

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

Амплитудный модулятор

Цель работы: исследовать способ получения амплитудно-модулированного сигнала с помощью полупроводникового диода.

Управление амплитудой высокочастотных колебаний называется амплитудной модуляцией (АМ).

В процессе АМ происходит изменение амплитуды напряжения несущей частоты $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$ в соответствии с законом изменения модулирующей частоты $u_2 = U_{2m} \cos \Omega t$ ($\omega \gg \Omega$).

Уравнение модулированных по амплитуде колебаний имеет вид:

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

где m - коэффициент глубины модуляции,

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

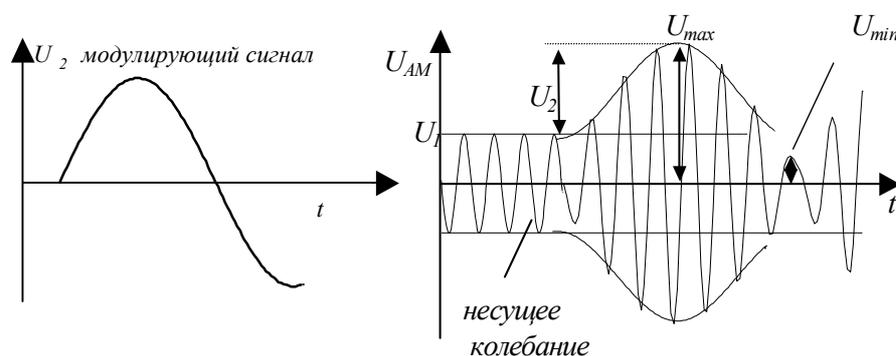


Рис. 1. Временное представление АМ колебаний.

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

$$u_{AM} = U_m \sin \omega t + \frac{m}{2} U_m \sin(\omega - \Omega)t + \frac{m}{2} U_m \sin(\omega + \Omega)t \quad (2)$$

Из этого уравнения следует, что модулированное по амплитуде гармоническим током частоты Ω колебание высокой частоты представляет собой сумму 3-х 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 боковых частот.

Уравнению 2 соответствует спектральное представление модулированных колебаний, изображенное графически на рис. 2.

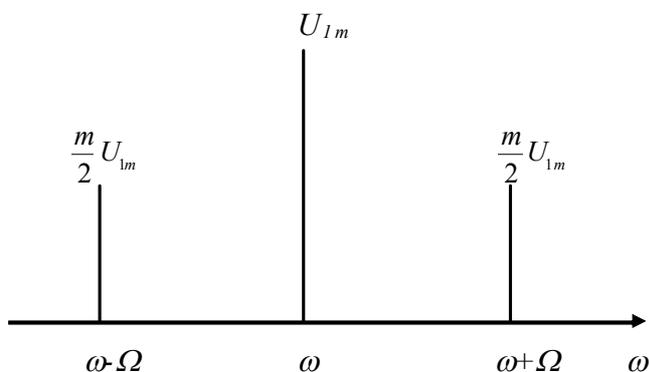


Рис. 2. Спектральное представление АМ колебаний.

При модуляции высокочастотных колебаний спектром частот возникают верхняя и нижняя боковые полосы частот (рис.2.). Ширина спектра АМ колебания определяется наивысшим значением частоты модулирующего сигнала и равна $2\Omega_{\max}$.

Практически амплитудная модуляция может осуществляться действием высоко-частотного модулирующего напряжения на нелинейный элемент либо на специальный усилитель высокочастотных колебаний, называемый модулируемым усилителем.

Предположим, что к нелинейному элементу (полупроводниковый диод) приложено напряжение несущей частоты $u_1=U_{1m}\sin\omega t$ и модулирующее напряжение $u_2=U_{2m}\cos\Omega t$. Рассмотрим процесс АМ с помощью нелинейного элемента с характеристикой, описываемой полиномом 2-ой степени.

