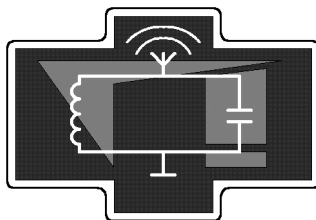


Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова
Физический факультет

В.И.Балакший, А.А.Белов

АМПЛИТУДНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Методическая разработка к задаче "Практикума колебаний"
кафедры физики колебаний



Москва, 2006 г.

УДК 534:621

Печатается по решению кафедры физики колебаний
физического факультета МГУ

Балакший В.И., Белов А.А.

Амплитудное детектирование. Методическая разработка к одноименной задаче "Практикума колебаний" кафедры физики колебаний. – М., изд. физического факультета МГУ, 2006, 19 с.

Методическая разработка предназначена для студентов 3-5 курсов отделения радиофизики физического факультета МГУ, выполняющих задачи в "Практикуме колебаний". В разработке изложены физические принципы работы полупроводникового детектора амплитудно-модулированных радиосигналов. Описаны экспериментальная установка и методика измерений при выполнении упражнений.

Объем 1,5 п.л.

Тираж 20 экз.

Заказ № 25

Отпечатано в отделе оперативной печати физического факультета МГУ

им. М.В.Ломоносова

Целью данной задачи является изучение принципов работы амплитудного детектора на основе полупроводникового диода.

1. Введение

Детектированием называется преобразование модулированного высокочастотного колебания, при котором происходит выделение низкочастотного сигнала, соответствующего закону модуляции. Процесс детектирования является обратным процессу модуляции, поэтому иногда его называют *демодуляцией*. В соответствии с основными видами модуляции различается амплитудное, частотное или фазовое детектирование.

Амплитудная модуляция широко используется в системах передачи информации. Принимая это во внимание, а также то, что при приеме частотно-модулированных колебаний их сначала преобразуют в амплитудно-модулированные, а затем детектируют, здесь будет рассмотрена теория детектирования только амплитудно-модулированных колебаний.

При любом виде детектирования на вход детектора подается модулированное колебание, содержащее лишь высокочастотные составляющие: несущую и боковые частоты. На выходе же должно быть получено напряжение с низкочастотным спектром передаваемого сигнала.

Колебание, промодулированное по амплитуде гармоническим сигналом (тонально модулированное колебание), имеет вид:

$$u(t) = U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t, \quad (1)$$

где U_0 – амплитуда несущего колебания, m – глубина модуляции, Ω – частота низкочастотного сигнала, ω_0 – несущая частота. Выражение (1) можно представить в виде:

$$u(t) = U_0 \cos \omega_0 t + U_0 \frac{m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t + U_0 \frac{m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega)t. \quad (2)$$

Отсюда следует, что модулированное колебание содержит в своем спектре

только высокочастотные составляющие: несущее колебание с частотой ω_0 и комбинационные колебания с частотами $\omega_0 \pm \Omega$, близкими к ω_0 , поскольку $\Omega \ll \omega_0$. При детектировании колебания (1) получается низкочастотный сигнал вида $u_{\text{ВЫХ}}(t) = A \cos \Omega t$. Таким образом, детектирование сопровождается преобразованием частотного спектра и поэтому не может быть осуществлено без применения нелинейных систем или же линейных систем, но с переменными параметрами.

2. Теория

В настоящее время широко используются детекторы на основе нелинейных элементов: диодов, транзисторов и др. Наибольшей простотой отличаются амплитудные детекторы с полупроводниковыми диодами. Схема такого детектора приведена на рис. 1.

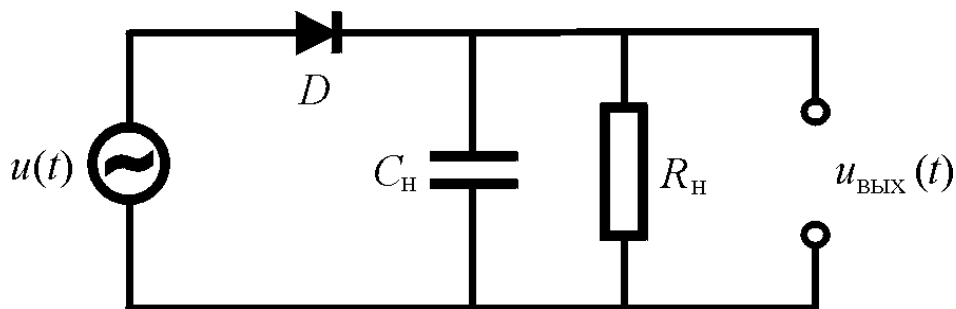


Рис. 1. Схема диодного детектора

На вход детектора подается высокочастотное колебание $u(t) = U(t) \cos \omega_0 t$ с несущей частотой ω_0 и амплитудой $U(t)$, изменяющейся по закону передаваемой информации. Нелинейный элемент представлен диодом D . Выходное напряжение $u_{\text{ВЫХ}}(t)$ снимается с линейной нагрузки, представляющей собой резистор R_H , шунтированный конденсатором C_H . Элементы R_H и C_H образуют фильтр низких частот, выделяющий необходимые спектральные компоненты напряжения. Напряжение $u_{\text{ВЫХ}}(t)$ определенным образом связано с $U(t)$, причем характер этой связи зависит от вида

характеристики нелинейного элемента D , от положения рабочей точки на характеристике и от амплитуды подводимого к детектору колебания.

