

# Лекция № 7

## Модуляция сигналов в радиотехнике.

### Учебные вопросы:

1. Принципы модуляции сигналов.
2. Аналоговая модуляция сигналов.
3. Дискретная модуляция сигналов.
4. Цифровая модуляция сигналов.

## Литература:

**Стр. 96..110, 113..119**

**Используя MathCAD, создать модели однотоновых АМ, ФМ и ЧМ сигналов, построить временные диаграммы и найти их спектры.**



# Вопрос 1. Принципы модуляции сигналов

## Общие сведения о модуляции. Несущий сигнал и информационный сигнал.

Роль переносчика информации выполняет высокочастотное колебание, называемое **несущим**, например:

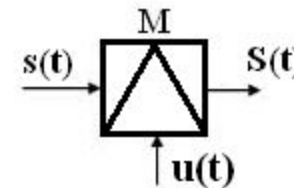
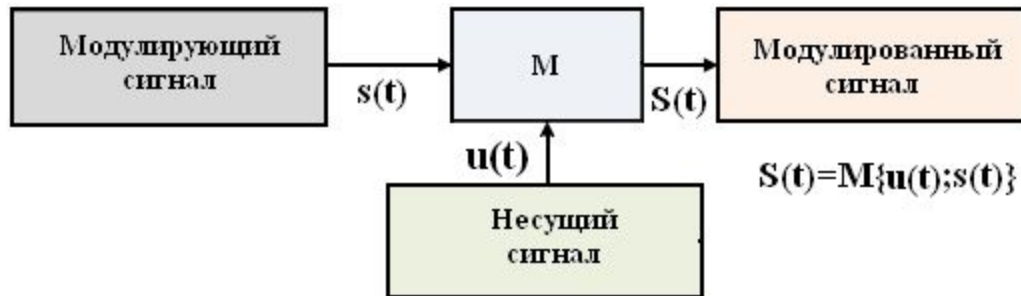
$$u(t) = U_0 \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi_0].$$

Передаваемая **информация** заложена в управляющем (**модулирующем, информационном**) сигнале **s(t)**.

**Модуляция** (лат. *modulatio* — *ритмичность*) — процесс изменения одного или нескольких информационных параметров **высокочастотного несущего** колебания **s(t)** (**амплитуды, частоты или фазы**) по закону изменения мгновенных значений **низкочастотного информационного сигнала** (сообщения) **x(t)**.

Модуляция осуществляется в устройствах *модуляторах*.

Условное графическое обозначение **модулятора** имеет вид:



**s(t)** — *модулирующий*, данный сигнал является информационным и низкочастотным (его частоту обозначают  $\Omega$  или  $F$ );

**u(t)** — *модулируемый (несущий)*, данный сигнал является неинформационным и высокочастотным (его частота  $\omega_0$  или  $f_0$ );

**S(t)** — *модулированный сигнал*, данный сигнал является информационным и высокочастотным.

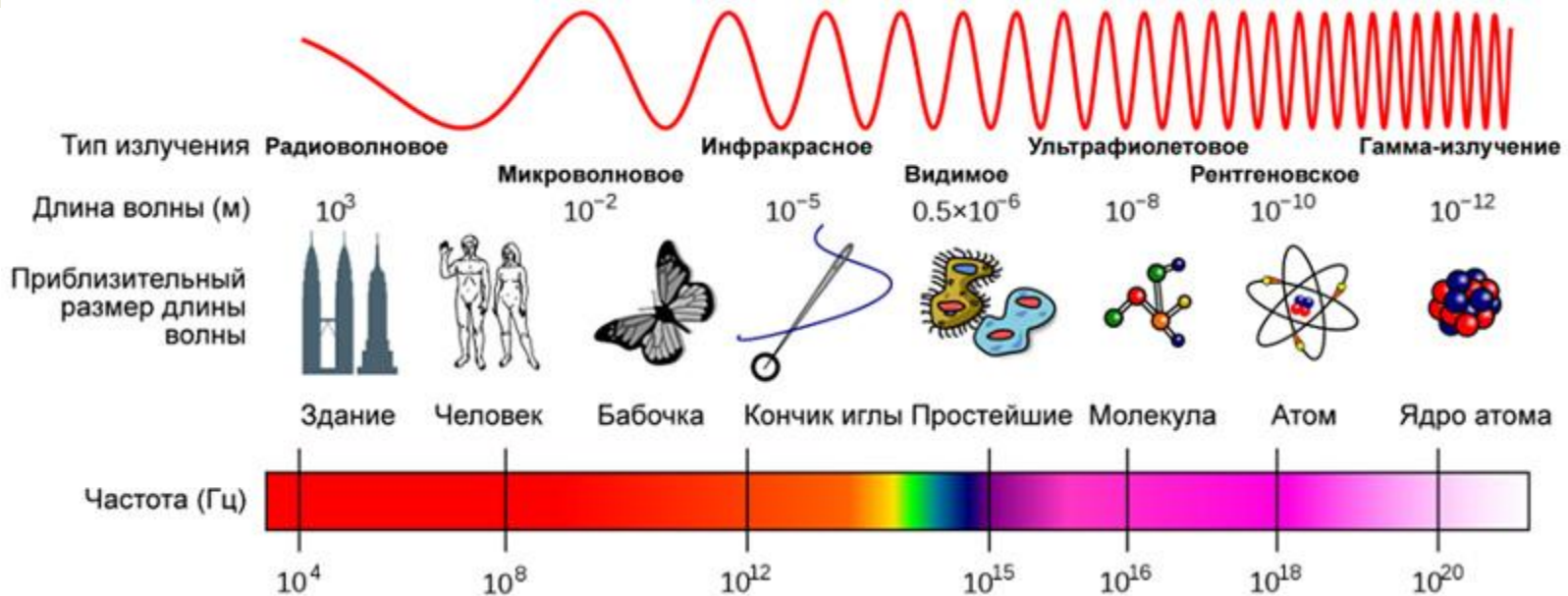
### Использование модуляции позволяет:

