ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ТЕЛЕКОНТРОЛЬ И ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ
ЛЕКЦИЯ №4
«Реализация амплитудной модуляции»

Лектор:
доцент каф. ЭАФУ ФТИ
Горюнов А.Г.

Томск 2013 г.

План лекции

- Осуществление амплитудной модуляции
- Демодуляция амплитудно-модулируемых сигналов
- Амплитудная манипуляция
- Полярная модуляция

4.1. Осуществление амплитудной модуляции

Выражение для амплитудной модуляции:

$$U_{\text{амс}} = U_{\omega o} \cdot \left(1 + m \cdot \cos\left(\Omega t\right)\right) \cdot \cos\left(\omega_o t\right) \qquad (4.1)$$

Как следует из этого выражения АМ сигнал образуется перемножением двух колебаний: сообщения и «несущей». В простейшем случае для перемножения можно использовать схему с нелинейным элементом (например, с диодом). Вольтамперная характеристика нелинейного элемента выглядит

$$i = a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2 \qquad (4.2)$$

где I – ток, u – напряжение, a_0, a_2 – коэффициенты многочлена.

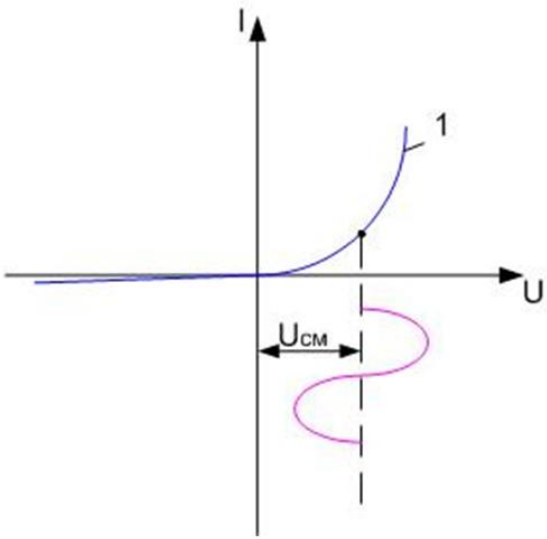


Рисунок 4.1 Вольт – амперная характеристика нелинейного элемента

Входное напряжение U в общем виде (см. рисунок 4.2):

$$U = U_c + U_n \quad (4.3)$$

$U_c = U_\Omega \cdot \cos(\Omega t)$ – сигнал сообщение

$U_n = U_{\omega o} \cdot \cos(\omega_0 t)$ – сигнал «несущей»

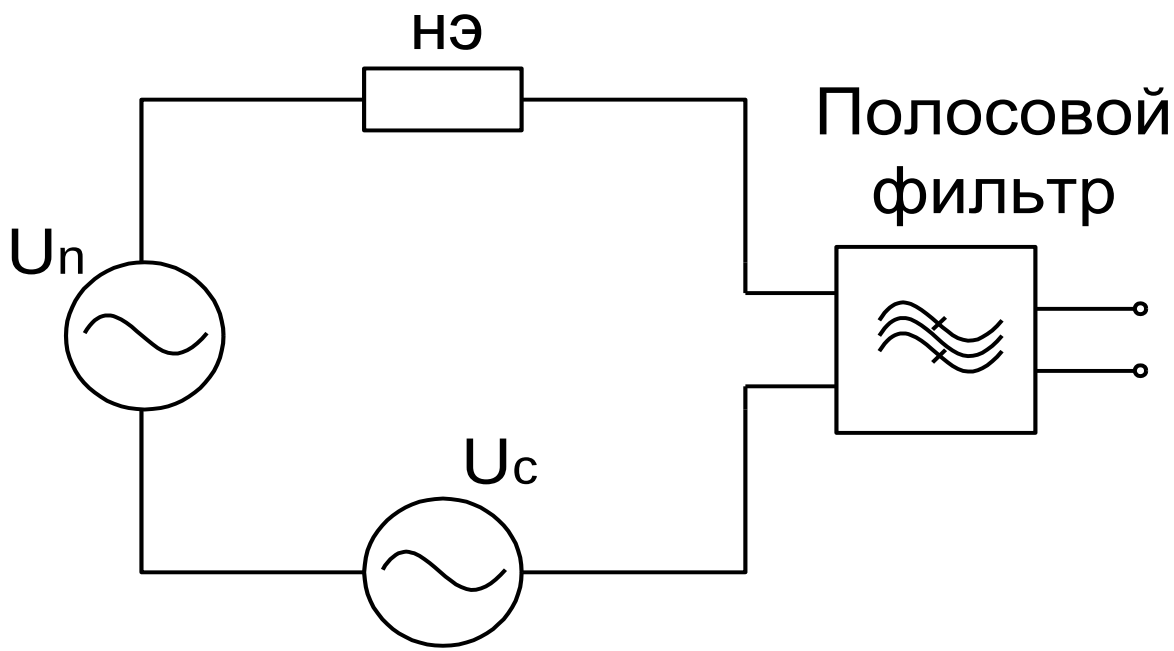


Рисунок 4.2

Найдём выражение для тока:

$$i = a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2 = a_0 + a_1 \cdot (U_c + U_n) + a_2 \cdot (U_c + U_n)^2 =$$
$$= a_0 + a_1 \cdot U_\Omega \cdot \cos(\Omega t) + a_1 \cdot U_{\omega o} \cdot \cos(\omega_0 t) + \qquad (4.4)$$
$$+ a_2 \cdot U_\Omega^2 \cdot Cos^2 \Omega t + 2 \cdot a_2 \cdot U_\Omega \cdot U_{\omega o} \cdot \cos(\Omega t) \cdot \cos(\omega_0 t) + a_2 \cdot U_{\omega o}^2 \cdot \cos^2(\omega_0 t)$$