Сильная зависимость свойств детектора от амплитуды детектируемых колебаний приводит к необходимости отдельного рассмотрения детектирования малых и больших сигналов.

2.1. Детектирование малого сигнала

Малым сигналом в теории амплитудного детектирования называется такой сигнал, для которого вольт-амперную характеристику диода с достаточной точностью можно аппроксимировать квадратичным трехчленом вида

$$i = i_0 + \alpha \Delta u + \beta (\Delta u)^2. \quad (3)$$

Здесь i_0 – ток диода в отсутствии сигнала, Δu – изменение напряжения на диоде. Такая аппроксимация справедлива только в области малых напряжений и токов, где вольт-амперная характеристика обладает наибольшей кривизной (кривая 1 на рис. 2). На практике сигналы могут считаться малыми, если их амплитуда не превышает нескольких десятых вольта.

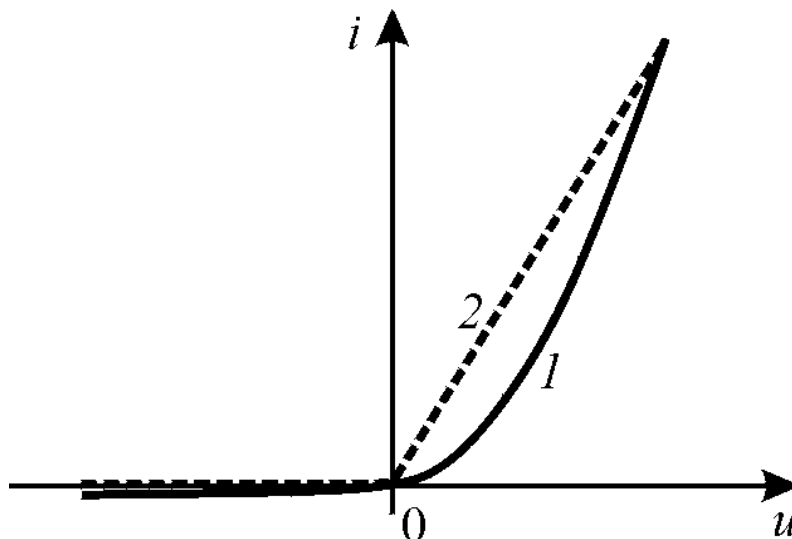


Рис. 2. Реальная вольт-амперная характеристика диода (1) и ее аппроксимация для большого сигнала (2)

Приравняем Δi к напряжению $u(t)$, подаваемому на детектор. Это можно сделать, поскольку нагрузка детектора, состоящая из параллельно включенных R_H и C_H , является, как правило, очень малым сопротивлением для всех спектральных компонент исходного сигнала. Тогда получим:

$$i = i_0 + \alpha U(t) \cos \omega_0 t + \beta U^2(t) \cos^2 \omega_0 t =$$

$$i_0 + \alpha U(t) \cos \omega_0 t + \frac{\beta}{2} U^2(t) \cos 2\omega_0 t + \frac{\beta}{2} U^2(t). \quad (4)$$

Таким образом, приращение тока, обусловленное действием сигнала $u(t)$, состоит из:

- составляющей с частотой ω_0 и огибающей $\alpha U(t)$,
- составляющей с частотой $2\omega_0$ и огибающей $\beta U^2(t)/2$ и
- низкочастотной составляющей $\beta U^2(t)/2$.

Интересующий нас сигнал содержится в последнем слагаемом, первые же два (высокочастотные) при детектировании являются бесполезными и должны быть отфильтрованы. Фильтрация осуществляется с помощью конденсатора C_H . Если выполнить условие $1/\omega_0 C_H \ll R_H$, то токи высоких частот будут проходить в основном через конденсатор, не создавая заметного напряжения на нагрузочном сопротивлении R_H . Однако необходимо учесть, что при слишком большой величине C_H полезная составляющая тока (с частотой Ω) тоже может отводиться от нагрузки через конденсатор. Чтобы этого не происходило, надо, чтобы сопротивление конденсатора на низкой частоте Ω было много больше сопротивления R_H , т.е. $1/\Omega C_H \gg R_H$. Объединяя оба неравенства, получаем соотношение, которое должно выполняться для качественного разделения токов высоких и низких частот:

$$\frac{1}{\omega_0} \ll R_H C_H \ll \frac{1}{\Omega}. \quad (5)$$

Для его выполнения частота несущего колебания ω_0 и верхняя частота Ω в спектре модулирующего сигнала должны различаться по крайней мере на два порядка.