- согласовать параметры сигнала с параметрами линии;
- повысить помехоустойчивость сигналов;
- увеличить дальность передачи сигналов;
- организовать многоканальные системы передачи (МСП с ЧРК).

# Несущий сигнал



## Шкала частот гармонического несущего сигнала



# Диапазоны электромагнитных волн

Космические лучи			300 ЭГц	1 пм	1.24 МЭв
Гамма излучение	γ	γ	30 ЭГц	10 пм	124 кЭв
Жесткое рентгеновское	hX	hX	3 ЭГц	100 пм	12.4 кЭв
Рентгеновское излучение	sX	sX	300 ПГц	1 нм	1.24кЭв
Жесткий ультрафиолет	ДУФ	EUV	30 ПГц	10 нм	124 Эв
Ультрафиолет	БУФ	NUV	3 ПГц	100 нм	12.4 Эв
Видимый свет			790 ТГц	0.46	
			400 ТГц	... 0.76	
			300 ТГц	1 мкм	1.24 Эв
БИК	БИК	NIR	30 ТГц	10 мкм	124 мЭв
СИК	СИК	MIR	3 ТГц	100 мкм	12.4 мЭв
Инфракрасные (ДИК)	ДИК	FIR	300 ГГц	1 мм	1.24 мЭв
Экстра высокие частоты	ЭВЧ	EHF	30 ГГц	1 см	124 мкЭв
Крайне высокие частоты	КВЧ	SHF	3 ГГц	1 дм	12.4 мкЭв
Сверх Высокие Частоты	СВЧ	UHF	300 МГц	1 м	1.24 мкЭв
Очень высокие частоты	ОВЧ	VHF	30 МГц	10 м	124 нЭв
Высокие частоты	ВЧ	HF	3 МГц	100 м	12.4 нЭв
Средние частоты	СЧ	MF	300 кГц	1 км	1.24 нЭв
Низкие частоты	НЧ	LF	30 кГц	10 км	124 пЭв
Очень Низкие частоты	ОНЧ	VLF	3 кГц	100 км	12.4 пЭв
Ультра Низкие частоты	УНЧ	ULF	300 Гц	1 Мм	1.24 пЭв
Сверх Низкие частоты	СНЧ	SLF	30 Гц	10 Мм	124 фЭв
Экстра Низкие Частоты	ЭНЧ	ELF	3 Гц	100Мм	12.4 фЭв

## Аналоговая модуляция гармонической несущей

$$u(t) = U_0 \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi_0]. \Rightarrow S(t) = U(t) \cdot \cos[\omega(t) \cdot t + \varphi(t)] = U(t) \cdot \cos[\Psi(t)]$$

### 1. Виды аналоговой модуляции:

- амплитудная модуляция (**АМ**), происходит изменение амплитуды несущего колебания;
- частотная модуляция (**ЧМ**), происходит изменение частоты несущего колебания;
- фазовая модуляция (**ФМ**), происходит изменение фазы несущего колебания.

### Амплитудная модуляция

Процесс изменения амплитуды несущего сигнала в соответствии с мгновенными значениями модулирующего сигнала.