Выполнив тригонометрические преобразования, можно получить:

$$i = a_0 + \frac{a_2}{2} \cdot \left(U_\Omega^2 + U_{\omega o}^2\right) + a_1 U_\Omega \cos(\Omega t) + \frac{a_2 U_\Omega^2}{2} \cos(2\Omega t) +$$
$$+ a_2 U_\Omega U_{\omega o} Cos(\omega_0 t - \Omega t) + a_1 U_{\omega o} \cos(\omega_0 t) + \qquad (4.5)$$
$$+ a_2 U_\Omega U_{\omega o} \cos(\omega_0 t + \Omega t) + \frac{a_2 U_{\omega o}^2}{2} \cos(2\omega_0 t)$$

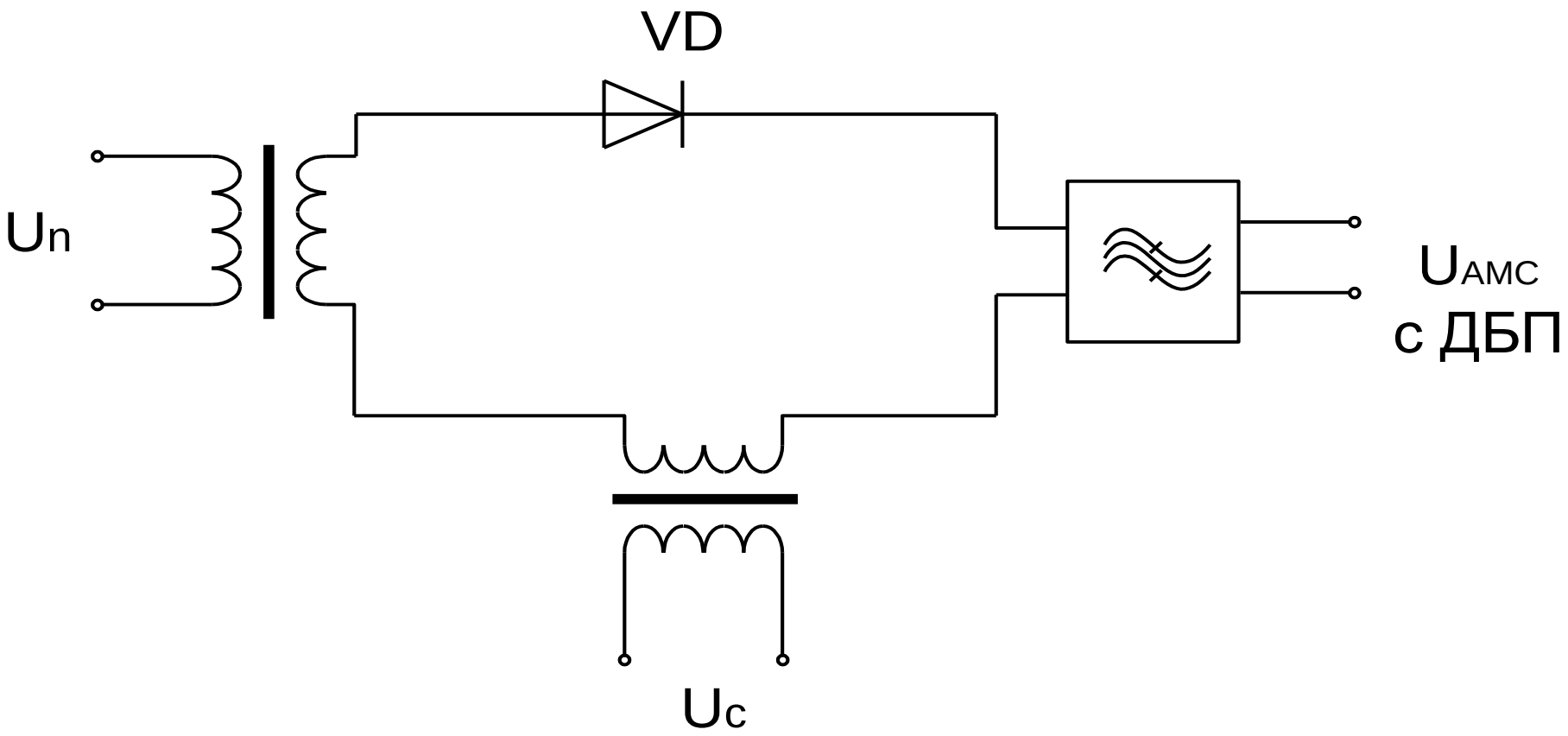


Рисунок 4.3 Простейший пассивный модулятор

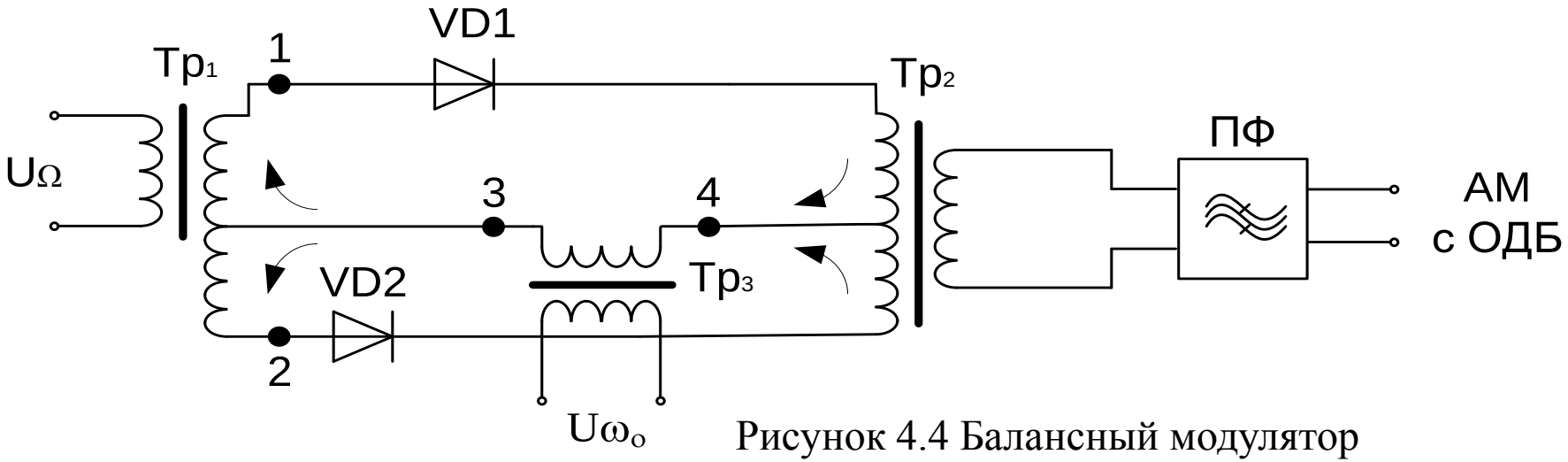


Рисунок 4.4 Балансный модулятор

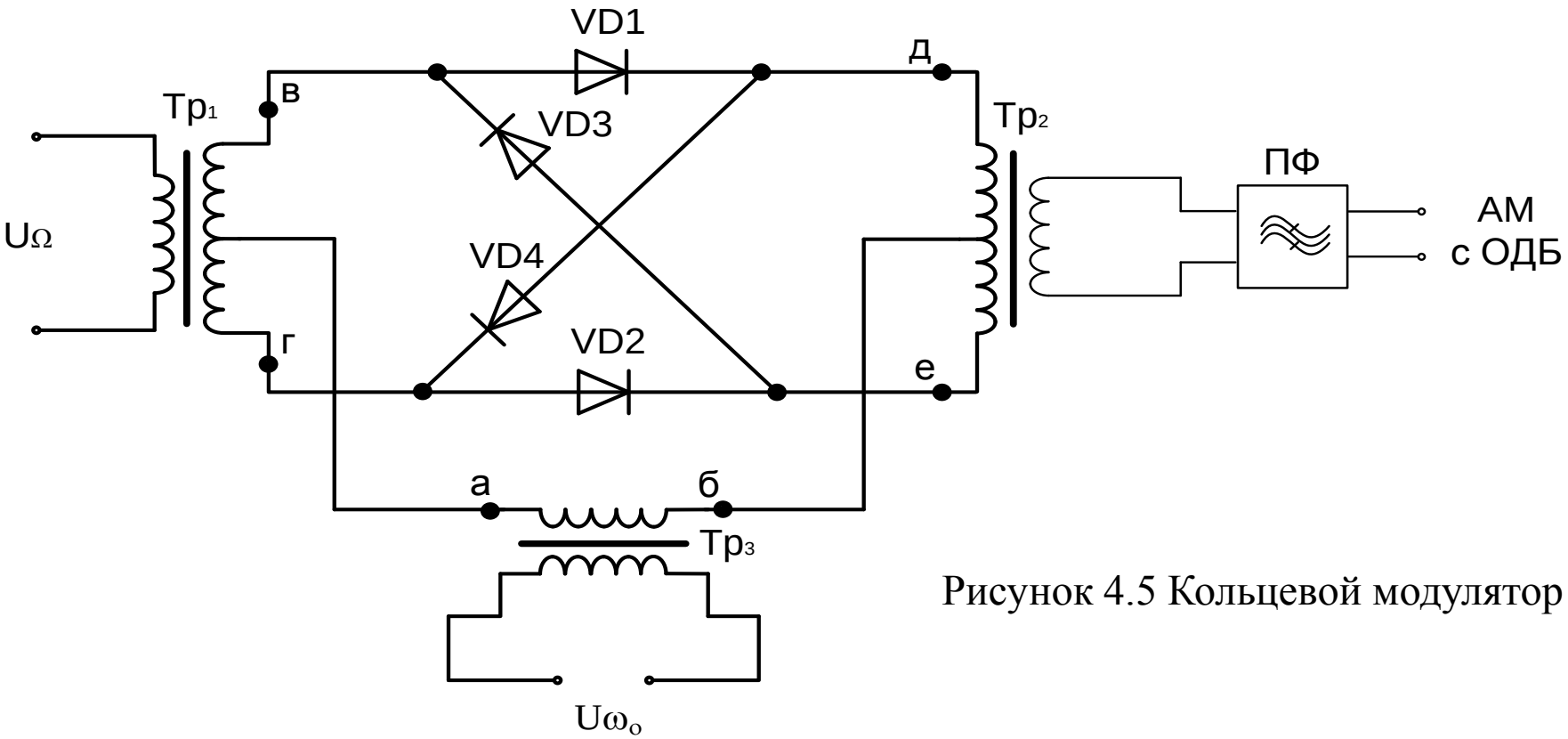
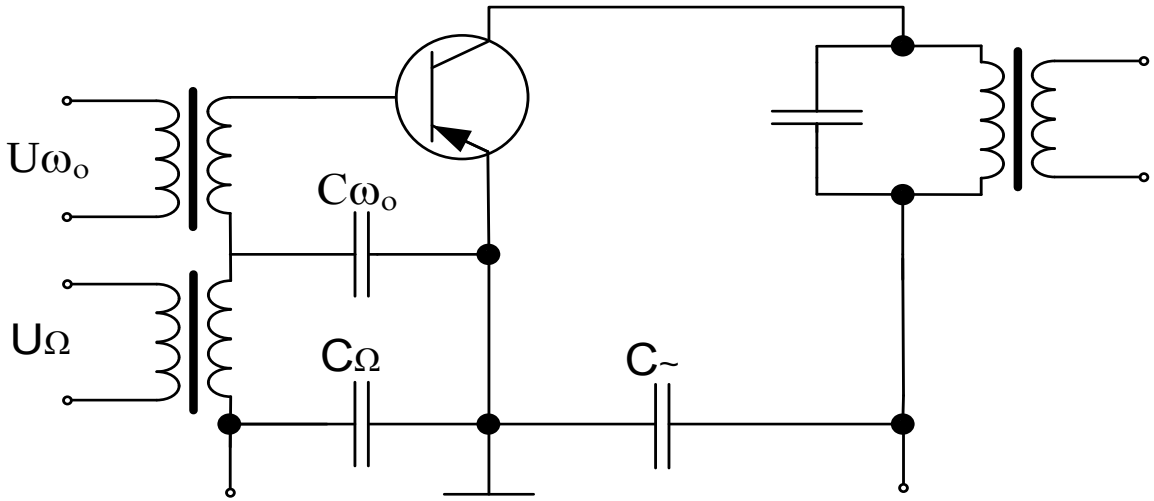
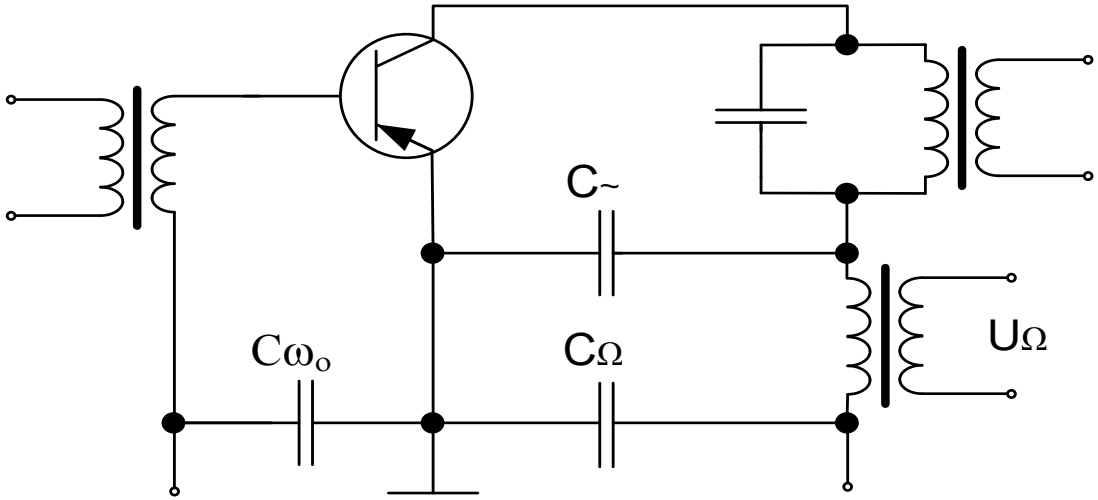


