

**ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ  
С АМПЛИТУДНОЙ (АМ),  
ЧАСТОТНОЙ (ЧМ) И ФАЗОВОЙ  
(ФМ) МОДУЛЯЦИЕЙ.  
ОДНОПОЛОСНАЯ  
МОДУЛЯЦИЯ (ОМ)**

# Общие сведения

- Любое гармоническое колебание характеризуется тремя параметрами: амплитудой, частотой и фазой. Они связаны известным соотношением:
- $i = I_n \sin(\omega t + \varphi_0)$ .
- При воздействии модулирующего сигнала возникает АМ, ЧМ, ФМ или их комбинации.
- Приняв  $\varphi_0 = 0$ , при модуляции сложным сигналом  $f(t)$ , получим:
- 
- при АМ:  $i = [I_n + \Delta I_n f(t)] \sin \omega t$ ;
- 
- при ЧМ:  $i = I_n \sin[\omega + \Delta\omega f(t)]t$ ;
- 
- при ФМ:  $i = I_n \sin[\omega t + \Delta\varphi f(t)]$ ,
- где  $i$  — мгновенное значение тока модулированного сигнала;  $I_n$  — амплитуда тока несущей частоты (режим молчания);  $\Delta I_n$ ,  $\Delta\omega$ ,  $\Delta\varphi$  — максимальные девиации амплитуды, частоты и фазы.

- Эффективность модуляции оценивается:
- при АМ — коэффициентом глубины модуляции  $m = \Delta I_n / I_n$ ;
- при ЧМ — индексом частотной модуляции  $M = \Delta \omega / \Omega = \Delta f / F$ ;
- где  $\Delta f$  — девиация частоты,  $F$  — модулирующая частота;
- при ФМ — индексом фазовой модуляции  $M_\varphi = \Delta \varphi$ ,
- т.е. максимальным отклонением фазы.

- Следует различать два существенно различных случая: модуляция несущего колебания, задаваемого независимым и стабильным источником, и модуляция автоколебания.
- В первом случае (рисунок 2.1,а) суть процесса модуляции заключается в изменении передаточной функции усилителя  $K(i\omega_n, t)$  по закону, связанному с передаваемым сообщением. По отношению к частоте  $\omega_n$ , модулируемый усилитель представляет собой линейный четырёхполюсник с переменным параметром, а процесс модуляции — линейный параметрический процесс, хотя режим работы модулируемого усилителя может быть существенно нелинейным.
- Во втором случае (Рисунок 2.1,б) модулирующее сообщение воздействует непосредственно на АГ, представляющий собой нелинейное устройство.



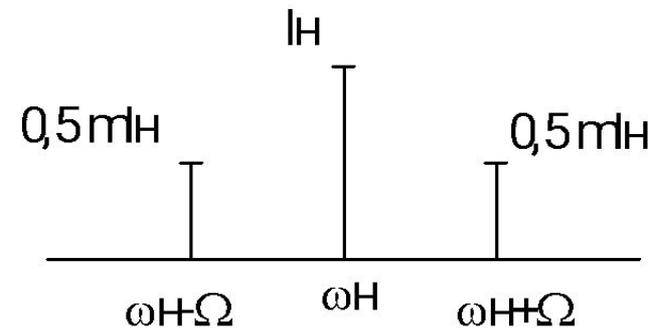
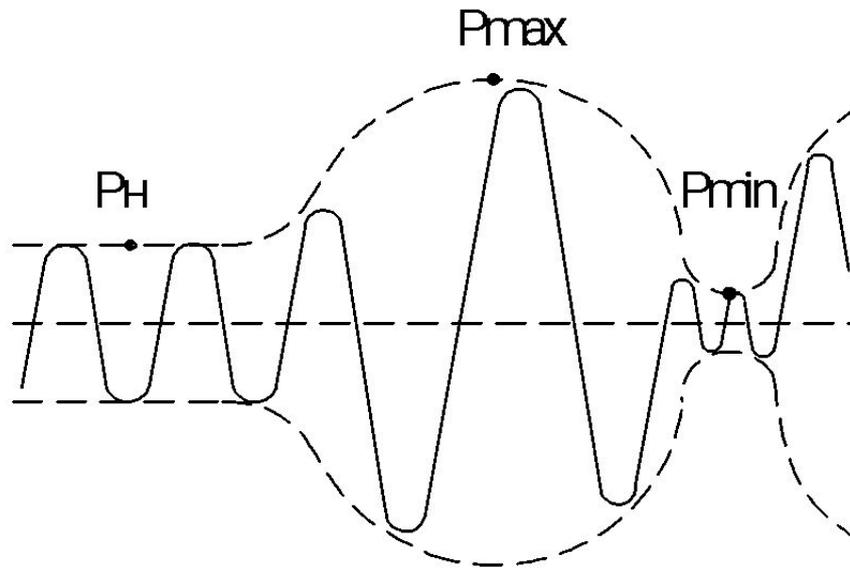
# Амплитудная модуляция.