Математическая модель АМ сигнала при гармоническом модулирующем сигнале:

$$S(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = [U_0 + k \cdot s(t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = U_0 \left[ 1 + m \cdot \frac{s(t)}{|S_i \text{ à è ñ}|} \right] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$$

$$\Omega \ll \omega_0$$

$$0 < m = \frac{k |S_i \text{ à è ñ}|}{U_0} < 1$$

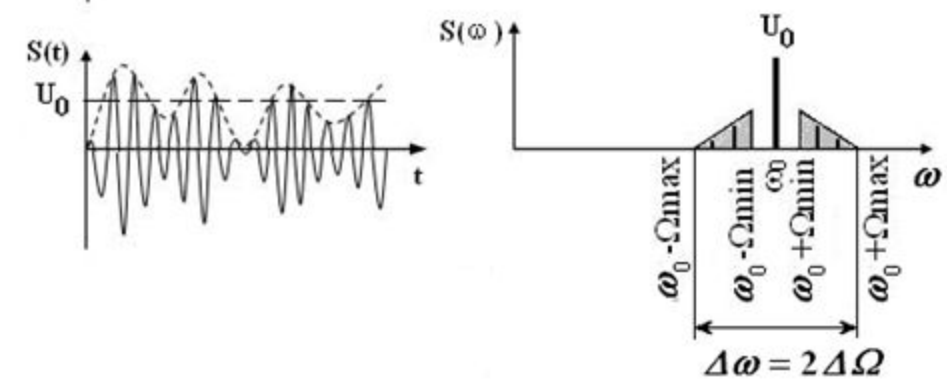
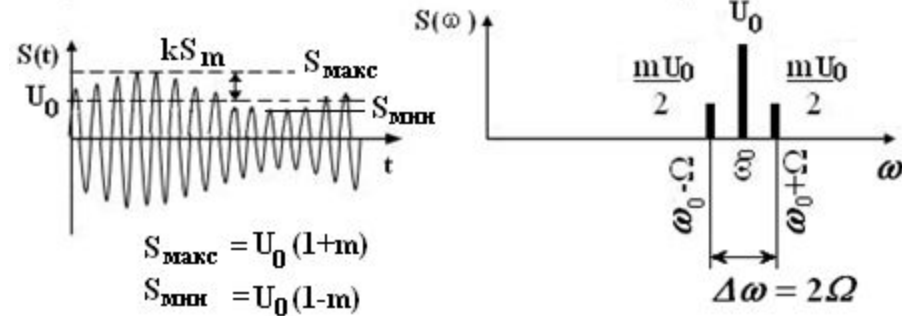
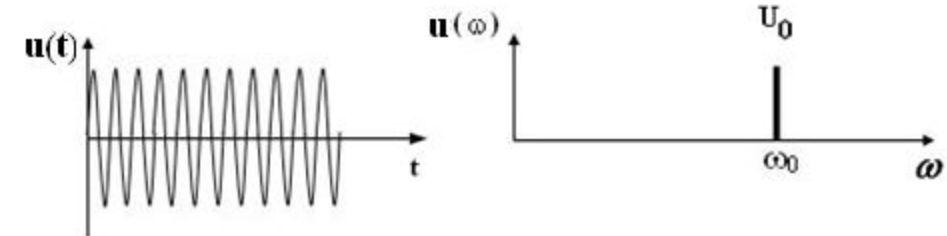
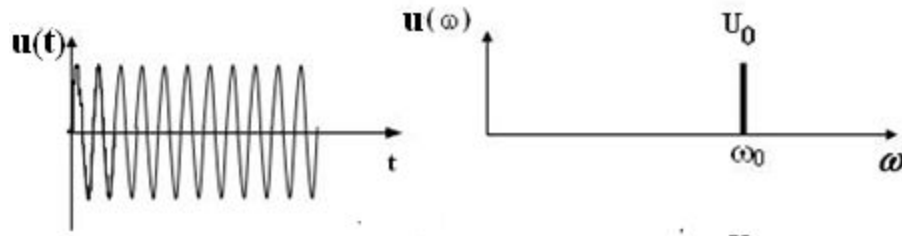
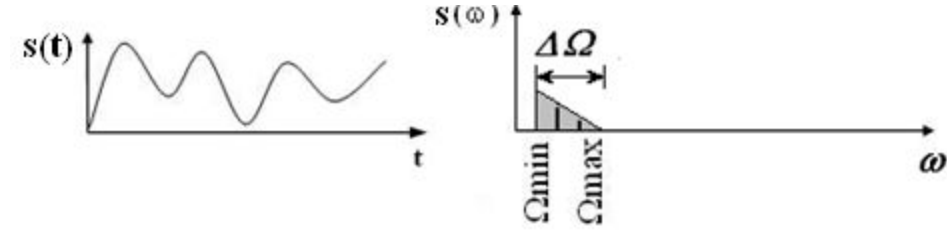
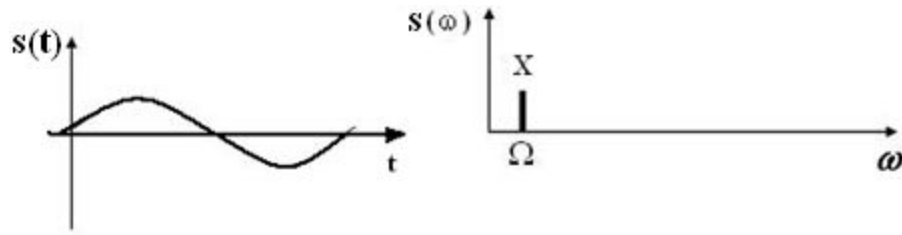
$$S(t) = U_0 [1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t); \quad m = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{S_i \text{ à è ñ} - S_i \text{ è i}}{S_i \text{ à è ñ} + S_i \text{ è i}}$$