Рисунок 4.5 Кольцевой модулятор



а)



б)

Рисунок 4.6 Примеры схем активных модуляторов

4.2. Демодуляция амплитудно-модулируемых сигналов

Демодуляция – выделение сообщения из сложного сигнала, называется **детектированием**

Подставив уравнение для АМ сигнала

$$U = U_{\text{амс}} = U_{\omega o} \cdot \left(1 + m\cos\left(\Omega t\right)\right) \cdot \cos\left(\omega_0 t\right) \qquad (4.7)$$

в вольтамперную характеристику нелинейного элемента

$$i = a_0 + a_1 \cdot U + a_2 \cdot U^2 \qquad (4.2)$$

$$
\begin{aligned}
i = {} & a_0 + \frac{a_2 U_{\omega o}^2}{2} \cdot \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) + a_2 U_{\omega o}^2 m \cos(\Omega t) + a_1 \frac{U_{\omega o} m}{2} \cos(\omega_0 - \Omega) t + \\
& + a_1 U_{\omega o} \cos(\omega_0 t) + a_1 \frac{U_{\omega o} m}{2} \cos(\omega_0 + \Omega) t + a_2 \frac{U_{\omega o}^2 m^2}{4} \cos(2\Omega t) + \\
& + a_2 \frac{U_{\omega o}^2 m^2}{8} \cos(2\omega_0 - 2\Omega) t + a_2 \frac{U_{\omega o}^2 m^2}{2} \cos(2\omega_0 - \Omega) t + \\
& + a_2 \frac{U_{\omega o}^2}{2} \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \cos(2\omega_0 t) + a_2 \frac{U_{\omega o}^2 m^2}{2} \cos(2\omega_0 + \Omega) t + \\
& + a_2 \frac{U_{\omega o}^2 m^2}{8} \cos(2\omega_0 + 2\Omega) t
\end{aligned}
\tag{4.8}
$$