В этом случае суммарное напряжение $u=u_1+u_2$ воздействует на нелинейный элемент, и ток, протекающий через элемент, определится соотношением:

$$i=a_0+a_1(U_{1m}\sin\omega t+U_{2m}\cos\Omega t)+a_2(U_{1m}^2\sin^2\omega t+2U_{1m}U_{2m}\sin\omega t\cos\Omega t+U_{2m}^2\cos^2\Omega t). \quad (3)$$

Т.к. нагрузкой является колебательный контур, он выделяет из нескольких составляющих тока, протекающего через нелинейный элемент те, которые выражаются слагаемыми со множителем ω :

$$i=a_1 U_{1m} \sin \omega t + a_2 2 U_{1m} U_{2m} \sin \omega t \cos \Omega t = \\ = a_1 U_{1m} \left(1 + \frac{2a_2}{a_1} U_{2m} \cos \Omega t \right) \sin \omega t = I_{1m} (1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t, \quad (4)$$

где $I_{1m} = a_1 U_{1m}$ - амплитуда первой гармоники тока,

$m = \frac{2a_2}{a_1} U_{2m}$ - коэффициент модуляции

Напряжение на контуре U_k определится произведением тока первой гармоники i_{a1} и входного сопротивления контура $R_{вх}$ для этой гармоники:

$$u_k = i_{a1} R_{вх} = I_{1m} R_{вх} (1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t = U_m (1 + m \cos \Omega t) \sin \omega t, \quad (5)$$

где $U_m = I_{1m} R_{вх}$.

Сопоставляя полученное выражение с исходным, можно сделать вывод о том, что оно соответствует АМ колебанию.

ВЫВОД

1. АМ возможна, если характеристика нелинейного элемента описывается полиномом 2-ой степени (квадратичная характеристика).

2. Спектр АМ колебаний получается за счет умножения двух функций $1 + m \cos \Omega t$ и $\sin \omega t$. Следовательно, процесс АМ заключается в перемножении входных напряжений, имеющих несущую частоту ω и частоту модулирующего сигнала Ω . Этот эффект дает квадратичный член $a_2 u^2$ характеристики усилителя.

3. В спектре тока, протекающего через нелинейный элемент, содержится много составляющих. Число их зависит от числа членов в аппроксимирующем полиноме. Поэтому нагрузкой усилителя должен быть фильтр (колебательный контур) с полосой пропускания, равной ширине спектра АМ колебания.

Ограничивая рабочую область характеристики ее нижним изгибом (квадратичный участок), нельзя получить большую колебательную мощность и высокий КПД. Более выгодные энергетические соотношения получаются, если усилительный элемент работает с отсечкой выходного тока (рис.3). В этом случае

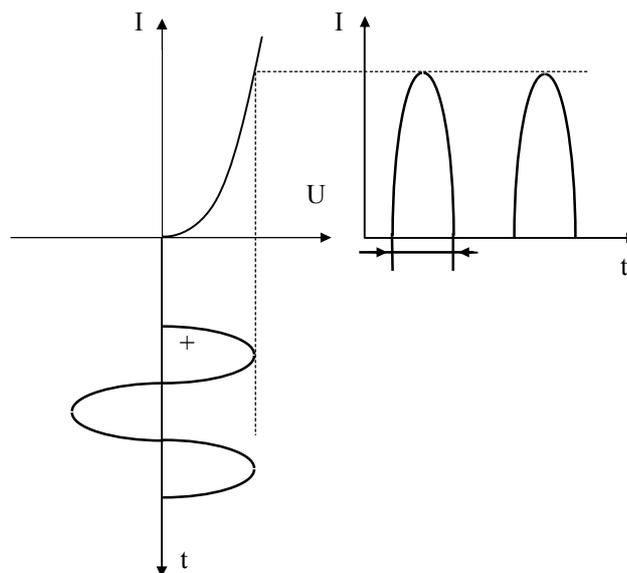


Рис. 3. Диаграмма работы диодного модулятора.

рабочая точка выбирается так, что в определенные моменты времени лампа оказывается запертой (отсечка анодного тока).

При модуляции сеточным смещением (сеточной модуляции) форма огибающей несколько отличается от формы модулирующего напряжения. Искажения могут быть сделаны достаточно малыми при правильном выборе положения рабочей точки и ее перемещении под действием модулирующего напряжения и при работе с небольшим коэффициентом модуляции ($0,4 \div 0,5$).