Спектр однотонового АМ сигнала :

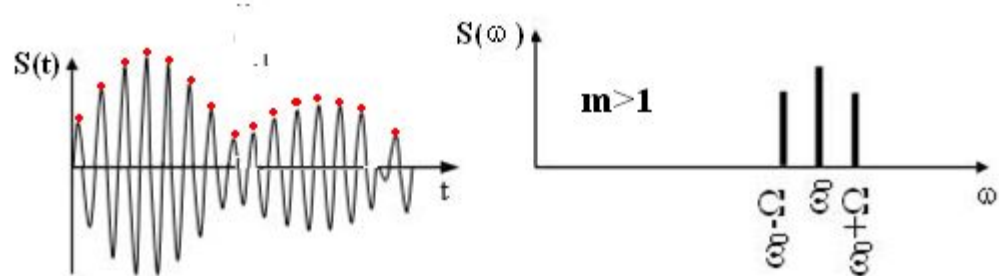
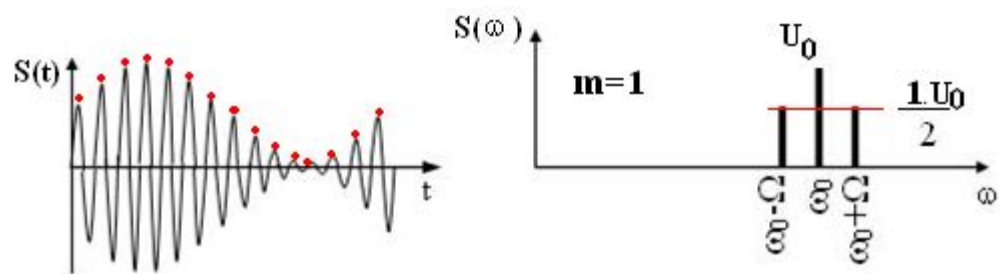
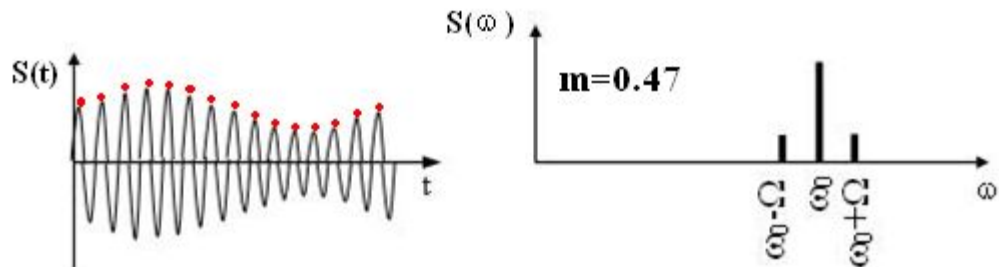
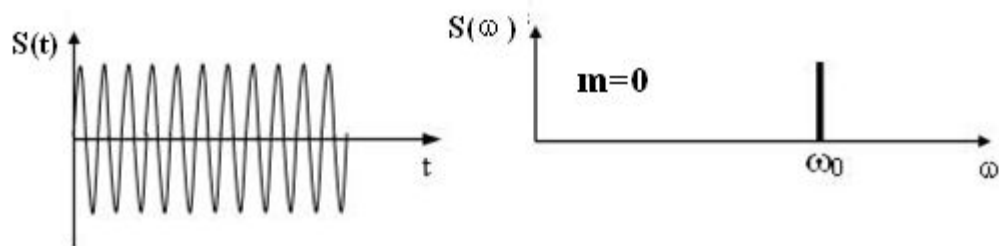
$$S(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + U_0 \cdot \cos[(\omega_0 + \Omega) \cdot t] + U_0 \cdot \cos[(\omega_0 - \Omega) \cdot t].$$

$$S(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + U_0 \cdot \cos[(\omega_0 + \Omega) \cdot t] + U_0 \cdot \cos[(\omega_0 - \Omega) \cdot t].$$
$$\Delta \omega = 2\Omega$$
$$\Delta \omega = 2\Omega$$