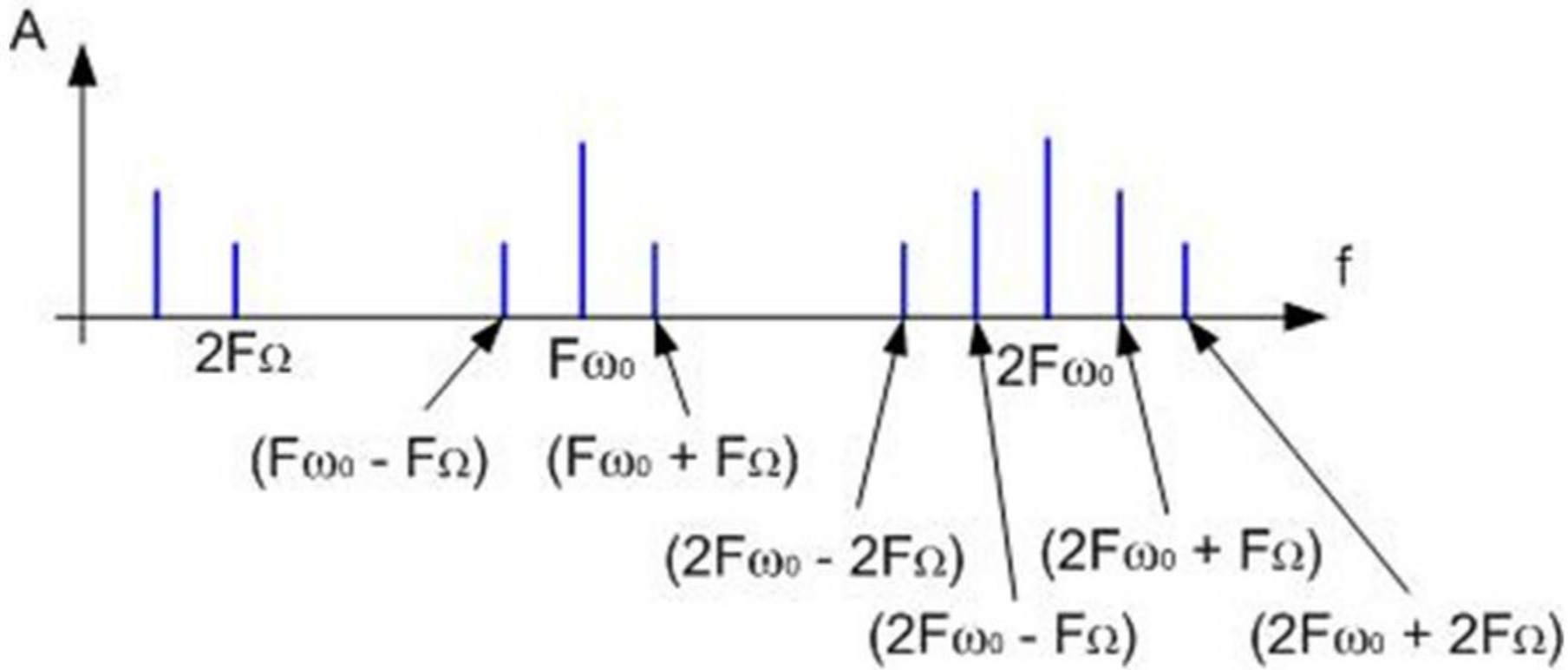


Рисунок 4.7 Спектр частот после нелинейного элемента

Таким образом, детектирование на нелинейном участке характеристики диода даёт нелинейные искажения.

Во избежание искажений нужен нелинейный элемент с линейно-ломанной вольтамперной характеристикой

$$i = \begin{cases} a \cdot U, \text{ при } U \geq 0 \\ 0, \text{ при } U < 0 \end{cases} \qquad (4.9)$$

