

Лекция №11.

Амплитудный модулятор и детектор ([1] стр. 242-247, 252-257)

I. Амплитудный модулятор

Амплитудным модулятором называется устройство, на входе которого действует модулирующий сигнал и несущее колебание а на выходе формируется АМ- колебание.

Ниже на рисунке 11.1 представлены структурная и принципиальная схемы амплитудного модулятора.

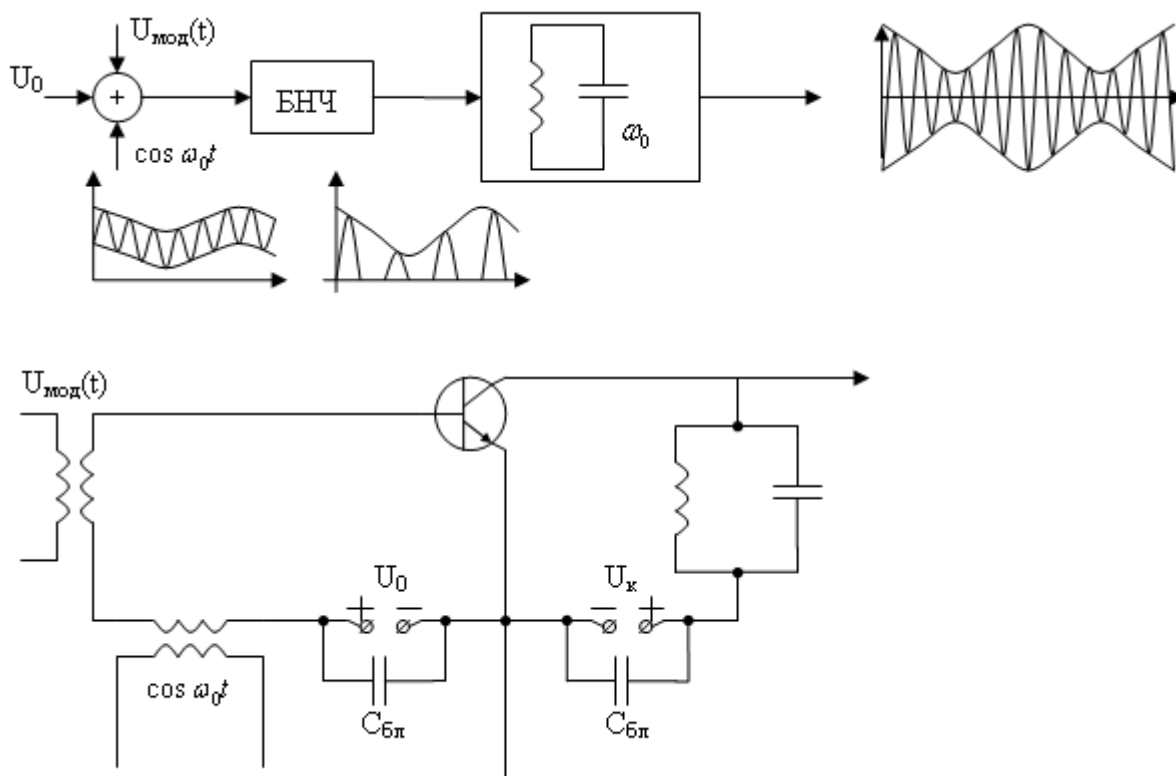


Рис.11.1

Амплитудный модулятор состоит из трех устройств: сумматора, нелинейного элемента и колебательного контура. На сумматоре складываются модулирующий сигнал, несущее колебание и постоянное напряжение. Постоянное напряжение обеспечивает положение входного сигнала на нелинейном участке ВАХ нелинейного элемента. В качестве нелинейного элемента обычно используют транзистор. Его назначение заключается в искажении входного сигнала, в результате которого в спектре коллекторного тока, протекающего через нелинейный элемент, появляются дополнительные гармоники, необходимые для формирования АМ-колебания. Вы уже знаете из лекций 9 и 10, что в результате нелинейного искажения входного сигнала в спектре коллекторного тока, появляются и гармоники, которые не участвуют в формировании АМ-колебания. Поэтому в качестве нагрузки в модуляторе используется колебательный контур, резонансная частота которого совпадает с несущей частотой. Благодаря этому на выходе модулятора (на колебательном контуре) формируется АМ- колебание.