Если в ряде Тейлора (3) учесть более высокие члены разложения, то после подстановки в него выражения для $u(t)$ можно убедиться, что интересующие нас низкочастотные составляющие порождаются только членами ряда с четными степенями u , следовательно, только эти члены описывают эффект детектирования.

В случае малого сигнала выходное напряжение детектора можно записать как

$$u_{\text{ВЫХ}} = \frac{\beta}{2} R_{\text{H}} U^2(t). \quad (6)$$

Так как это напряжение пропорционально квадрату амплитуды входного сигнала, то такое детектирование является *квадратичным*. Нетрудно видеть, что эта особенность не является препятствием для правильного воспроизведения импульсных (прямоугольных) сигналов. Иначе обстоит дело при квадратичном детектировании колебаний, амплитуда которых промодулирована аналоговыми сигналами, такими как речь, музыка и т.п.

Рассмотрим для простоты случай тональной модуляции (1). Для этого варианта выражение (6) принимает вид:

$$u_{\text{ВЫХ}} = \frac{\beta}{2} R_{\text{H}} U_0^2 \left(1 + \frac{m^2}{2} + 2m \cos \Omega t + \frac{m^2}{2} \cos 2\Omega t \right). \quad (7)$$

Отсюда следует, что переменная часть выходного напряжения содержит два слагаемых:

а) полезное, воспроизводящее сигнал –

$$u_{\text{ВЫХ}}^{(\Omega)} = m\beta R_{\text{H}} U_0^2 \cos \Omega t \quad \text{и} \quad (8)$$

б) вредное, являющееся второй гармоникой сигнала –

$$u_{\text{ВЫХ}}^{(2\Omega)} = \left(m^2/4 \right) \beta R_{\text{H}} U_0^2 \cos 2\Omega t. \quad (9)$$

Это означает, что квадратичное детектирование всегда сопровождается нелинейными искажениями. К сожалению, вредную часть выходного сигнала отфильтровать невозможно, так как частота 2Ω близка к частоте Ω полезной части. В общем случае работа детектора может сопровождаться появлением не

только второй, но и более высоких гармоник сигнала.

При одновременной модуляции несущей двумя частотами Ω_1 и Ω_2 , когда

$$u(t) = U_0(1 + m_1 \cos \Omega_1 t + m_2 \cos \Omega_2 t) \cos \omega_0 t, \quad (10)$$

в выходном напряжении детектора, наряду с гармониками $2\Omega_1$ и $2\Omega_2$, возникают еще комбинационные частоты вида $\Omega_1 \pm \Omega_2$ с амплитудами, пропорциональными произведению парциальных коэффициентов модуляции m_1 и m_2 . При передаче сложных сигналов, содержащих большое число частот, гармоники и комбинационные частоты при глубокой модуляции сильно сказываются на разборчивости и тембре сигнала. Поэтому в тех случаях, когда требуется хорошее качество воспроизведения сигнала (речи, музыки и т.д.), применять квадратичное детектирование нецелесообразно.

Величина нелинейных искажений характеризуется *коэффициентом нелинейных искажений* κ , который в общем случае определяется выражением

$$\kappa = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} U_n^2} / U_1, \quad (11)$$

где U_n – амплитуда n -й гармоники. Для квадратичного детектирования из выражения (7) получаем $\kappa = m/4$. Отсюда следует, что для уменьшения искажений передатчик должен работать с малым коэффициентом модуляции m . Однако этот путь снижения искажений не является эффективным, так как связан с плохим использованием мощности передатчика.

Важнейшей характеристикой детектора является *коэффициент передачи* K . В случае тональной модуляции коэффициент передачи определяется как отношение амплитуды выходного сигнала на частоте модуляции Ω к амплитуде огибающей входного высокочастотного сигнала. В соответствии с этим определением для квадратичного детектора из (1) и (8) получаем:

$$K = \beta R_n U_0. \quad (12)$$

Отсюда видно, что при детектировании малых сигналов коэффициент передачи

детектора зависит от амплитуды несущего колебания.

2.2. Детектирование большого сигнала

Большим сигналом называется сигнал, амплитуда которого существенно превышает протяженность наиболее криволинейного участка вольт-амперной характеристики диода. На практике сигнал можно считать большим, если его амплитуда имеет величину порядка вольта и больше. При теоретическом анализе детектирования большого сигнала необходимо использовать такую аппроксимацию вольт-амперной характеристики диода, которая хорошо совпадала бы с фактической характеристикой в широком диапазоне напряжений. Аппроксимация степенным рядом потребовала бы большого числа членов и поэтому практически не пригодна. Удобнее пользоваться аппроксимацией в виде ломаной линии, показанной пунктиром на рис. 2.