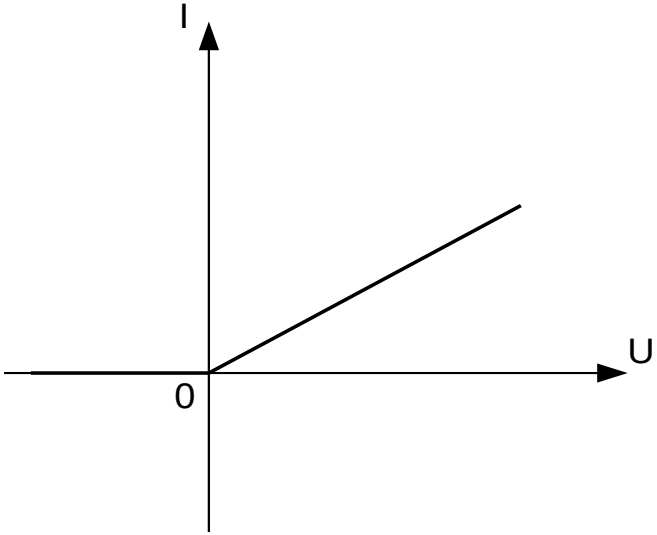


Рисунок 4.8 Линейно-ломанная вольтамперная характеристика

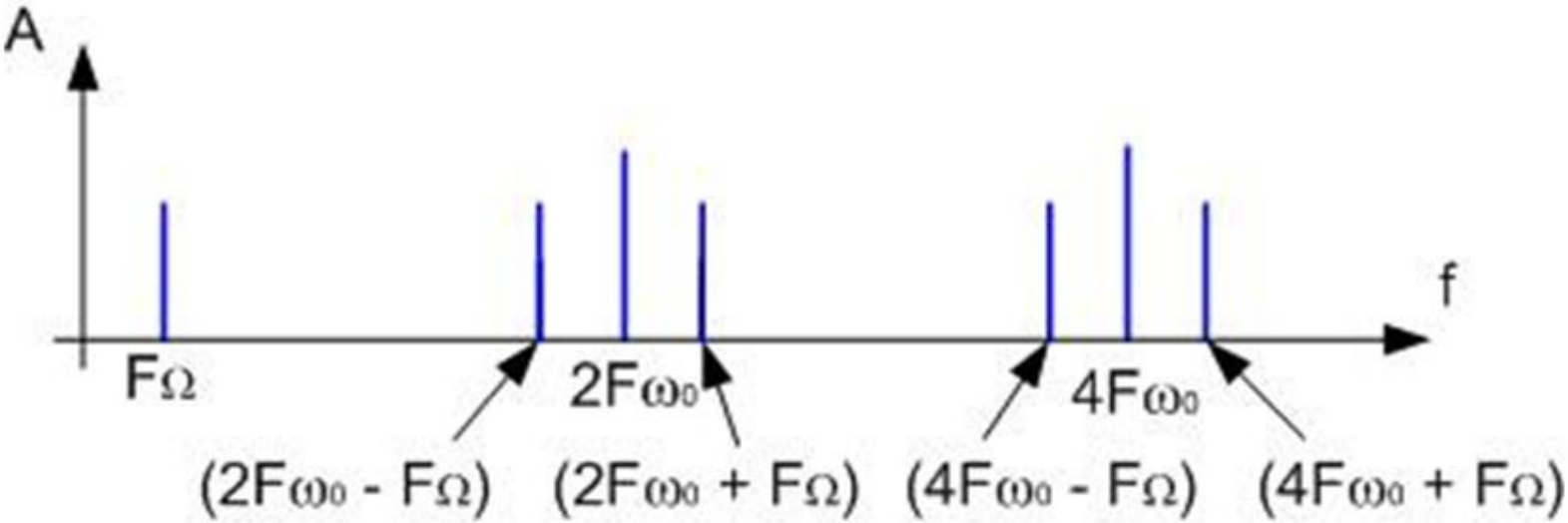


Рисунок 4.9 Спектр частот после нелинейного элемента с линейно-ломанной вольтамперной характеристикой

4.2.1 Детектирование АМ с ДБП

Процесс детектирования состоит из выпрямление АМ сигнала, в результате которого образуются импульсы «несущей» с огибающей, имеющей форму колебаний передаваемого сообщения, и выделение из этих импульсов исходного сигнала путём фильтрации ВЧ составляющих спектра импульсов

В качестве детектора применяют диод (см. рисунок 4.10) с маленьким обратным током. Выпрямление желательно выполнять на линейной части ВАХ диода.

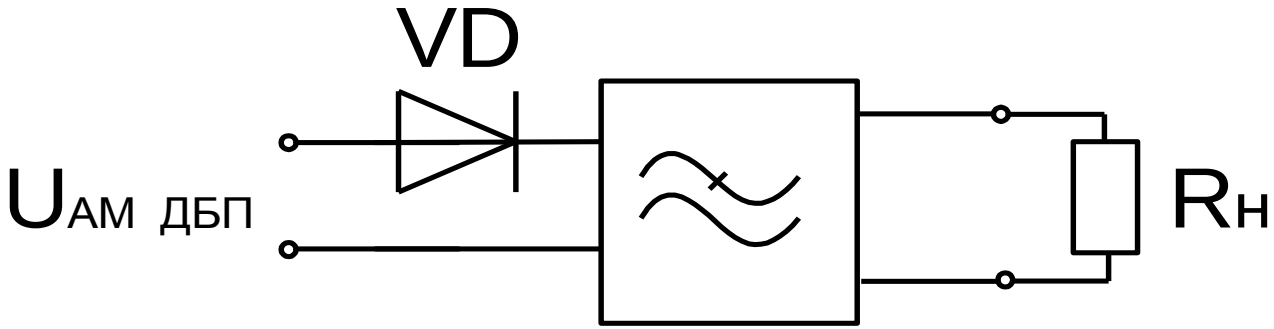
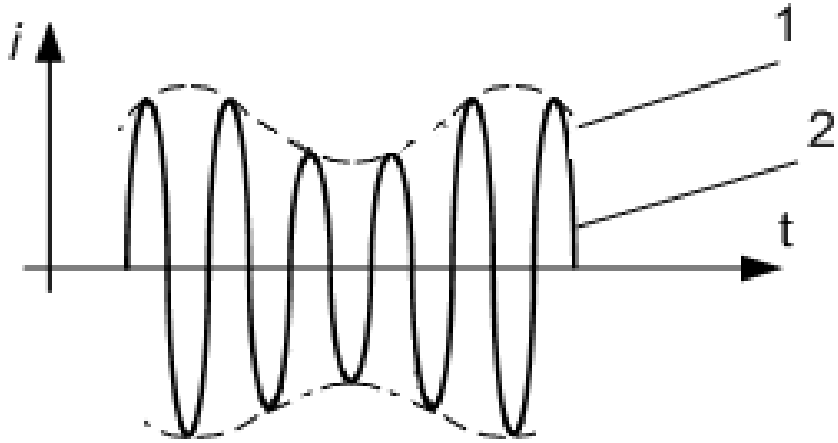
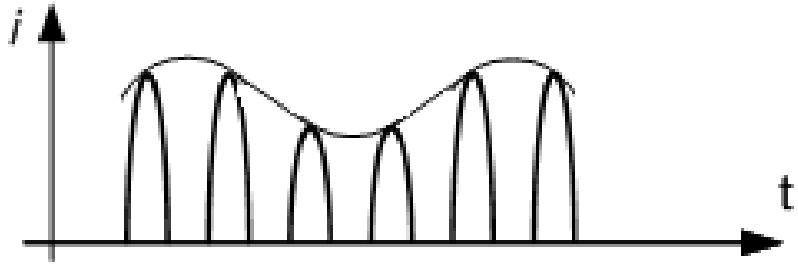


