

Лабораторная работа № 4

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Составитель Г.К. Кожанова, ст. преподаватель

Ил. 7, табл. I, список лит. 4 назв.

Рецензенты: В.С. Беляев, канд. техн. наук, доцент
А.С. Суходутов, канд. техн. наук, доцент

Цель работы

Теоретическое и экспериментальное исследование амплитудных некогерентного и синхронного детекторов аналоговых сигналов.

Домашнее задание

1. В схеме некогерентного диодного детектора применен диод, вольт-амперная характеристика которого изображена на рис. 1. Аппроксимировать характеристику двумя отрезками прямых линий и записать выражение для аппроксимирующей функции.

Определить напряженные отсчеты U_0 .

2. На вход диодного детектора подается АМ-колебание

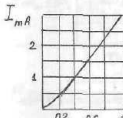


Рис. 1

$$u_{AM} = U_0 \left[1 + m_{AM} \cos(2\pi f_0 t) \right] \cos(2\pi f_0 t) + U_0$$

Используя аппроксимационные характеристики

диода, рассчитать и построить:

а) спектральную диаграмму тока, протекающего через диод (реакцией нагрузки пренебречь);

б) спектральную диаграмму напряжения на нагрузке детектора для заданных значений R_H и C_H . При расчетах полагать, что рабочая точка соответствует углу отсечки $\theta = 90^\circ$;

в) вывести выражение для детекторной характеристики, если в схеме используется нелинейный элемент, характеристика которого аппроксимируется ломаной линией; рабочая точка соответствует $\theta = 90^\circ$.

3. Рассчитать коэффициент нелинейных искажений для детектора с характеристикой

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^3$$

Исходные данные к домашнему заданию следует взять из табл. I по номеру бригады.

Таблица I

Номер станции	$m_{\text{АН}}$	F_N , кГц	R_H , Ом	C_H , МкФ	U_H , В	f_0 , кГц
I	0,8	0,8	100	0,1	0,5	100
2	0,7	0,9	100	0,1	0,8	105
3	0,6	1,0	160	0,07	0,9	110
4	0,5	0,8	200	0,05	0,5	115
5	0,7	0,9	200	0,05	0,6	120
6	0,6	1,0	100	0,1	0,7	102
7	0,5	1,2	100	0,1	0,9	108
8	1,0	1,1	160	0,07	0,6	112
9	0,6	0,8	150	0,07	1,0	116
10	0,5	1,2	200	0,05	0,8	118
11	0,4	1,0	200	0,05	0,6	122
12	0,9	0,8	100	0,1	0,7	125

Описание лабораторного макета

Схема лабораторного макета состоит из двух независимых детекторов и приведена на рис. 2.

1. Неполнорентный линейный детектор (см. рис. 2а) представляет собой детектор огибающей. В качестве выпрямительного элемента используется диод D_1 , нагрузкой которого является простейший фильтр низких частот, состоящий из параллельно соединенных резистора R_H и емкостей C_H (C_1, C_2, C_3), которые можно отключить переключателем Π_1 .

2. Когерентный (асинхронный) детектор (см. рис. 2б) выполнен по кольцевой схеме (диоды $D_2 - D_5$). Входной амплитудно-модулированный сигнал подается на диоды через трансформатор TP_1 , а опорное (синхронизирующее) напряжение - через трансформатор TP_2 . Фазоверрачитель позволяет изменять фазу опорного напряжения и выключен между первичной обмоткой трансформатора TP_2 и входными клеммами $U_{\text{синх}}$. Нагрузкой детектора является параллельно включенные цепочки $R_H C_H$.

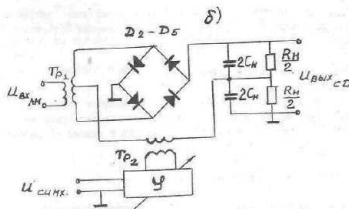
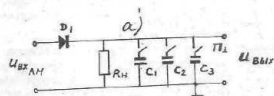


Рис. 2

Лабораторное задание

1. Исследование неполнорентного детектора:

а) снять детекторную характеристику $I = f(U_m)$, подсоединив на вход генератор высокой частоты Г4-18А, а на выход - вольтметр постоянного напряжения. (Емкости C_H - отключить.) Амплитуда несущей изменяется в пределах от 0 до 1 В. Определить по детекторной характеристике области квадратичного и линейного детектирования;