Рассмотрим два режима работы амплитудного модулятора: квадратичный режим и режим с отсечкой.

Квадратичный режим нелинейного элемента

Проанализируйте по материалам лекции 9 пример преобразования бигармонического сигнала на квадратичном участке.

Из решения этого примера мы получили, что коэффициент глубины модуляции $M = \frac{2a_2 E_1}{a_1}$

a_2 – коэффициент при квадратичном члене ВАХ

a_1 – коэффициент при линейном члене ВАХ

E_1 – амплитуда модулирующего сигнала.

Коэффициент глубины модуляции линейно зависит от амплитуды модулирующего сигнала.

Недостатки:

1. квадратичный участок ограничен на ВАХ и из-за этого модулятор работает со слабыми сигналами.
2. обычно $a_2 < a_1$ следовательно можно получить АМ колебания с небольшими значениями M .
3. при увеличении амплитуды модулирующего сигнала входной сигнал может выйти за пределы квадратичного участка ВАХ, и это приведет к появлению дополнительных паразитных гармоник в спектре АМ колебания и к искажению формы огибающей.

Амплитудный модулятор в режиме с отсечкой.

Проанализируйте по материалам лекции 10 пример преобразования бигармонического сигнала в режиме с отсечкой.

Из решения этого примера можно судить о достоинствах и недостатках режима с отсечкой.

Достоинства:

1. Возможность подачи на вход больших сигналов.
2. Возможность получения $M \approx 1$ Коэффициент глубины модуляции зависит от отношения $M = \frac{I_1}{I_0}$. В свою очередь амплитуда тока I_1 пропорциональна амплитуде модулирующего сигнала E_1 .

Недостатки:

Для качественной модуляции в этом режиме надо, чтобы отсечка осуществлялась только по высокочастотной составляющей входного сигнала, а его огибающая попадала на линейный участок ВАХ. Иначе в спектре выходного сигнала будут появляться дополнительные – паразитные гармоники. Это вызвано искажением низкочастотной составляющей входного сигнала. Тогда коллекторный ток можно приближенно описать выражением (см. лекцию 10)

$$I(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_0 A_n \cos(n\omega_0 t) + \frac{I}{2} \sum_{n=0}^{\infty} A_n I_1 \cdot \cos(n\omega_0 t \pm \Omega t).$$

Если же параметры входного сигнала подобраны так, что осечка осуществляется по высокочастотной и низкочастотной составляющей входного сигнала (см. рис. 11.2), то коллекторный ток, используя методику лекции 10, можно приближенно описать выражением

$$I(t) \approx I_0 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t) + \sum_{k=0}^{\infty} I_k \cos k\Omega t \cdot \sum_{n=0}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t)$$

$$I(t) \approx \sum_{n=0}^{\infty} I_0 A_n \cos(n\omega_0 t) + \frac{I}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_n I_k \cdot \cos(n\omega_0 t \pm k\Omega t)$$

Ниже, приведен рисунок 11.2, иллюстрирующий причину появления паразитных гармоник при отсечке по высокочастотной и низкочастотной составляющей, попадающих в полосу пропускания колебательного контура и, следовательно, искажающих выходной сигнал