# Временная и спектральная диаграммы однополосного и многополосного АМ сигнала.

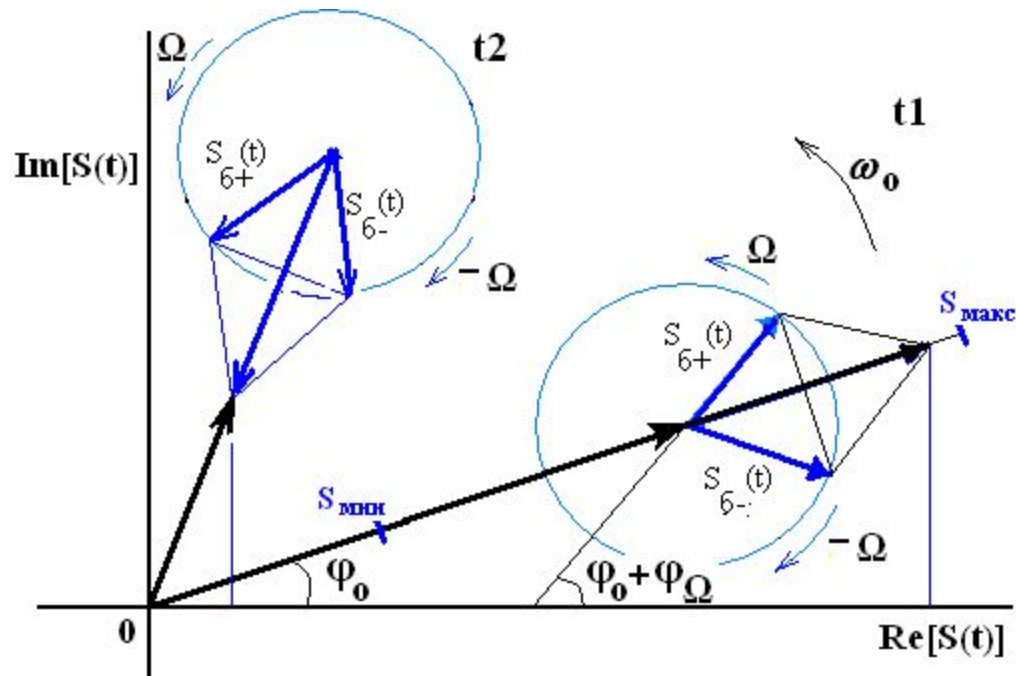


# Временная и спектральная диаграммы однотонального АМ сигнала при разных коэффициентах глубины модуляции. Перемодуляция.





# Векторная диаграммы однотонального АМ сигнала .



$$S(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) = \operatorname{Re} \left[ U_0 \cdot e^{j(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)} \right] = \operatorname{Re} \left[ U_0 \cdot e^{j\varphi_0} \cdot e^{j\omega_0 \cdot t} \right] = \operatorname{Re} \left[ U_0 \cdot e^{j\omega_0 \cdot t} \right] = \operatorname{Re} \left[ S(t) \right]$$

$$S(t) = \operatorname{Re} \left[ \left\{ U_0 \cdot e^{j\varphi_0} + \frac{mU_0}{2} e^{j(\varphi_0 + \varphi_\Omega)} e^{j\Omega} + \frac{mU_0}{2} e^{j(\varphi_0 - \varphi_\Omega)} e^{-j\Omega} \right\} e^{j\omega_0 \cdot t} \right] = \operatorname{Re} \left[ U_{AM}(t) e^{j\omega_0 \cdot t} \right]$$

$$\dot{S}_{\dot{a}+}(t) = \frac{mU_0}{2} e^{j(\varphi_0 + \varphi_\Omega)} \quad \dot{S}_{\dot{a}-}(t) = \frac{mU_0}{2} e^{j(\varphi_0 - \varphi_\Omega)}$$

## Энергетические соотношения при АМ.

Так как  $\Omega \ll \omega_0$ , то амплитуда сигнала АМ за время периода ВЧ сигнала практически не меняется.

Тогда средняя мощность за период ВЧ сигнала:

$$P_{\text{ср}} = U^2(t) / 2 = U_0^2 \cdot [1 + m \cos(\Omega \cdot t)]^2 / 2 = P_0 \cdot [1 + m \cos(\Omega \cdot t)]^2 = \\ = P_0 \cdot [1 + 2m \cos(\Omega \cdot t) + m^2 \cos^2(\Omega \cdot t)] = P_0 \cdot [1 + 2m \cos(\Omega \cdot t) + m^2 / 2 + m^2 \cos(2\Omega \cdot t) / 2]$$