б) подключить ко входу детектора АМ-сигнал, установив значения модулирующей и несущей частот в соответствии с данными таблицы I. Включить емкости. Зарисовать осциллограммы на входе и выходе детектора при различных емкостях; выделить роль емкости C_H : определить значение C_H , при котором наблюдается искаженное детектирование;

в) при полученном экспериментальном значении емкости C_H произвести проверку выполнения условия для постоянной цепи детектора.

$$\frac{I}{I_0} \ll R_H C_H \ll \frac{I}{F_{max}}$$

2. Исследование когерентного (синхронного) детектора:

а) снять зависимость амплитуды выходного напряжения когерентного детектора от начальной фазы опорного генератора (частота несущей берется равной 150 кГц, а модулирующей — 100 Гц, $m = 100\%$);

б) снять амплитудно-частотную характеристику выходного напряжения от частоты входного. Частота опорного напряжения остается постоянной и равной 150 кГц.

Содержание отчета

В отчете приводятся исследуемые схемы и результаты как предварительных расчетов, так и полученных результатов эксперимента. Даются объяснения экспериментальных результатов и выводы по работе.

Вопросы для подготовки к работе

1. В чем заключается процесс амплитудного детектирования?
2. Изобразить схему диодного амплитудного детектора и пояснить принцип его работы.
3. Как выбирается постоянная времени нагрузки детектора для обеспечения неискаженного детектирования?
4. Что называется детекторной характеристикой и как по ней определить режим неискаженного детектирования?
5. Что такое режим линейного и квадратичного амплитудного детектирования и при каких условиях каждый из них имеет место? Сравнить эти режимы.
6. Изобразить спектр и огибающую тона, протекающего в цепи линейного детектора; как изменится этот спектр при квадратичном детектировании?
7. Изобразить спектр сигнала на входе и выходе детектора при линейном и квадратичном детектировании.
8. Изобразить зависимость выходного напряжения синхронного детектора от фазы опорного колебания.
9. Изобразить спектр тока, протекающего через нагрузку синхронного детектора.

10. Объяснить, почему когерентный (синхронный) детектор обладает избирательными свойствами, и изобразить его частотную характеристику.

II. Сравнить режимы некогерентного и синхронного детекторов по качественным показателям.

Список литературы

1. Раскасов С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высшая школа, 1988.
2. Андреев В.С. Теория нелинейных электрических цепей. — М.: Связь, 1974.
3. Кюен В.И., Санников В.Г. Вопросы теории передачи сигналов в задачах проектирования современных систем связи/МЭИО. — М., 1982.
4. Конспект лекций.

ПРИЛОЖЕНИЕ

1. Операция амплитудного детектирования обратна амплитудной модуляции. Амплитудное детектирование — это процесс преобразования амплитудно-модулированного сигнала, целью которого получить напряжение, закон изменения которого соответствует закону изменения огибающей АМ-сигнала, отображающей переданное сообщение.

Таким образом, подавая на вход детектора АМ-колебание

$$U_{AM}(t) = U_m(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t,$$

мы должны на выходе получить колебание, повторяющее по форме модулирующий сигнал $U_d \cos \Omega t$.

В зависимости от того, используются ли сведения о начальной фазе φ АМ-сигнала, детектор может быть некогерентным (инвариантным от величины начальной фазы φ) и когерентным.



Рис. 3

2. Некогерентный амплитудный детектор или детектор огибающей состоит из нелинейного безынерционного преобразователя и фильтра нижних частот (рис. 3). Способ аппроксимации вольт-амперной характеристики нелинейного преобразователя определяется уровнем АМ-сигнала. При детектировании сигнала относительно малого уровня используется полиномиальная квадратичная аппроксимация; при детектировании сигналов относительно большого уровня — линейная аппроксимация; соответствующие виды детектирования получили названия: квадратичное детектирование и линейное детектирование. (Чтобы избежать недоразумений, следует еще раз подчеркнуть, что оба вида детектирования происходят именно за счет нелинейных преобразований.)

Квадратичный детектор. При детектировании сигналов малого уровня характеристику нелинейного преобразователя можно аппроксимировать полиномом вида

$$i = a_0 + a_1 u + a_2 u^2 \dots$$

Если в качестве АМ-сигнала использовать

$$U_{AM}(t) = U_m [1 + m \cos \Omega t] \cos \omega_0 t,$$

то после соответствующих преобразований получим спектр тона, протекающий через нелинейный элемент с частотами: Ω , 2Ω , $(\omega_0 \pm \Omega)$, $(2\omega_0 \pm \Omega)$, ω_0 , $2\omega_0$. Низкочастотные колебания на частотах Ω , 2Ω выделяются фильтром низких частот с постоянным коэффициентом передачи, высокочастотные отфильтровываются. Спектральные преобразования, происходящие при квадратичном детектировании, представлены на рис. 4.