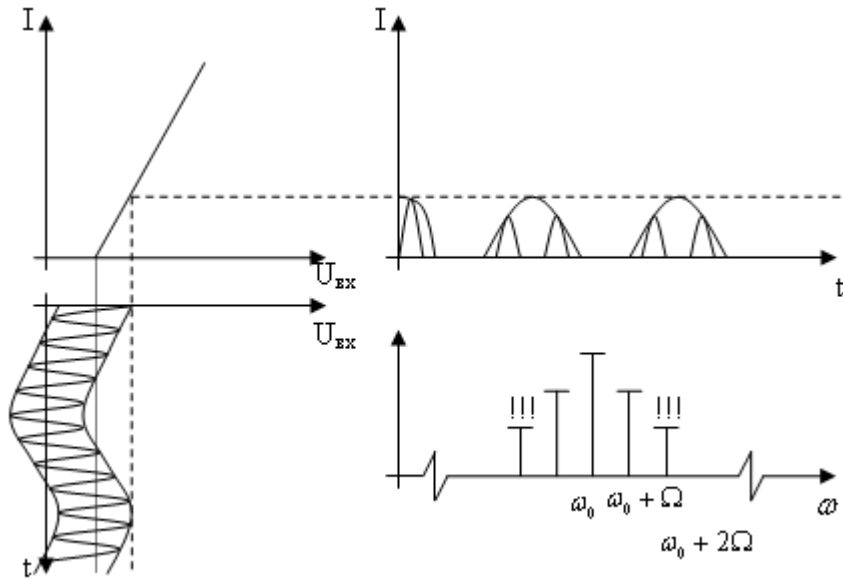


Рис.11.2

II. Балансный модулятор.

Балансный модулятор реализуется на схеме перемножения двух сигналов и является более сложным устройством, чем амплитудный модулятор на транзисторе.

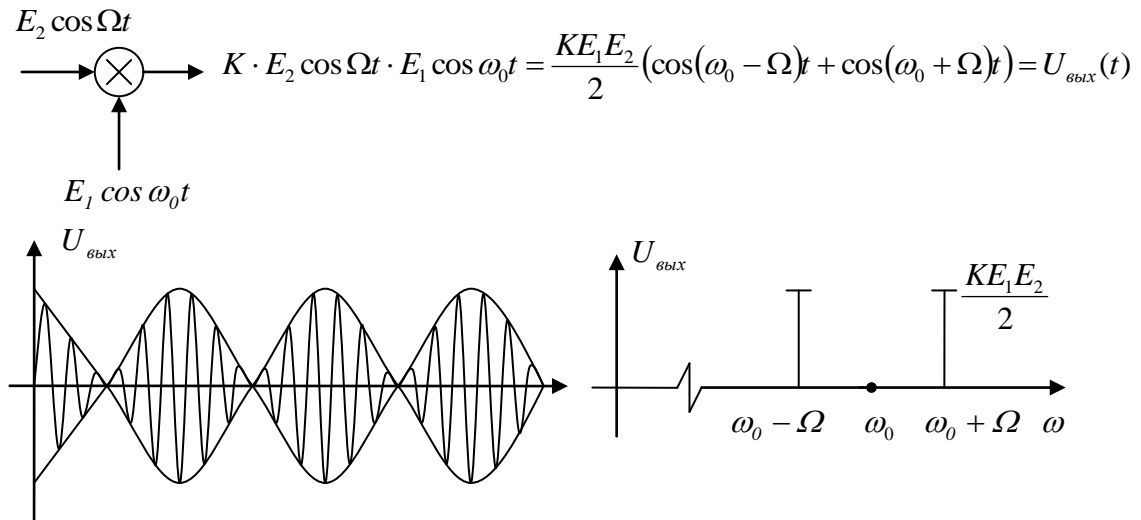


Рис.11.3

На рисунке приведена осциллограмма и спектрограмма сигнала, получаемого на выходе балансного модулятора при балансной модуляции.

Детектор, выделяющий огибающую из балансно-модулированного сигнала также является более сложным устройством. Однако, при балансной модуляции не тратится энергия на передачу неинформативной несущей гармоники.

III. Амплитудные детекторы.

Амплитудные детекторы – устройства, на входе которых АМ колебания, а на выходе – сигнал, повторяющий форму огибающей входного сигнала.

Структурная и принципиальная схемы амплитудного детектора приведены на рисунке 11.4.