Если  $\Omega t = \pi$  и  $m=1$   $P_{\text{ср}} = P_0(1-m)^2 = 0$

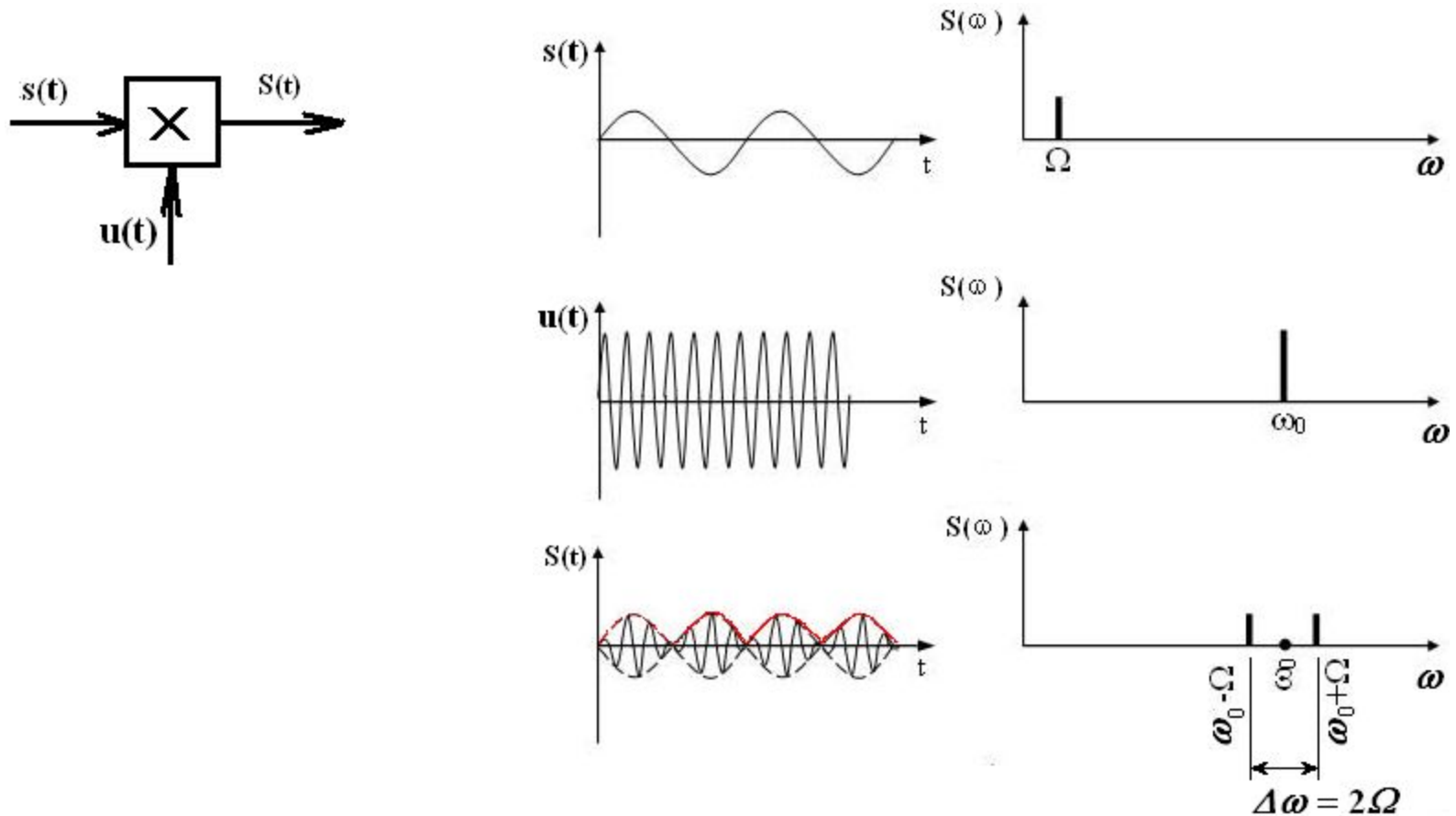
Если  $\Omega t = 0$  и  $m=1$   $P_{\text{ср}} = P_0(1+m)^2 = 4P_0$

Средняя мощность всего АМ сигнала есть сумма мощностей его гармоник:  $P_{\text{ср}} = P_0 + P_{\omega_0} + P_{\text{нб}} = P_0(1+m^2/2)$