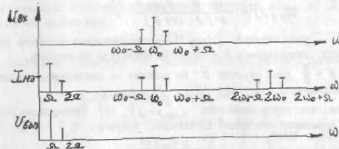


Рис. 4

С учетом параметров схемы и режима работы переменное напряжение на выходе фильтра детектора

$$U(t)_{вых} = U_{m\Omega}(t) + U_{m2\Omega}(t) = a_2 R_H m U_m^2 \cos \Omega t + \frac{a_2 R_H m U_m^2}{4} \cos 2\Omega t.$$

Коэффициент нелинейных искажений, обусловленный $U_{m2\Omega}$, равен

$$K_{н.н} = \frac{U_{m2\Omega}}{U_{m\Omega}} = \frac{m}{4}$$

и при m 100% достигает значительной величины $K_{н.н}$ 25%. Поэтому квадратичный детектор не применяется для качественного детектирования АМ-сигналов.

Квадратичный детектор находит свое применение в камерах малой мощности сигнала, поскольку $U_{вых.дет} \approx U_m^2$.

Линейный амплитудный детектор. Для реализации режима линейного детектирования необходимо, чтобы амплитуда несущего колебания АМ-сигнала, подаваемого на детектор, достигла значительных величин. В этом случае можно использовать кусочно-линейную аппроксимацию ВАХ диода, и нелинейные искажения не возникают.

$$i(u) = \begin{cases} 0, & u < 0; \\ SU, & u > 0. \end{cases}$$

Схема диодного детектора изображена на рис. 26.

Для нормальной работы детектора необходимо, чтобы сопротивление резистора нагрузки R_H значительно превышало сопротивление диода в прямом направлении, т.е. чтобы $S R_H \gg 1$.

В этом случае ток через нелинейный элемент имеет вид импульсов. Среднее значение тока за период с учетом коэффициентов Берга будет иметь вид

$$I_0(t) = \alpha_0(\theta) \cdot i_{\max}(t);$$

$$\alpha_0(\theta) = \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\theta^2 (1 - \cos \theta)},$$

где θ — угол отсечки; $i_{\max}(t)$ — максимальное значение тока импульсов, изменяющееся с изменением амплитуды АМ-сигнала.

При $\theta = \frac{\pi}{2}$ угол отсечки θ не зависит от амплитуды приложенного напряжения, т.е. $\alpha_0(\frac{\pi}{2}) = \frac{1}{\pi} = \text{const}$.

Учитывая, что закон изменения $i_{\max} = S U_m(t)$ пропорционален закону изменения огибающей АМ-сигнала, получим

$$I_0(t) = \frac{S U_m(t)}{\pi}.$$

Отсюда следует, что при линейном детектировании нелинейные искажения отсутствуют, при этом напряжение на выходе детектора

$$U_{\text{вых.гид.}}(t) = \frac{S R_H}{\pi} U_m(t),$$

т.е. пропорционально огибающей, отсюда и название — линейный детектор. Спектры сигналов на входе и выходе линейного детектора, а также спектр тока через нелинейный элемент изображены на рис. 5.

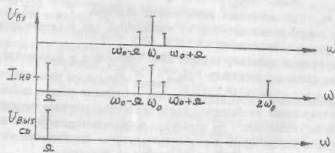


Рис. 5

Цепь $R_H C_H$ в схеме детектора выполняет роль фильтра, и ей предъявляются вполне определенные требования:

1) необходимо устранить пульсации с удвоенной частотой несущей — 2ω на выходе детектора. Для этого необходимо выполнение условия

$$\frac{1}{\omega C_H} \ll R_H;$$

2) емкостное сопротивление должно быть достаточной величины для выделения колебаний модулирующих частот $\Omega_{\min}$ до $\Omega_{\max}$; для этого необходимо

$$\frac{1}{R_H C_H} \gg R_H.$$

Требование одновременного выполнения этих условий приводит к неравенству

$$\frac{1}{\omega} \ll R_H C_H \ll \frac{1}{\Omega_{\min}},$$

где $R_H C_H = T_{\varphi}$ — постоянная времени цепи $R_H C_H$.