## Способы осуществления

- Передатчики с амплитудной модуляцией применяют для телефонной связи, радиовещания, передачи телевизионных сообщений.
- Допустим, что передаваемый сигнал  $f(t)$  представляет собой гармоническое колебание звуковой частоты  $\Omega$ . При АМ амплитуда тока ВЧ должна изменяться в соответствии с этим сигналом. Тогда:
- $$i(t) = (I_H + \Delta I_H \cos \Omega t) \cos(\omega_H t) = I_H (1 + m \cos \Omega t) \cos(\omega_H t)$$
$$= I_H \cos(\omega_H t) + 0,5m I_H \cos(\omega_H + \Omega)t + 0,5m I_H \cos(\omega_H - \Omega)t$$

(2.1)

# Амплитудная модуляция. Способы осуществления



- Осциллограмма и спектр АМ сигнала при модуляции одним тоном.

# Амплитудная модуляция.

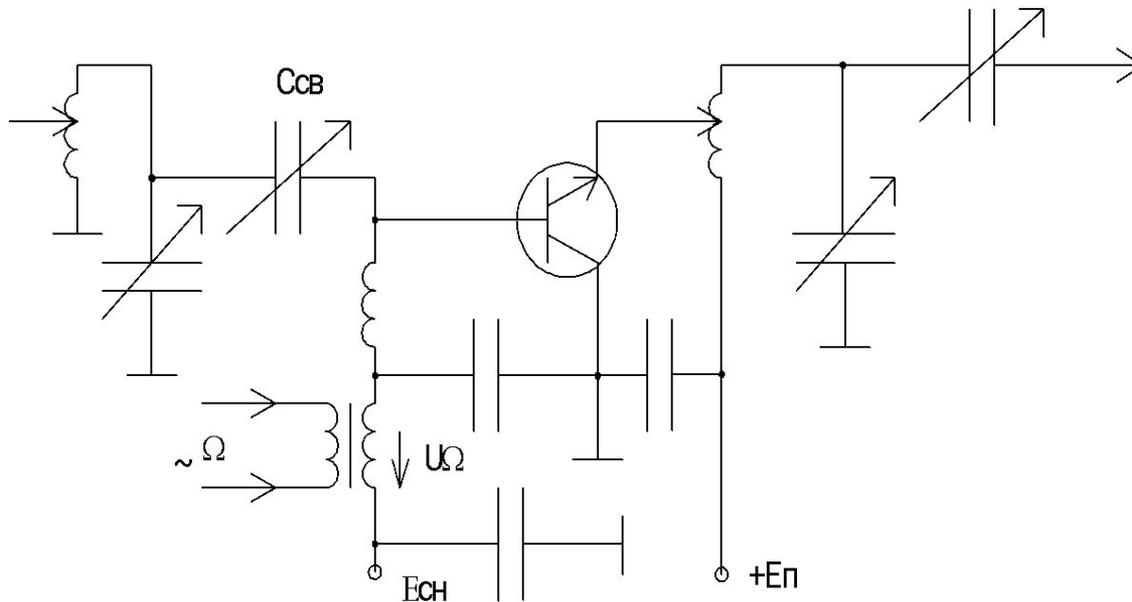
## Способы осуществления

- Для АМ свойственны следующие энергетические соотношения.
- Максимальный (пиковый) режим:
- $P_{\sim\text{макс}} = P_{\sim\text{н}} (1+m)^2,$
- где  $P_{\sim\text{н}}$  — мощность в режиме несущей,  $m$  — коэффициент глубины модуляции.
- Минимальная мощность
- $P_{\sim\text{мин}} = P_{\sim\text{н}} (1-m)^2.$
- Таким образом, при  $m=1$   $P_{\sim\text{макс}} = 4 P_{\sim\text{н}}.$

# Амплитудная модуляция. Способы осуществления

- Мощность одной боковой
- $P_{\omega+\Omega} = 1/2 (m I_H / 2)^2 R a = P_{\sim H} m^2 / 4$
- 
- Суммарная мощность боковых
- $P_{\sigma\Sigma} = P_{\sim H} m^2 / 2$
- 
- Средняя мощность (среднеинтегральная мощность за период НЧ)
- $P_{\text{ср}} = P_{\sim H} + P_{\sigma\Sigma} = P_{\sim H} (1 + m^2 / 2)$

# Амплитудная модуляция. Способы осуществления



- Модуляция смещением
- В модулируемом каскаде по сигналу информации изменяют напряжение смещения на входе АЭ:  $E_c = E_{CH} + U_{\Omega} \cos \Omega t$ .