Рассмотрим сначала реакцию детектора на немодулированный гармонический сигнал $u(t) = U_0 \cos \omega_0 t$. Такой режим характерен, в частности, для однополупериодного диодного выпрямителя. Графики напряжения на диоде и тока, текущего через диод, представлены на рис. 3. Выходное напряжение детектора $u_{\text{ВЫХ}}(t)$ представляет собой пульсирующую около среднего значения $u_{\text{ср}}$ функцию (рис. 3а). Это напряжения является отрицательным по отношению к диоду, т.е. действует на него в запирающем направлении. Поэтому ток через диод возможен только в промежутки времени τ , когда положительная полуволна $u(t)$ превышает напряжение $u_{\text{ВЫХ}}(t)$. Иными словами, ток через диод имеет форму импульсов, показанных на рис. 3б. В промежутках между импульсами тока, когда происходит разрядка конденсатора C_H через сопротивление R_H , напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$ убывает. А за времена τ подзарядки конденсатора напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$ возрастает. Если постоянная времени нагрузочной цепи $R_H C_H$ велика по сравнению с периодом колебаний $T = 2\pi/\omega_0$, т.е. если выполняется условие (5), то амплитуда пульсаций напряжения $u_{\text{ВЫХ}}$ мала и в первом приближении можно считать, что $u_{\text{ВЫХ}} \approx u_{\text{ср}}$.

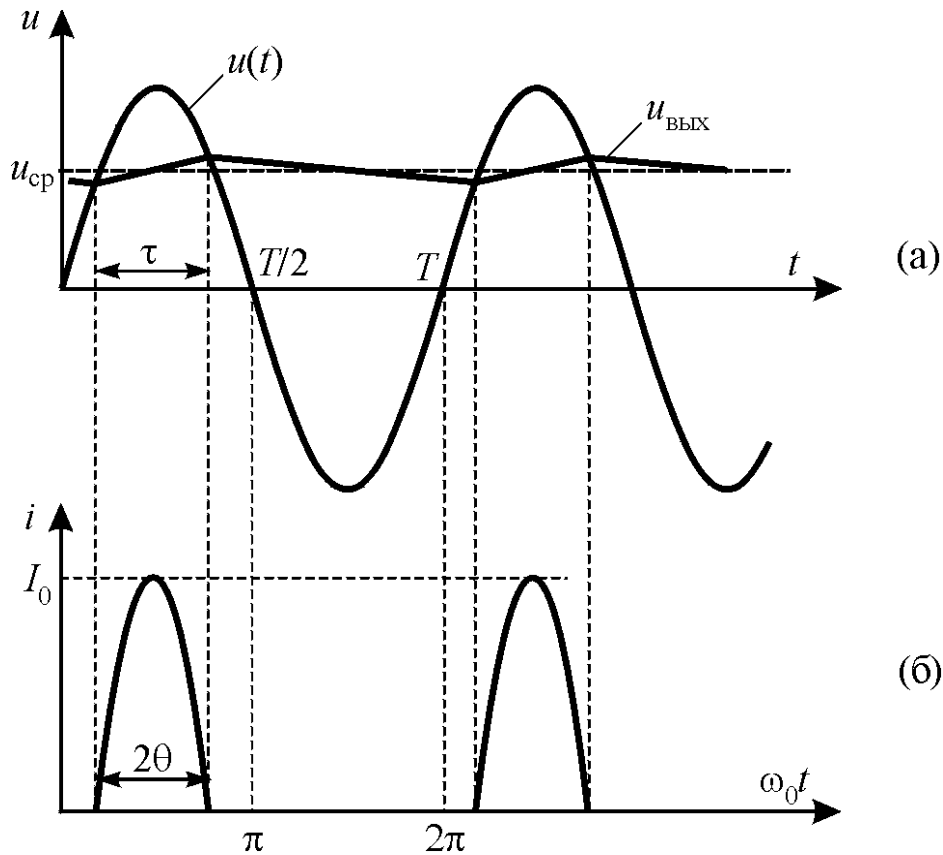


Рис. 3. Напряжение на диоде (а) и ток, текущий через диод (б)

При аппроксимации характеристики диода ломаной линией (рис. 2) мы предполагаем, что сопротивление диода в обратном направлении бесконечно большое, а в прямом – равно некоторой постоянной и небольшой величине R_i . Учитывая, что напряжение на нагрузке u_{cp} является по отношению к диоду "напряжением смещения", получаем, что амплитуда импульсов тока, текущего через диод в прямом направлении, равна $I_0 = (U_0 - u_{cp})/R_i$.

Важную роль при теоретическом анализе детектирования большого сигнала играет длительность импульсов тока через диод τ . Половина длительности импульсов тока, выраженная в угловых единицах, называется *углом отсечки*. Таким образом, угол отсечки равен

$$\theta = \frac{\tau/2}{T} \cdot 360^\circ. \quad (13)$$

При изменении напряжения u_{cp} от нуля до U_0 угол отсечки меняется от 90° до

нуля, причем всегда имеет место соотношение:

$$\cos \theta = \frac{u_{\text{ср}}}{U_0}. \quad (14)$$

Ток через диод можно записать следующим образом:

$$i = \begin{cases} \frac{U_0}{R_i} (\cos \omega_0 t - \cos \theta), & \text{если } \cos \omega_0 t > \cos \theta \\ 0, & \text{если } \cos \omega_0 t \leq \cos \theta \end{cases} \quad (15)$$