Рисунок 4.10 Диодный детектор

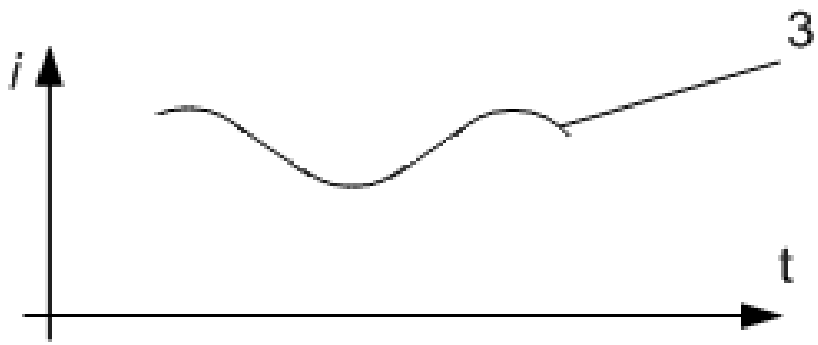
$$i_c = I_\Omega \cdot \cos(\Omega t)$$

$$i_n = I_{\omega o} \cdot \cos(\omega_0 t)$$





$$i_c = I_\Omega \cdot \cos(\Omega t) + I_0$$



4.2.2 Детектирование АМ с ОБП

Для детектирования АМ с ОБП необходимо восстановить «несущую».
Для этого в приёмнике устанавливают генератор несущей частоты (см. рисунок 4.12), а обе частоты (принятая боковая и местная «несущая») воздействуют на нелинейный элемент (детектор).

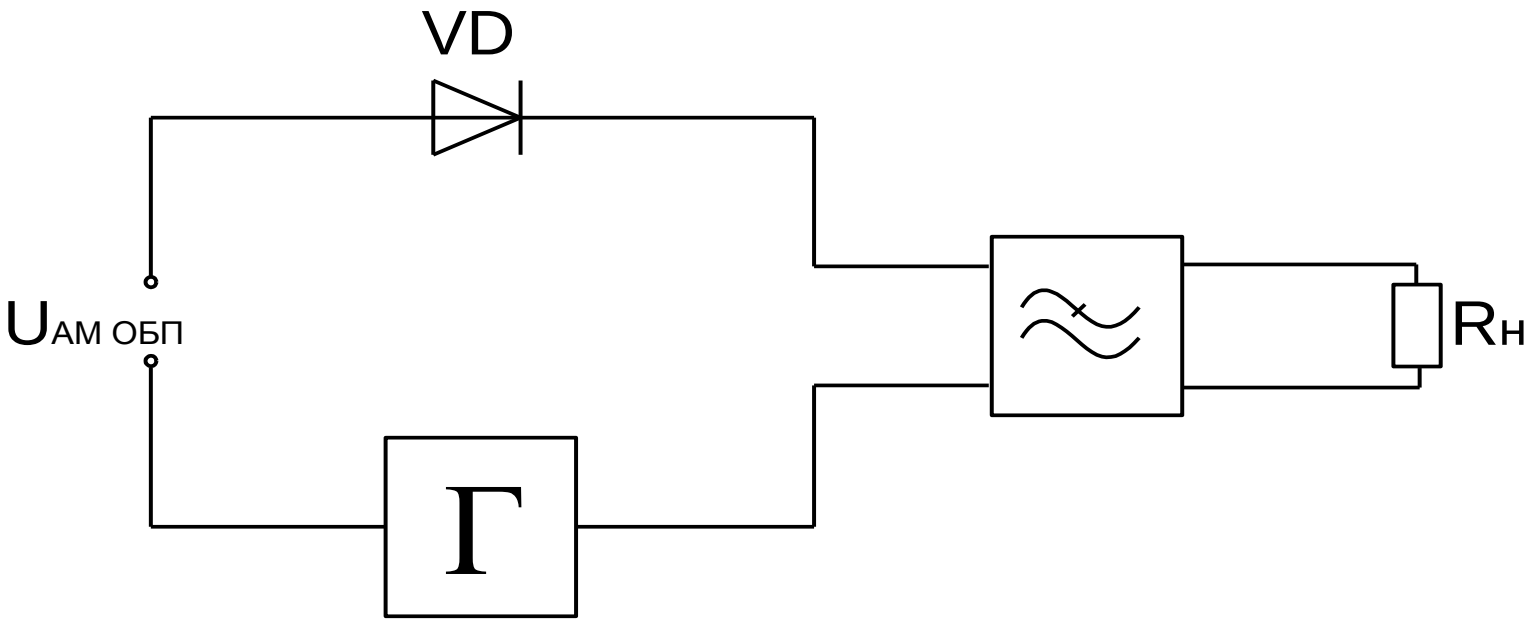
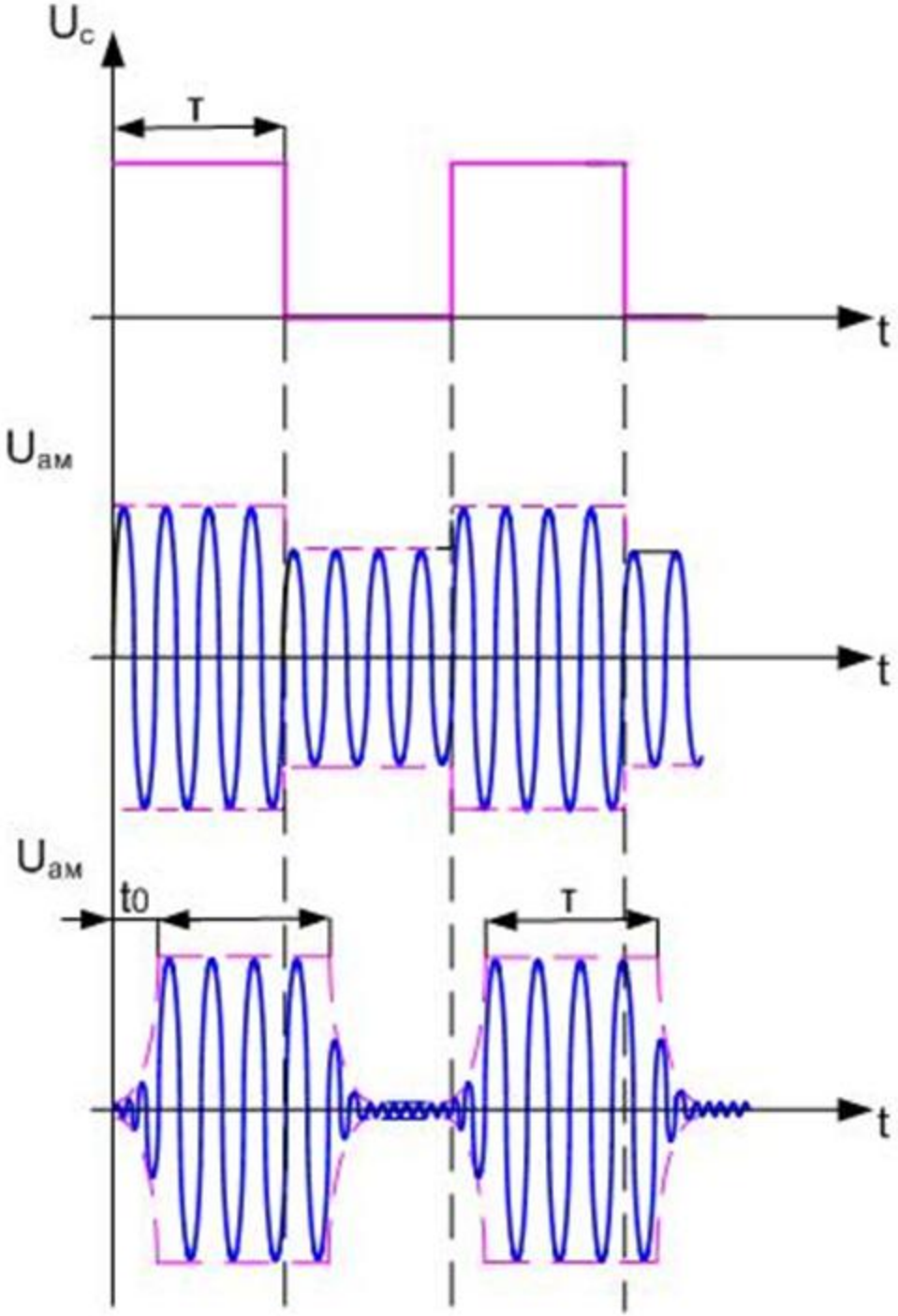