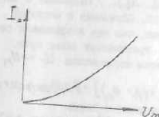


Рис. 6

Для выбора режима работы детектора необходимо знать детекторную характеристику.

Детекторная характеристика — это зависимость тока детектирования от амплитуды приложенного напряжения, т.е. $I_c = f(U_m)$. Здесь $I_c = I_0$ — постоянная составляющая тока, обусловленная

лишь действием немодулированного сигнала на входе детектора и не учитывающая ток в рабочей точке. Детекторная характеристика приведена на рис. 6. Ее начальный участок относится к области малых сигналов (квадратичное детектирование). При больших уровнях сигналов имеет место линейная зависимость, обеспечивающая линейное детектирование.

Синхронный детектор. Синхронным детектором называют преобразователь частоты, работающий при условии $\omega_r = \omega_0$, т.е. частота опорного (синхронизирующего) напряжения гетеродина должна точно соответствовать частоте входного сигнала.

Синхронный детектор (СД) представляет собой линейную систему с переменными параметрами. Функциональная система СД представлена на рис. 7. Она состоит из перемножителя и фильтра низких частот (ФНЧ). В лабораторном макете операции перемножения осуществляет колебательная диодная система, в качестве ФНЧ используются параллельные контуры $R_H C_H$.

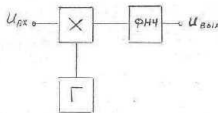


Рис. 7

На перемножитель подаются два колебания:

АМ-сигнал

$$U_{\text{вх}}(t) = U_m(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0);$$

опорное (синхронизирующее) напряжение

$$U_r(t) = U_r \cos(\omega_r t + \varphi_r)$$

от гетеродина с амплитудой $U_r \gg U_m$.

Отклик перемножителя будет содержать комбинационные колебания с частотами $\omega = (\omega_r + \omega_0)$ и $\Delta\omega = (\omega_r - \omega_0)$. Колебание с частотой $\Delta\omega = (\omega_r - \omega_0)$ выделяется ФНЧ. Колебание с частотой $\omega = (\omega_r + \omega_0)$ - отфильтровывается, так как коэффициент передачи ФНЧ на частоте $\omega = (\omega_r + \omega_0)$ практически равен нулю.

Отклик синхронного детектора с учетом неравенства $U_r \gg U_m$ можно записать так:

$$U_{\text{вых}}(t) = \delta U(t) [\cos(\omega_r - \omega_0)t + (\varphi_r - \varphi_0)] - \delta U(t) \cos(\Delta\omega t + \Delta\varphi),$$

где δ - коэффициент, учитывающий параметры схемы.

Таким образом, выходное напряжение $U_{\text{вых}}(t)$ зависит от $\Delta\omega$ и от $\Delta\varphi$.

Рассмотрим некоторые области применения СД.

Детектирование АМ-сигналов. При выполнении условий синхронности $\omega_r = \omega_0$ и синфазности $\varphi_r = \varphi_0$, отклик СД с точностью до постоянного множителя повторяет огибающую входного сигнала $U_m(t)$:

$$U_{\text{вых}}(t) = \delta \cdot U_m(t).$$

Это и есть оптимальный режим работы СД при детектировании АМ-сигналов.

Детектирование ФМ-сигналов. При $\omega_r = \omega_0$; $\varphi_r \neq \varphi_0$ напряжение на выходе СД зависит от разности фаз $\Delta\varphi = (\varphi_r - \varphi_0)$:

$$U_{\text{вых}}(t) = \delta U_m \cos \Delta\varphi,$$

и при $\Delta\varphi = 90^\circ$ напряжение на выходе СД оказывается равным нулю. Зависимость выходного напряжения на выходе СД от разности фаз $\Delta\varphi$ и позволит использовать его для детектирования фазовых сигналов.

Частотная избирательность. Радиостанции, работающие по частоте, близкой к частоте принимаемого сигнала, создают помехи, которые называют сосредоточенными. Однако для сосредоточенных помех условие синхронности нарушается $\omega_r \neq \omega_{\text{пом}}$, и отклик детектора на эти помехи оказывается равным

$$U_{\text{вых}}(t) = \delta \omega U_m \cos(\omega_r - \omega_{\text{пом}}) t.$$

Это свойство синхронного детектора используется для борьбы с сосредоточенными помехами.

При использовании СД на практике между несущим колебанием входного сигнала и колебанием гетеродина должно поддерживаться жесткое фазовое соотношение. Это создает серьезные технические трудности при реализации схем синхронных детекторов.