Отсюда можно найти среднее значение тока через диод $i_{\text{ср}}$ (т.е. постоянную составляющую тока):

$$i_{\text{ср}} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega_0 t) d(\omega_0 t) = \frac{U_0}{R_i} \cdot \frac{\sin \theta - \theta \cos \theta}{\pi}. \quad (16)$$

Выходное напряжение детектора $u_{\text{ср}}$ и постоянная составляющая тока $i_{\text{ср}}$ связаны соотношением:

$$u_{\text{ср}} = i_{\text{ср}} R_{\text{н}}. \quad (17)$$

Используя (14), (16) и (17), получаем уравнение

$$\frac{R_i}{R_{\text{н}}} = \frac{\text{tg} \theta - \theta}{\pi}, \quad (18)$$

из которого угол отсечки определяется однозначно через внутреннее сопротивление диода R_i и сопротивление нагрузки $R_{\text{н}}$. При этом предполагается, что условие (5) выполнено. Уравнение (18) является трансцендентным. Поэтому угол отсечки удобнее определять по графику, показанному на рис. 4. Рассмотрим два крайних случая: 1) $\theta \rightarrow 0$ и 2) $\theta \rightarrow 90^\circ$.

Первый случай реализуется, когда $R_i/R_{\text{н}} \rightarrow 0$, т.е. когда сопротивление нагрузки много больше внутреннего сопротивления диода. В этом случае, как следует из формулы (14), величина постоянного напряжения на выходе детектора приближается к амплитудному значению входного гармонического напряжения: $u_{\text{ср}} \rightarrow U_0$. Разлагая $\text{tg} \theta$ в ряд Тейлора до кубического члена, можно найти приближенное решение уравнения (18):

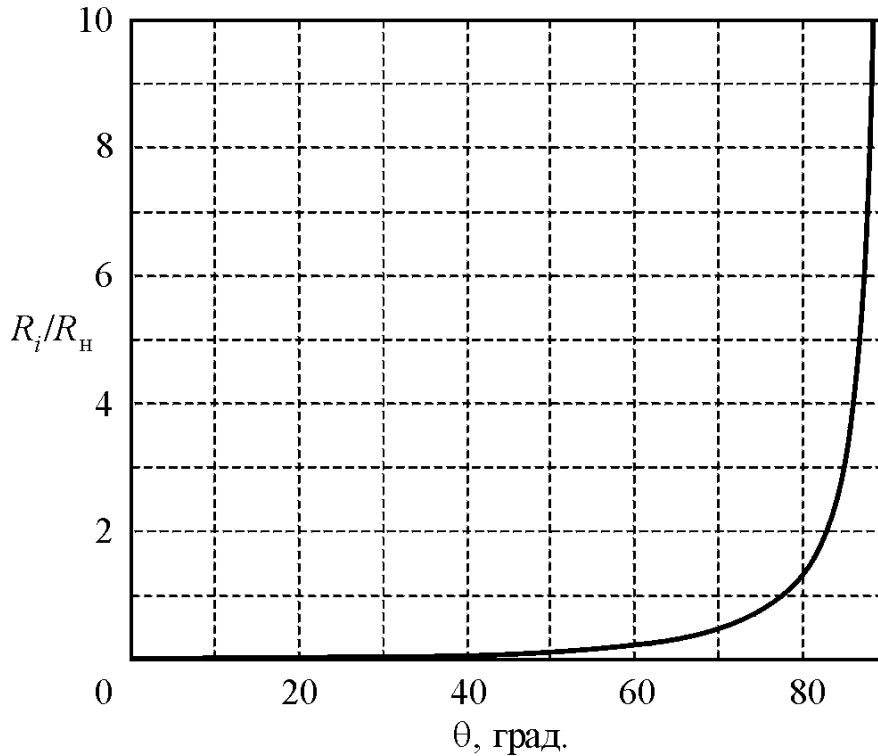


Рис. 4. График для определения угла отсечки

$$\theta \approx \sqrt[3]{3\pi \frac{R_i}{R_H}}. \quad (19)$$

Второй случай имеет место при $R_H \ll R_i$. Он соответствует режиму "короткого замыкания" нагрузки. При этом все переменное напряжение, действующее на входе детектора, оказывается приложенным к диоду, и ток последнего принимает форму полуволновых импульсов. Напряжение на нагрузке совпадает по форме с импульсами тока.

Из приведенных соображений ясно, что для получения на выходе детектора напряжения, близкого к амплитуде U_0 , угол отсечки должен быть сравнительно мал, а отношение R_H/R_i весьма велико. При $\theta \leq 20^\circ$ получим $u_{\text{ср}} > 0,9U_0$. Для получения такого режима работы требуется сопротивление нагрузки $R_H \approx 100R_i$.

