

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

Изучение процесса детектирования

Детектирование - процесс восстановления модулирующего сигнала, являющийся процессом, обратным модуляции.

Уравнение модулированных по амплитуде колебаний имеет вид:

$$u_{ам} = U_{1m}(1 + m\cos\Omega t)\sin\omega t, \quad (1)$$

где m - коэффициент модуляции.

Уравнению (1) соответствует временное представление АМ колебаний, изображенное на рис.1.

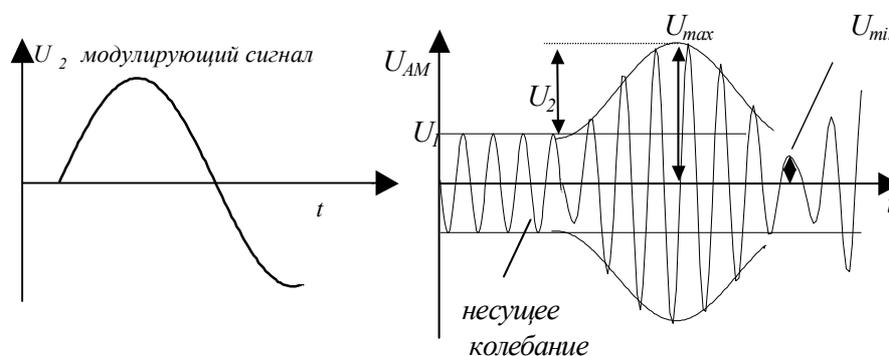


Рис. 1. Временное представление АМ колебаний.

Путем простых тригонометрических преобразований уравнение (1) может быть представлено в виде:

$$u_{ам} = U_{1m} \sin\omega t + \frac{m}{2} U_{1m} \sin(\omega - \Omega)t + \frac{m}{2} U_{1m} \sin(\omega + \Omega)t, \quad (2)$$

Из этого уравнения следует, что модулированные по амплитуде гармоническим током частоты Ω колебание высокой частоты представляет собой сумму трех колебаний. Составляющая частоты ω имеет амплитуду U_{1m} и называется колебанием несущей частоты, а составляющие частот $\omega + \Omega$ и $\omega - \Omega$ имеют амплитуду $\frac{m}{2} U_{1m}$ и называются колебаниями верхней и нижней частот.

Уравнению (2) соответствует спектральное представление модулированных колебаний, выраженное на рис.2.

В результате детектирования АМ сигнала происходит процесс преобразования АМ сигнала в напряжение, соответствующее огибающей сигнала. Так как модулированное колебание описывается соотношением:

$$u_{ам} = U_{1m}(1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t ,$$

детектированием является процесс выделения составляющей:

$$u_x = U_{2m} \cos \Omega t ,$$

Рассмотрим процесс детектирования на основе использования нелинейного элемента с характеристикой, описываемой полиномом 2-й степени.

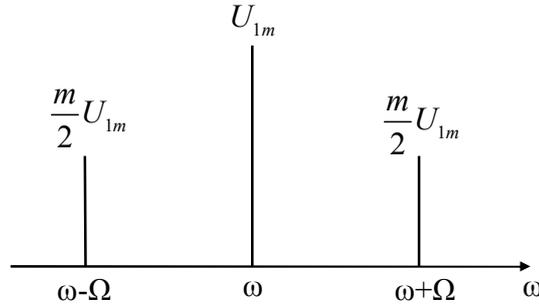


Рис. 2. Спектральное представление АМ колебаний.

Считаем, что входное напряжение равно $u_{ам} = U_m \sin \omega t$.

В этом случае ток, протекающий через нелинейный элемент, равен:

$$i = a_0 + a_1 U_m \sin \omega t + a_2 U_m^2 \sin^2 \omega t = a_0 + a_1 U_m \sin \omega t + \frac{a_2 U_m^2}{2} - \frac{a_2 U_m^2}{2} \cos 2\omega t .$$

Составляющие высоких частот ω и 2ω лишние и отфильтровываются в схеме детектора. Нас интересуют составляющие $i_d = a_0 + \frac{a_2 U_m^2}{2}$.