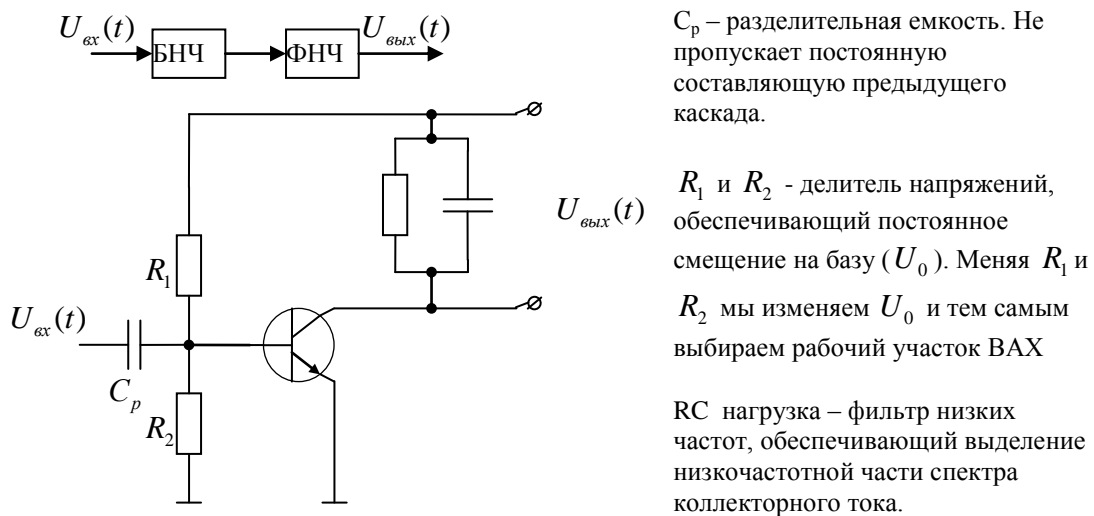


Рис. 11.4

Амплитудный детектор состоит из трех устройств: делителя напряжений, нелинейного элемента и фильтра низких частот. Постоянное напряжение, формируемое делителем

напряжений, обеспечивает положение входного сигнала на нелинейном участке ВАХ нелинейного элемента. В качестве нелинейного элемента обычно используют транзистор. Его назначение заключается в искажении входного сигнала, в результате которого в спектре коллекторного тока, протекающего через нелинейный элемент, появляются дополнительные низкочастотные гармоники, необходимые для формирования выходного сигнала. Вы уже знаете из лекций 9 и 10, что в результате нелинейного искажения входного сигнала в спектре коллекторного тока, появляются и высокочастотные гармоники, которые не участвуют в формировании выходного сигнала. Поэтому в качестве нагрузки в детекторе используется RC нагрузка – фильтр низких частот, обеспечивающий выделение низкочастотной части спектра коллекторного тока. Благодаря этому на выходе детектора (на RC нагрузке) формируется сигнал, повторяющий форму огибающей входного сигнала.

Рассмотрим два режима работы амплитудного детектора: квадратичный режим и режим с отсечкой

Квадратичный режим АД

Пусть $U_{\text{вх}}(t) = U_0 + E(1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$. Рабочий участок аппроксимируется квадратичной функцией, то есть функция, аппроксимирующая рабочий участок ВАХ, задана формулой $i(t) = a_0 + (U_{\text{вх}}(t) - U_0) \cdot a_1 + a_2 (U_{\text{вх}}(t) - U_0)^2$

В спектре входного напряжения присутствуют частоты $0, \omega_0, \omega_0 \pm \Omega$,

а в спектре тока (рис. 11.5) будут присутствовать частоты:

- из-за свободного члена 0 ;
- из-за линейного члена $\omega_0, \omega_0 \pm \Omega$;
- из-за квадратичного члена $0, 2\Omega, 2\omega_0, \omega_0 \pm \Omega, 2\omega_0 \pm \Omega, 2\omega_0 \pm 2\Omega$;

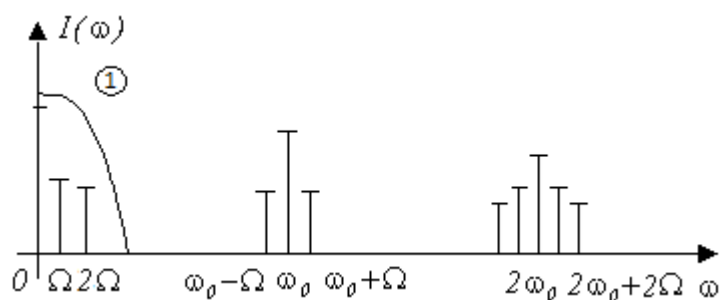


Рис.11.5

При квадратичном детектировании в низкочастотной части спектра тока (режим АЧХ1) появляется вторая гармоника на 2Ω , где Ω – частота модулирующего сигнала. Это приводит к искажению формы выходного сигнала, который не повторяет форму огибающей входного сигнала.