Рисунок 4.12 Детектор АМ с ОБП

4.3. Амплитудная манипуляция

Если передаваемое сообщение представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, т.е. является дискретным сообщением, то при образовании сигнала амплитуда переносчика («несущей») принимает всего два значения.

Такое преобразование называется **амплитудной манипуляцией** (см. рисунок 4.13). Иногда амплитудная манипуляция называется **дискретной модуляцией**.



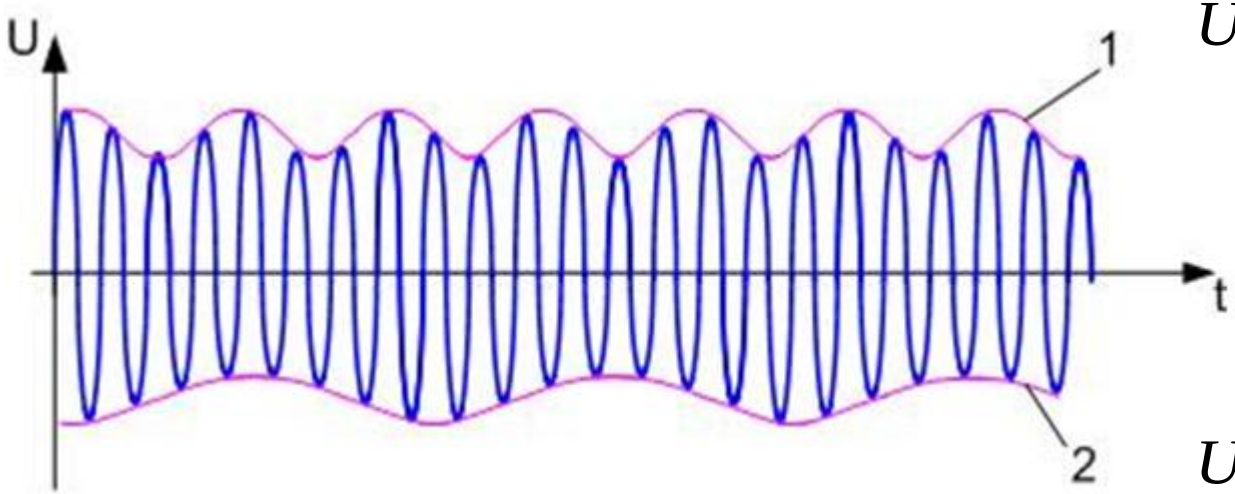
$$\Delta F_{ри} = \frac{2\mu}{\tau}$$

m < 1
(идеальная)

m = 1
(реальные амплитуды на выходе фильтра)
радиоимпульс

4.4. Полярная модуляция

Полярная модуляция является разновидностью амплитудной модуляции. Отличием является одновременная передача двух сигналов, как показано на рисунке 4.14 .



$$U_1 = U_{\Omega 1}\cos\left(\Omega_1 t\right)$$

$$U_2 = U_{\Omega 2}\cos\left(\Omega_2 t\right)$$

Рисунок 4.14 Полярная модуляция