# Амплитудная модуляция. Способы осуществления

- Энергетические соотношения:

- 

- $P_{\sim H} = 1/2 I_H^2 Ra; I_{max} = I_H (1+m); I_{k0 max} = I_{k0 H} (1+m);$

- $E_{кн} = E_{к max}; P_{\sim max} = 0,5 I_{max}^2 Ra = P_{\sim H} (1+m)^2;$

- 

- $P_{0H} = I_{кн} E_{кн}; P_{0max} = I_{0max} E_{к} = P_{0H} (1+m);$

- 

- $\eta = P_1 / P_0; \eta_H = P_{1H} / P_{0H} = 0,5 I_H U_{\sim} / I_{0H} E_{0H} =$

- $= 0,5 \alpha_1(\Theta) i_{к max} U_{\sim} / \alpha_0(\Theta) i_{к max} E_{к} =$

- $= 0,5 \xi \alpha_1(\Theta) / \alpha_0(\Theta) = 0,5 \xi g_1(\Theta);$

# Амплитудная модуляция. Способы осуществления

- Энергетические соотношения:

- 

- $\eta_{max} = P_{\sim max} / P_{0max} = P_{\sim H} (1+m)^2 / P_{0H} (1+m) =$ 
  - $= \eta_H (1+m);$

- 

- $\xi_{max} = U_{max} / E_{K max} = U_{\sim H} (1+m) / E_{KH} = \xi_H (1+m).$

- 

- Таким образом, при модуляции смещением

- 

- $\eta_{max} = 2 \eta_H$  и  $\xi_{max} = 2 \xi_H .$



# Амплитудная модуляция. Способы осуществления

- Энергетические соотношения:

- $E_{k \max} = 2 E_{кн}$ ;

- $P_{\sim \max} = P_{\sim н} (1+m)^2$ ;

- $P_{0 \max} = P_{0 н} (1+m)^2$ ;

- $\eta_{н} = \eta_{\max}$ ,  $\xi_{н} = \xi_{\max}$ .

- В отличие от модуляции смещением при коллекторной модуляции  $\eta_{н}$  равен  $\eta_{\max}$ .

# Амплитудная модуляция.

## Способы осуществления

- Модуляция смещением применяется обычно в маломощных каскадах, КПД при этом виде модуляции мал (15...20%). Достоинства: простота, малая мощность модулятора. При коллекторной модуляции  $\eta_n = \eta_{max}$  и достигает значений 70...80%. Однако требуемая мощность модулятора соизмерима с мощностью модулируемого каскада. Часто применяют комбинированную АМ..

# Однополосная модуляция.

## Способы осуществления

В отличие от спектра АМ колебания, при ОБП несущая и одна из боковых полос подавляются.

- Сравним мощности спектров АМ и ОБП колебаний.  
Для одной боковой
- $P_{\text{бок АМ}} = P_{\sim \text{н}} m^2 / p^2$ ,
- где  $p$  — пикфактор [пикфактор (Пф) — характеризуется выбросами амплитуды НЧ сигнала,  $\text{Пф} = U_{\text{max}} / U_{\text{ср}}$ ].
- В процессе модуляции средняя мощность ОП сигнала
- $P_{\text{ср ОМ}} = P_{\sim \text{max}} / p^2$ ,
- где  $P_{\text{max ОМ}} = P_{\text{max АМ}}$ .
- Откуда
- $P_{\text{ср ОМ}} / P_{\text{бок АМ}} = (1/m + 1)^2$ .

# Однополосная модуляция.

## Способы осуществления

- Т.о., при  $m=1$  выигрыш по мощности составляет 4 раза. Кроме того спектр частот, излучаемый при передаче ОБП, уменьшается по сравнению с АМ в 2 раза, что позволяет сузить полосу пропускания приёмника. За счёт этого отношение сигнал/помеха увеличивается по напряжению в 1,41 раз, а по мощности в 2 раза. Общий выигрыш по мощности при передаче ОБП по сравнению с АМ составляет 8 раз.
- В передатчиках КВ диапазона из-за особенностей распространения радиоволн на входе приёмника между несущей и боковыми частотами образуются фазовые сдвиги, которые уменьшают полезный эффект на выходе.
- При ОБП такого эффекта нет, что расценивается как увеличение полезного эффекта по мощности в 2 раза. Таким образом, общий выигрыш по мощности при переходе от АМ к ОБП составляет 8...16.

