канал1 осциллографа подключить к гнезду «8».
- 12. Исследовать процесс детектирования АМК. Ручкой «горизонт» установить масштаб по горизонтали, чтобы на экране осцилло-графа размещалось два, три периода модулирующего напряжения. Ручками «смещение» канала 1 и 2, регулируя усиление по каналам 1 и 2 установить, чтобы изображение по каналу 2 было в верхней части экрана, а изображение по каналу 1 в нижней половине. Зарисовать или сфотографировать изображение колебаний на экране.
- 13. Исследовать структуру спектров на входе и выходе детектора. Для этого ручкой «горизонт» установить масштаб по горизонтали 500

мкс/клетку, нажать клавишу «математика», выбрать оператор «БПФ», окно «прямоугольник», перейти на стр. 2, выбрать шкалу-Vrms, дисплей – «полный» и по очереди переключаясь на канал 1 и канал 2, подводя спектральные пики ручкой смещение по горизонтали под курсор (расположен вверху в центре экрана), измерить частоту спектральных пиков. Зарисовать или сфотографировать спектры колебаний на ходе и выходе детектора. Для получения изображений колебания и его спектра следует изображение по другому каналу погасить, нажав соответствующую кнопку «вход» (кнопка должна погаснуть). Спектры наблюдать при растяжке БПФ «1×».

- Исследовать процесс детектирования АМК при маленькой емкости фильтра RC. Для этого отключить провод двойной перемычки от гнезда конденсатора C6. Повторить пп.12,13.
- 15. Исследовать процесс детектирования АМК при большой емкости фильтра RC. Для этого подключить провод двойной перемычки к гнезду конденсатора C5. Повторить пп.12,13.

Содержание отчета

- 1. Принципиальные схемы амплитудного модулятора и детектора.
- 2. Результаты выполнения домашнего задания.
- 3. Осциллограммы и графики, полученные при выполнении лабораторного задания.
- 4. Краткие выводы, сравнение теоретических и экспериментальных результатов, анализ причин возможных расхождений.

Контрольные вопросы

- 1. Чем отличаются осциллограммы напряжений на затворе и стоке транзистора модулятора при тональной модуляции?
- 2. Чем отличаются спектры напряжений на затворе и стоке транзистора модулятора при тональной модуляции?
- 3. Объясните назначение транзистора и колебательного контура в амплитудном модуляторе.
- 4. Как получаются амплитудно-модулированные колебания при модуляции смещением?
- 5. Что такое статическая модуляционная характеристика? Каково её назначение?
- 6. Как выбирается рабочий режим модулятора? Почему режим работы транзистора модулятора должен быть нелинейным?
- Можно ли при модуляции смещением получить M = 100% без искажения огибающей АМ-колебаний?

- Как влияет на выходное напряжение модулятора изменение напряжения смещения?
- 9. Как выбирается полоса пропускания контура модулятора?
- 10. Как влияет на выходное напряжение модулятора изменение частоты модуляции?
- 11. Объясните назначение диода и цепи RC в амплитудном детекторе.
- 12. Как выбираются параметры цепи RC детектора?
- 13. Чем отличаются спектры входного и выходного сигналов амплитудного детектора?

Библиографический список

- 1. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. М.: Радио и связь, 1986. С. 74 81, 231 235, 255 257, 242-247.
- 2. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. М.: Высшая школа, 1988. С. 103 114, 332 342, 289-290.