## Балансная АМ . Подавление несущего сигнала.

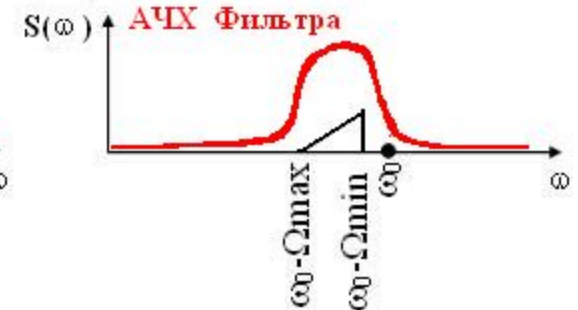
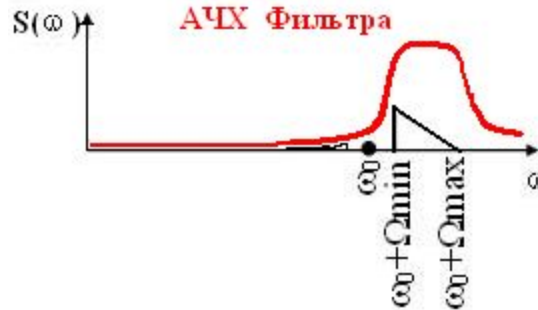
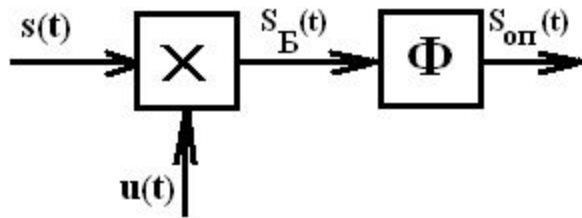
$$S(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = U_0 [k \cdot s(t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = U_0 \left[ m \cdot \frac{s(t)}{|s_{i \text{ аэñ}}|} \right] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$$

$$S(t) = U_0 [m \cdot \cos(\Omega \cdot t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = \frac{U_0 m}{2} \cos[(\Omega + \omega_0) \cdot t] + \frac{U_0 m}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega) \cdot t]$$



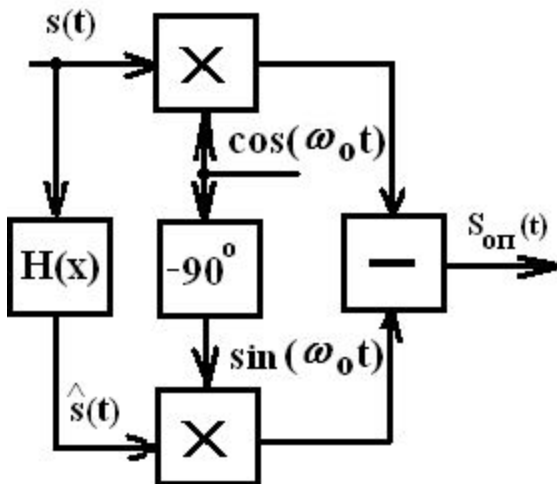
# Однополосная АМ . Подавление боковой полосы.

$$S(t) = \frac{U_0 m}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega) \cdot t + \varphi_0] = \frac{U_0 m}{2} [\cos(\Omega \cdot t) \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) - \sin(\Omega \cdot t) \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)]$$