Если бы амплитуда U_m была постоянной, то и ток i_d - постоянный. В этом случае схема играет роль выпрямителя. Однако амплитуда

$$u_m = U_{1m}(1 + m \cos \Omega t) ,$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} i_d &= a_0 + \frac{a_2 U_m^2}{2} (1 + 2m \cos \Omega t + m^2 \cos^2 \Omega t) = \\ &= a_0 + \frac{a_2 U_{1m}^2}{2} + a_2 m U_{1m}^2 \cos \Omega t + \frac{a_2 m^2 U_{1m}^2}{4} + \frac{a_2 U_{1m}^2 m^2}{4} \cos 2\Omega t \end{aligned}$$

Таким образом, ток детектора содержит постоянную составляющую:

$$i_0 = a_0 + \frac{a_2 U_{1m}^2}{2} + \frac{a_2 m^2 U_{1m}^2}{4}$$

и переменные низкочастотные составляющие:

$$i_{\sim} = a_2 m U_{1m}^2 \cos \Omega t + \frac{a_2 U_{1m}^2 m^2}{4} \cos 2\Omega t .$$

Первая составляющая является полезной, а вторая составляющая с частотой 2Ω вызывает нелинейные искажения.

В связи с тем, что амплитуда частоты Ω пропорциональна квадрату амплитуды несущей частоты U_{1m}^2 , подобное детектирование носит название квадратичного. Диаграмма работы квадратичного детектора приведена на рис.3.

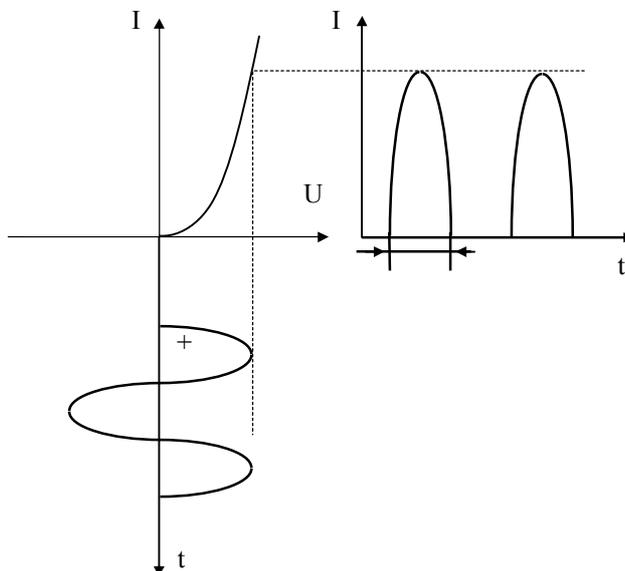


Рис. 3. Диаграмма работы квадратичного детектора.

Недостатком квадратичного детектирования является большой коэффициент нелинейных искажений γ , зависящий от коэффициент модуляции m АМ колебания ($\gamma = \frac{m}{4}$) и достигающий значения $\gamma = 0,25$ при $m=1$.

В том случае, если на вход детектора поступает АМ сигнал с большой амплитудой, пренебрегают квадратичным участком характеристики и используют кусочно - линейную аппроксимацию.

При такой аппроксимации ток, протекающий через нелинейный элемент, принимает вид остроконечных импульсов, возникающих при положительных значениях модулированного напряжения.

Амплитуда импульсов $I_{a \text{ max}}$ пропорциональна амплитуде АМ колебания. Поэтому постоянная составляющая тока детектора также пропорциональна амплитуде АМ колебаний. В силу такой зависимости подобный детектор называется линейным. В случае линейного детектирования значительно снижены нелинейные искажения. Большинство детекторов в зависимости от амплитуды сигналов являются квадратичными при малых сигналах и линейными - при больших.