Рассмотрим теперь детектирование большого сигнала при наличии модуляции. Соотношение (14) позволяет в случае тональной модуляции (1) записать выражение для выходного напряжения детектора в виде:

$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = U_0 \cos \theta + mU_0 \cos \theta \cos \Omega t. \quad (20)$$

Следовательно, при детектировании большого сигнала выходное напряжение содержит только постоянную составляющую $U_0 \cos \theta$ и полезную переменную составляющую $mU_0 \cos \theta \cos \Omega t$. Высшие гармоники сигнала в спектре выходного напряжения отсутствуют, поэтому коэффициент нелинейных искажений k в этом случае равен нулю.

Для коэффициента передачи детектора в режиме большого сигнала получаем:

$$K = \cos \theta. \quad (21)$$

Из соотношения (20) следует, что при детектировании большого сигнала связь между амплитудой выходного низкочастотного напряжения $mU_0 \cos \theta$ и амплитудой входного высокочастотного сигнала U_0 является линейной (в отличие от квадратичной зависимости (8) при детектировании малого сигнала). В этом смысле детектор, работающий в режиме большой амплитуды, называется *линейным детектором*. При этом надо понимать, что рассмотренный диодный детектор является принципиально нелинейным устройством. Однако эта нелинейность определяется формой характеристики диода не только в области прямых напряжений (где характеристика может быть достаточно близка к линейной), а на протяжении всей области действующих на диоде напряжений.

Чем сильнее выражена нелинейность вольт-амперной характеристики в целом, тем эффективнее осуществляется детектирование. При этом надо учитывать, что бывают случаи, когда наиболее нелинейный участок характеристики диода располагается не в начале координат, а соответствует небольшому положительному напряжению. В таких случаях для повышения эффективности детектирования (особенно малых сигналов) на диод, помимо переменного сигнала, подают еще напряжение смещения от внешнего источника, перемещающее рабочую точку в область наибольшей кривизны вольт-амперной характеристики (см. ниже упр. 4.3).

3. Экспериментальная установка

Упрощенная схема экспериментальной установки показана на рис. 5. В установке предусмотрено использование либо германиевого (ГД), либо кремниевого (КД) диода. Подключение выбранного диода к электрической схеме осуществляется переключателем "ТИП ДИОДА". Переключатель "ПОЛЯРНОСТЬ ДИОДА" позволяет изменять полярность включения диода. Высокочастотный модулированный по амплитуде сигнал, подлежащий детектированию, подается на вход детектора (клеммы 1,3) с генератора GFG-8219A. Изменение параметров нагрузки осуществляется переключателем "НАГРУЗКА", имеющим 11 положений. Для первых 10 положений конденсаторы C_H и резисторы R_H нагрузки подобраны так, чтобы постоянная времени цепи нагрузки была приблизительно одинаковой ($R_H C_H \approx 25 \text{ мкс}$) в любом положении переключателя. В 11-м положении нагрузка отсутствует; это положение используется для установки необходимой глубины модуляции. Значения C_H и R_H для каждого положения переключателя указаны в таблице на рис. 5.

Для подачи на диод постоянного напряжения смещения в установке имеется потенциометр R , подключенный к блоку питания установки. Напряжение с потенциометра R через небольшое сопротивление $r = 24 \text{ Ом}$ и нагрузку детектора подается на диод. Сопротивление r имеет величину существенно меньшую, чем используемые в установке сопротивления нагрузки. Поэтому наличие этого сопротивления на работе детектора практически не сказывается. Резистор r используется при измерении угла отсечки. В этом случае снимаемый с него сигнал предварительно усиливается широкополосным усилителем, входящим в установку, а затем подается на вход "У" осциллографа. Усилитель включается только при измерении угла отсечки. Во всех остальных упражнениях он должен быть выключен.

Помимо лабораторной установки, в задаче используются заводские приборы:

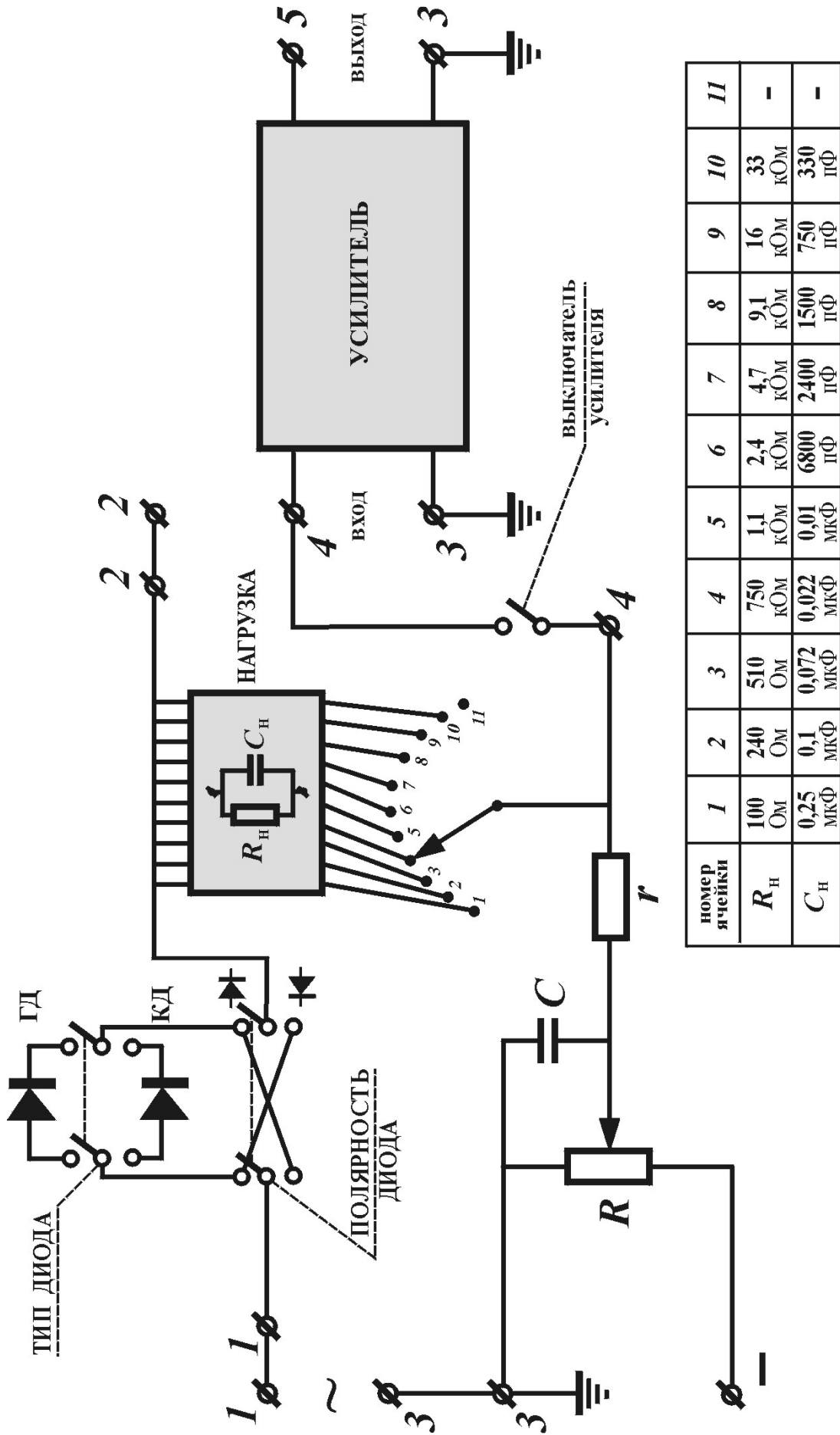


Рис. 5. Схема экспериментальной установки

- генератор гармонических колебаний GFG-8219A, в котором предусмотрен режим внутренней амплитудной модуляции гармоническим сигналом (тональная модуляция);
- вольтметр В7-26 для измерения постоянных напряжений;
- милливольтметр ВЗ-38А для измерения переменных напряжений;
- осциллограф G05-620.

4. Методика измерений и упражнения

Перед началом выполнения упражнений необходимо:

- внимательно ознакомиться с инструкцией по работе с генератором и осциллографом;
- рассчитать частоты $F = \Omega/2\pi$ и $f_0 = \omega_0/2\pi$, удовлетворяющие соотношению (5);
- измерить частоту модуляции и убедиться, что она удовлетворяет соотношению (5).

Упражнение 4.1. Исследование вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов

Переключатель "НАГРУЗКА" ставится в положение 1. В этом положении сопротивление нагрузки детектора $R_H = 100$ Ом. Вход детектора (клеммы 1,3) закорачивается. Напряжение на диод подается с потенциометра R . Вольтметром В7-26 измеряется постоянное напряжение на диоде (клеммы 1,2) и суммарное напряжение на диоде и на нагрузке (клеммы 1,4). Ток через диод определяется по известному сопротивлению нагрузки и напряжению на этом сопротивлении. Изменение полярности включения диода осуществляется тумблером "ПОЛЯРНОСТЬ ДИОДА".

Снять вольт-амперные характеристики для германиевого и кремниевого диодов в диапазоне напряжений на диоде от -1 В до +1 В. Результаты представить на одном графике.

*Упражнение 4.2. Исследование зависимости угла отсечки
от сопротивления нагрузки*

Угол отсечки определяется путем измерения периода следования импульсов тока через диод T и их длительности τ (рис. 3). Для этого используется небольшое сопротивление r , включенное последовательно с диодом. Падение напряжения на этом сопротивлении пропорционально току, текущему через диод. Снятый с сопротивления r и усиленный сигнал наблюдается на осциллографе. С помощью миллиметровой шкалы на экране осциллографа измеряется отношение τ/T и по формуле (13) рассчитывается угол отсечки θ .