Режим с отсечкой входного сигнала.

На прошлой лекции мы разобрали режим с отсечкой, при подаче на вход АМ - колебания с тональной модуляцией.

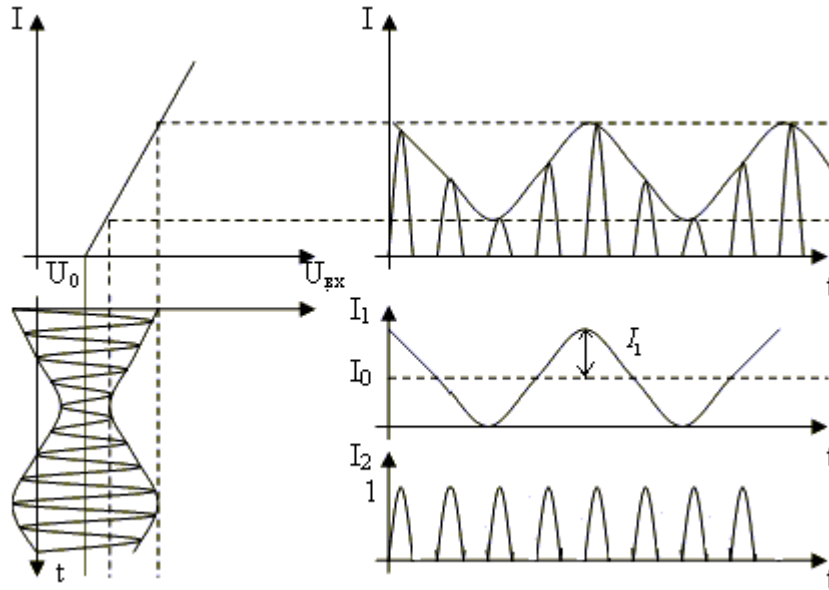


Рис.11.6

Пусть $U_{вх}(t) = U_0 + E(1 + M \cos \Omega t) \cos \omega_0 t$. Из рисунка 11.6 видно, что, если постоянное смещение U_0 подобрано таким образом, что отсечка осуществляется только по высокочастотному заполнению входного сигнала, а огибающая попадает на линейный участок ВАХ, то ток, протекающий через нелинейный элемент, повторяет форму тока, если на вход нелинейного элемента подано бигармоническое колебание. В этом случае он приближенно описывается формулой (см. лекцию 10)

$$I(t) = \sum_{n=0}^{\infty} I_0 A_n \cos(n\omega_0 t) + \frac{I}{2} \sum_{n=0}^{\infty} A_n I_1 \cdot \cos(n\omega_0 t \pm \Omega t)$$

Из последней формулы следует, что в спектре тока будут присутствовать постоянная составляющая, гармоники $n\omega_0$, кратные частоте ω_0 и комбинационные гармоники на частотах $n\omega_0 \pm \Omega$. Ниже на рисунке 11.7 изображен спектр тока.

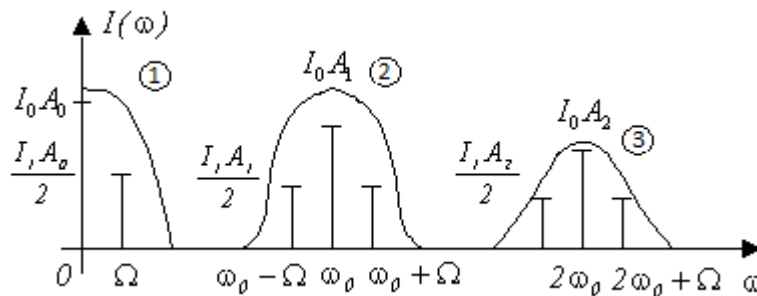


Рис.11.