Как следует из анализа работы детектора, в цепи нелинейного элемента протекают токи различных частот. Колебания требуемой частоты можно выделить с помощью RC-фильтра.

Элементы R и C фильтра выбираются таким образом, чтобы постоянная времени удовлетворяла следующему соотношению:

$$\frac{2\pi}{\omega} \ll RC \ll \frac{2\pi}{\Omega} .$$

Так как частоты ω и Ω сильно различаются, выполнение условия не вызывает затруднения. Наиболее часто используется последовательная схема диодного детектора.

В последовательной схеме через нагрузку может протекать постоянная составляющая, а высокочастотная - нет. В схеме последовательного диодного детектора нагрузочное сопротивление R включено последовательно с диодом. При работе детектора на сопротивлении выделяется переменное напряжение низкой частоты, а также постоянная составляющая. Для того, чтобы воспрепятствовать попаданию постоянной составляющей на следующие каскады, включается разделительный конденсатор C , емкость которого должна быть ~ 1000 пФ для того, чтобы он хорошо пропускал напряжение звуковой частоты.

В параллельной схеме нагрузочное сопротивление включено параллельно диоду. В этом случае конденсатор C препятствует протеканию постоянной составляющей через нагрузку, однако к R приложено высокочастотное напряжение, присутствующее на нагрузке.

Диодный детектор позволяет получить высокое качество сигнала (малые линейные искажения) и используется в большинстве радиовещательных приемников, однако не позволяет получить усиление сигнала, что является его самым основным недостатком. Этот недостаток устранен в схемах детекторов на транзисторе.

Выводы

1. Для детектирования АМ колебаний необходимо использование нелинейного элемента. При использовании квадратичного участка характеристики, описываемой полиномом 2-й степени, осуществляется квадратичное детектирование, при котором амплитуда частоты Ω пропорциональна квадрату амплитуды несущей частоты U_m^2 . При использовании характеристики, описываемой кусочно-линейной аппроксимацией, осуществляется линейное детектирование. При линейном детектировании амплитуда частоты Ω пропорциональна амплитуде несущей частоты U_m .
2. Линейное детектирование позволяет получить значительно меньшие искажения, чем квадратичное.
3. В цепи детектора должен быть включен фильтр, выделяющий огибающую АМ колебания с частотой Ω . В качестве такого фильтра используется RC-цепь.
4. Транзисторный детектор, наряду с процессом детектирования, позволяют осуществить и усиление выделенной частоты.

ХОД РАБОТЫ

1. Ознакомиться с устройством и органами управления генератора амплитудно-модулированных колебаний (Г4-18, ГСС-6), осциллографа и высокочастотного вольтметра.
2. Подать амплитудно-модулированный сигнал U_{AM} на вход осциллографа и добиться устойчивой картины на экране для различных коэффициентов модуляции.
3. Собрать схему для изучения работы диодного детектора, подключить на вход детектора генератор, а на выход детектора- осциллограф.
4. Рассчитать элементы фильтра R и C для различных частот несущей.
5. Определить коэффициент передачи на этих частотах.
6. Снять зависимость $U_{\Omega} = f(U_{AM})$ с помощью милливольтметра ВЗ-33.
7. На зависимости $U_{\Omega} = f(U_{AM})$ выделить участки квадратичного и линейного режимов.

Высокочастотный трансформатор необходим для связи с детектором и для создания замкнутой цепи для постоянной составляющей тока детектора.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Спектр и временная диаграмма амплитудно-модулированных колебаний.
2. Почему в детекторе амплитудно-модулированных колебаний необходимо использовать нелинейный элемент?
3. Изобразить диаграммы работы линейного и квадратичного детекторов. В чем их различие?
4. Из каких соображений выбираются элементы R и C фильтра детектора?