Несмотря на то, что модулируемый усилитель работает в нелинейном режиме, подобная сеточная модуляция может рассматриваться как линейный параметрический процесс, так как эффект модуляции является результатом изменения средней крутизны при постоянной амплитуде высокочастотного напряжения.

Кроме сеточной модуляции управлять средней крутизной можно путем изменения напряжения на других электродах лампы: на аноде (анодная модуляция), на экранирующей или защитной сетках. Анодная модуляция позволяет получить более энергетические параметры, меньшие искажения и большую глубину модуляции.

Транзисторы также с успехом используются для осуществления АМ. При использовании транзисторов АМ может быть получена путем подачи модулирующего напряжения на базу, либо путем подачи модулирующего напряжения на коллектор. В обеих схемах нелинейным элементом служит *p-n-p* транзистор. Процессы в схемах модуляции, выполненных на транзисторах, принципиально не отличаются от процессов в ламповых схемах, поэтому вышеизложенный материал остается справедливым и для транзисторных схем.

АМ широко распространена в радиовещании. Недостатком АМ является необходимость излучения двух боковых полос и несущей, так как информация, содержащаяся в боковых полосах, одинакова, нет необходимости передавать несущую и одну из боковых полос. Подобный вид модуляции носит название однополосной. При однополосной модуляции несущая частота подавляется в передатчике, не передается и восстанавливается на месте приема. Подобный вид модуляции (SSB) энергетически очень выгоден, но приемные устройства оказываются очень сложными и не могут использоваться в радиовещании.

ХОД РАБОТЫ.

1. Собрать схему для получения амплитудно-модулированного сигнала (рис. 4). В качестве источника модулирующего сигнала и сигнала несущей частоты используются два генератора FG7005.

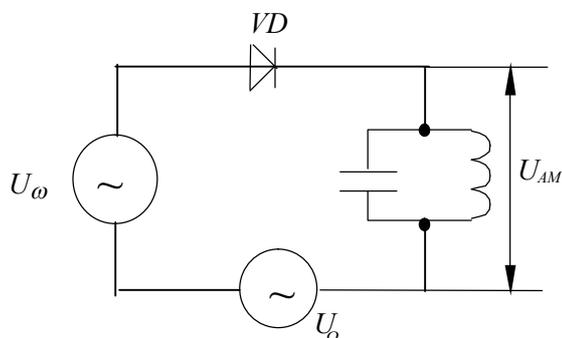


Рис. 4 Схема устройства для получения АМ сигнала.

2. Не включая генератора модулирующего сигнала снять зависимость амплитуды выходного сигнала $U_{\text{вых}} = f(f_{\text{нес}})$, снимаемого с контура, от частоты несущей (частоту несущей изменять с интервалом 5 кГц), амплитуду выходного сигнала определить с помощью осциллографа.

3. Построить график зависимости амплитуды выходного сигнала от частоты несущей ($U_{\text{вых}} = f(f_{\text{нес}})$).

4. Установить частоту несущей соответствующую максимуму графика $U_{\text{вых}} = f(f_{\text{нес}})$, частоту модулирующего сигнала равную 1000 Гц и снять зависимость коэффициента модуляции m от амплитуды модулирующего сигнала (амплитуду модулирующего сигнала менять в пределах от 0 до 2 В).

5. Коэффициент модуляции определять с помощью соотношения:

$$m = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}}.$$

6. Снять зависимость коэффициента модуляции от частоты модулирующего сигнала (частоту модулирующего сигнала изменять в пределах от 1 до 40 кГц, амплитуду модулирующего сигнала установить 2 В).

Контрольные вопросы

1. Как объяснить характер зависимости амплитуды выходного сигнала от частоты генератора несущей?
2. Как меняется спектр АМ сигнала при изменении частоты модулирующего сигнала?
3. Как выглядит график зависимости коэффициента модуляции m от частоты модулирующего сигнала при использовании идеального полосового фильтра?