# **Однополосная модуляция. Способы осуществления**

Существует три метода формирования однополосного сигнала:

- **Фильтровый**
- **Фазовый**
- **Синтетический**

# Однополосная модуляция.

## Способы осуществления

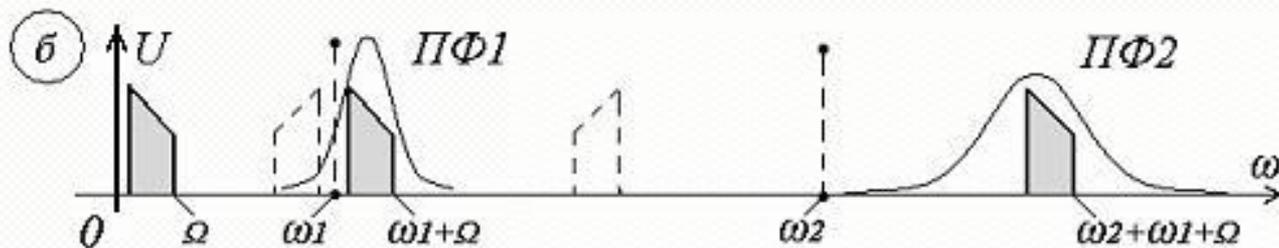
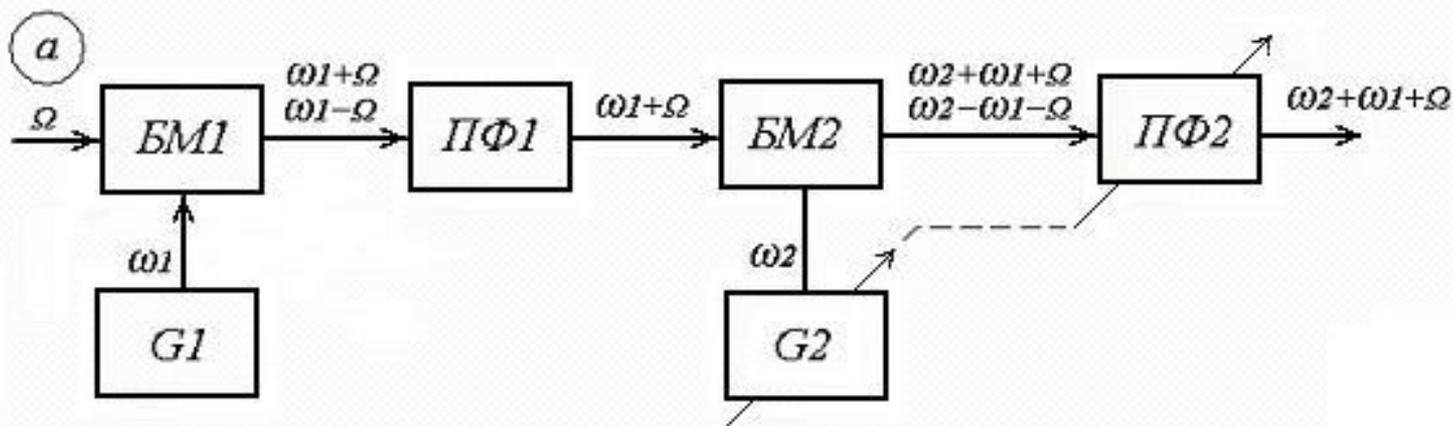
При фильтровом методе формирование осуществляется в два этапа.

На первом этапе происходит формирование двухполосных АМ колебаний с ослабленной несущей в устройствах называемых *балансными модуляторами* (БМ).

На втором этапе осуществляется подавление нерабочей боковой полосы с помощью фильтра, к которому предъявляются весьма жёсткие требования в отношении крутизны скатов его АЧХ. По существующим нормам нерабочая полоса должна быть ослаблена не менее, чем на 60дБ. Применяют кварцевые и электромеханические фильтры. При этом фильтры делают на фиксированный набор частот. Из-за этого приходится формировать однополосный сигнал на низкой несущей частоте (так называемая поднесущая) и потом преобразовывать по частоте вверх на рабочую частоту.

# Однополосная модуляция. Способы осуществления

Структурная схема фильтрового формирователя однополосного сигнала и спектры в характерных точках показана на рисунке.



# Однополосная модуляция. Способы осуществления

## Варианты реализации балансных модуляторов показаны