Если теперь в качестве нагрузки выбрать НЧ фильтр (рис.11.7 АЧХ1), то на этой нагрузке выделится сигнал, повторяющий форму входного сигнала (его огибающей). Тогда полученное устройство будет амплитудным демодулятором (детектором).

Если в качестве нагрузки выбрать колебательный контур, настроенный на частоту ω_0 (рис.11.7 АЧХ2), то мы получим нелинейный резонансный усилитель.

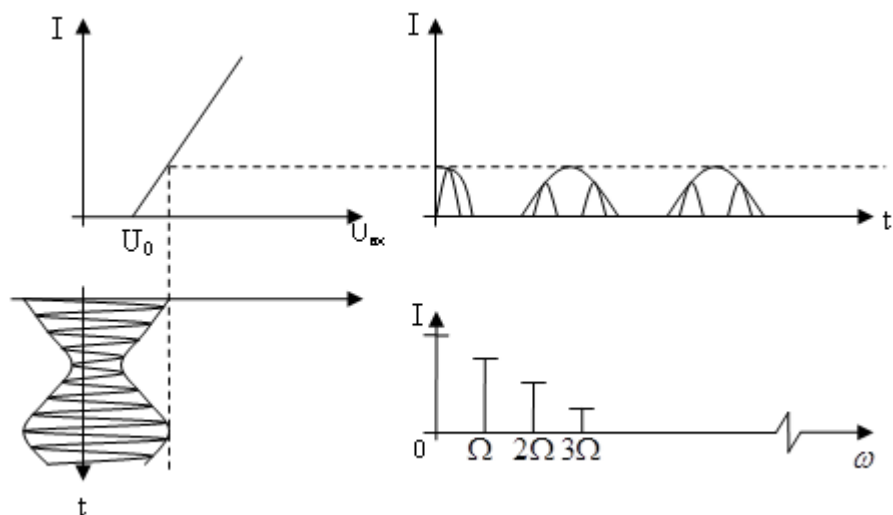
Если в качестве нагрузки выбрать колебательный контур, настроенный на частоту $2\omega_0$ (рис.11.7 АЧХ3), то мы получим нелинейный резонансный усилитель с преобразованием несущей частоты.

Детектирование с отсечкой по сравнению с квадратичным детектированием имеет те же плюсы и минусы что и модуляция с отсечкой по сравнению с квадратичной модуляцией.

В этом режиме для качественного детектирования надо, чтобы огибающая входного сигнала попадала на линейный участок ВАХ (рис.11.8). Иначе в спектре выходного сигнала будут появляться дополнительные – паразитные гармоники (рис.11.8), которые приведут к искажению формы выходного сигнала. Это вызвано искажением огибающей входного сигнала. Тогда коллекторный ток, используя методику лекции 10, можно приближенно описать выражением

$$I(t) \approx \sum_{n=0}^{\infty} I_0 A_n \cos(n\omega_0 t) + \frac{I}{2} \sum_{k=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} A_n I_k \cdot \cos(n\omega_0 t \pm k\Omega t),$$

из которого следует, что в низкочастотной части спектра коллекторного тока появляются



гармоники, частота которых кратна частоте Ω модулирующего сигнала.

Рис. 11.8

Контрольные вопросы к лекции 11

1. Дайте определение амплитудному модулятору.
2. Объясните назначение элементов в принципиальной схеме амплитудного модулятора.
3. Объясните, как работает амплитудный модулятор
4. Как осуществить режим с отсечкой и квадратичный режим работы амплитудного модулятора?
5. В чем преимущество режима с отсечкой по сравнению с квадратичным режимом работы амплитудного модулятора?
6. Поясните достоинства и недостатки балансного модулятора

7. Дайте определение амплитудному детектору.
8. Объясните назначение элементов в принципиальной схеме амплитудного детектора.
9. Объясните, как работает амплитудный детектор
10. В чем преимущество режима с отсечкой по сравнению с квадратичным режимом работы амплитудного модулятора?
11. Поясните возможные причины искажения сигнала на выходе амплитудного детектора.

Типовые задачи к экзамену

По этой лекции типовых задач нет.