Вывести потенциометр R в крайнее левое положение (нулевое смещение на диоде). Настроив генератор GFG-8219A на частоту 300 кГц по индикатору прибора и установить с помощью осциллографа амплитуду напряжения на его выходе $U_0 = 0,5$ В. Подать сигнал с генератора на вход детектора (клеммы 1,3). Включить усилитель тумблером. Сигнал с выхода усилителя (клеммы 5,3) подать на вход "Y" осциллографа. Измерения угла отсечки провести для германиевого диода для первых десяти положений переключателя "НАГРУЗКА". Результат представить в виде графика $\theta(R_H)$. Для сопротивлений нагрузки, равных 100 Ом, 240 Ом и 510 Ом, рассчитать по формуле (18) величину сопротивления диода R_i . Для каждого значения R_i изобразить на графике, полученном в упр. 3.1, аппроксимирующую ломаную линию.

*Упражнение 4.3. Исследование зависимости коэффициента
передачи от режима работы диода*

Высокочастотный тонально модулированный сигнал от генератора GFG-8219A подается на вход детектора (клеммы 1,3). На выходе детектора (клеммы 2,3) низкочастотное напряжение измеряется милливольтметром

ВЗ-38А. При обработке результатов измерений необходимо учесть, что шкала милливольтметра проградуирована в эффективных значениях напряжения.

Установка необходимой глубины модуляции производится с помощью осциллографа. Для этого надо отключить детектор, поставив переключатель "НАГРУЗКА" в 11-е положение, а напряжение на вход осциллографа подать с дублирующих клемм 1,3. Включив режим внутренней амплитудной модуляции генератора и уменьшив глубину модуляции до нуля, установить заданную величину амплитуды несущей U_0 . Лишь после этого следует установить необходимую глубину модуляции, не меняя амплитуды несущей.

При исследовании зависимости коэффициента передачи детектора от напряжения смещения на диоде необходимая величина смещения задается потенциометром R . Напряжение смещения измеряется вольтметром В7-26 на клеммах 2,3 при закороченном входе детектора и отсоединенном генераторе.

а) Выключить усилитель тумблером. Поставить потенциометр R в крайнее левое положение. На вход детектора подать высокочастотный модулированный сигнал ($f_0 = 300$ кГц) с амплитудой напряжения $U_0 = 0,5$ В и глубиной модуляции $m = 50\%$. Измерить зависимость коэффициента передачи детектора с германиевым диодом от сопротивления нагрузки R_H для первых 8-ми положений переключателя "НАГРУЗКА". Результаты оформить в виде графика. Пользуясь полученной ранее зависимостью $\theta(R_H)$ (упр. 4.2) и соотношением (21), рассчитать коэффициент передачи и результаты расчета нанести на тот же график.

б) Установить сопротивление нагрузки детектора равным $R_H = 2,4$ кОм и глубину модуляции $m = 50\%$. Для той же частоты несущей $f_0 = 300$ кГц снять зависимость коэффициента передачи детектора с германиевым диодом от амплитуды входного высокочастотного сигнала. Амплитуду U_0 изменять в пределах $0,1 \div 1$ В. Результаты представить в виде графика.

в) Установить нагрузку детектора с сопротивлением $R_H = 2,4$ кОм, глубину модуляции $m = 50\%$, амплитуду высокочастотной несущей $U_0 = 0,2$ В, ее частоту $f_0 = 300$ кГц. Отсоединить осциллограф и включить кремниевый диод. Тумблер "ПОЛЯРНОСТЬ ДИОДА" поставить в левое положение. Снять зависимость коэффициента передачи детектора с кремниевым диодом от величины постоянного напряжения смещения на диоде. Напряжение смещения изменять в диапазоне $0 \div 0,7$ В. Результаты представить в виде графика.

5. Контрольные вопросы

1. Что такое детектирование, где и для чего оно применяется?
2. Почему детектирование нельзя осуществлять с помощью линейных элементов?
3. Из каких соображений выбираются параметры нагрузки детектора?
4. Какой смысл вкладывается в понятия "линейное детектирование" и "квадратичное детектирование"?
5. Каковы особенности линейного и квадратичного детектирования? Достоинства и недостатки.
6. Что такое угол отсечки, коэффициент нелинейных искажений и коэффициент передачи амплитудного детектора?
7. Как зависит амплитуда выходного сигнала детектора от сопротивления нагрузки и угла отсечки?
8. Как зависит коэффициент передачи от амплитуды несущей в режиме малого и большого сигнала?
9. Объяснить на основе графика из упр. 4.1 различие в рассчитанных значениях сопротивления R_i .
10. Нарисовать качественную зависимость коэффициента передачи от

напряжения смещения для германиевого диода. Объяснить отличие этой кривой от графика, полученного в упр. 4.3в.

Литература

1. Основы радиофизики. Под ред. А.С.Логгинова. М., УРСС, 1996.
2. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. М., Радио и связь, 1985.
3. Радиоприемные устройства. Под ред. В.И.Сифорова. М., Сов. радио, 1974.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1.	Введение	1
2.	Теория	2
	2.1. <i>Детектирование малого сигнала</i>	3
	2.2. <i>Детектирование большого сигнала</i>	7
3.	Экспериментальная установка	12
4.	Методика измерений и упражнения	14
5.	Контрольные вопросы	17
	Литература	18