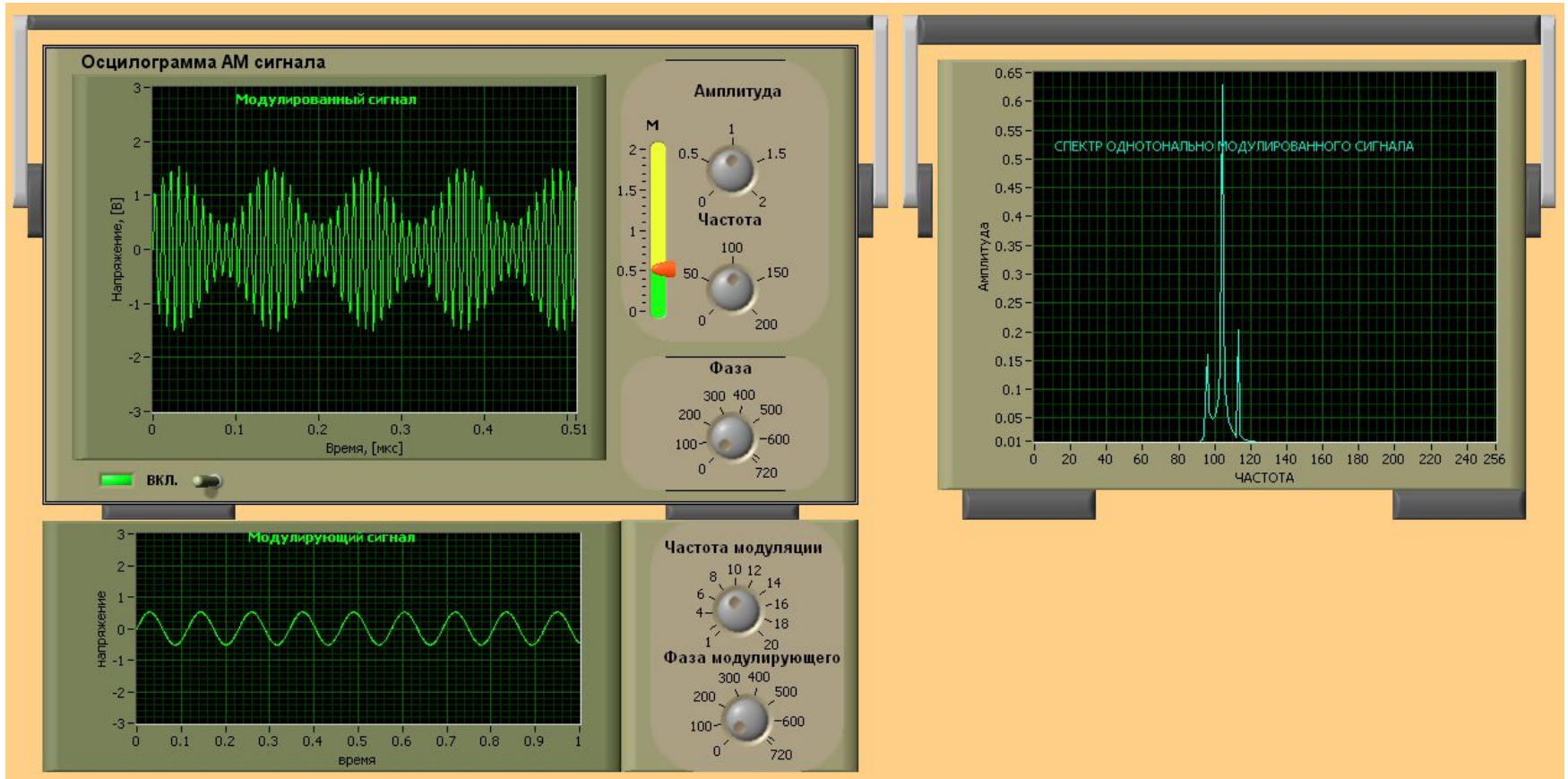


Воспользуемся моделью аналитического сигнала для узкополосного представления АМ сигнала в квадратурах:

$$S(t) = \text{Re} [s(t) e^{j\omega_0 t}] = \text{Re} [s(t) e^{j\omega_0 t} + j\hat{s}(t) e^{j\omega_0 t}] = s(t) \cos(\omega_0 t) - \hat{s}(t) \sin(\omega_0 t)$$



# Демонстрация АМ сигналов с использованием виртуальных приборов.



## Угловая модуляция и ее виды - ФМ и ЧМ.

Полная фаза сигнала. Фазовая модуляция.

$$S_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + \phi(t) + \phi_0] = U_H \cos[\Psi(t)]$$

Полная фаза сигнала  $\Psi(t) = \omega_0 t + ks(t)$   $k$  - девиация фазы - индекс фазовой модуляции ( $\beta$ )

Математическая модель ФМ сигнала  $S_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + ks(t)]$

Мгновенная частота сигнала. Частотная модуляция.

Мгновенная частота сигнала с угловой модуляцией - производная по времени от полной фазы:

$\omega$

$$\omega(t) = d\Psi/dt$$

При этом 
$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^t \omega(\tau) d\tau + \phi_0$$

Предположим, что мгновенная частота  $\omega(t)$  связана с модулирующим сигналом соотношением  $\omega(t) = \omega_0 + ks(t)$ .

Максимальное приращение частоты выше или ниже частоты  $\omega_0$  называется **девиацией частоты** -

$$\Delta\omega = ks_{\text{max}}$$

Тогда фазовый угол при ЧМ будет изменяться по закону 
$$\Psi(t) = \int_{-\infty}^t [\omega_0 \tau + ks(\tau)] d\tau = \omega_0 t + k \int_{-\infty}^t s(\tau) d\tau + \phi_0$$

Математическая модель ЧМ сигнала 
$$S_{\text{ЧМ}}(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + k \int_{-\infty}^t s(\tau) d\tau + \phi_0\right)$$

**Принципиальная разница двух сигналов состоит в том что фазовый сдвиг между ФМ сигналом и немодулированным сигналом пропорционален модулирующему сигналу, а фазовый сдвиг между ЧМ сигналом и немодулированным сигналом пропорционален интегралу от модулирующего сигнала.**

Пусть мгновенная частота несущего колебания изменяется по гармоническому закону:

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cos(\Omega t + \psi)$$

Тогда полная фаза такого сигнала  $\Psi(t) = \omega_0 t + [\Delta\omega/\Omega] \sin(\Omega t + \psi) + \phi_0$

Величина  $m = \Delta\omega/\Omega = \beta$  - индекс угловой модуляции, и по физическому смыслу представляет собой *девиацию фазы* такого сигнала.

Запишем математическую модель ЧМ сигнала с однотональной модуляцией, полагая постоянные значения начальных фаз  $\psi$  и  $\phi_0$  равными нулю.

$$u_{\text{ЧМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + m \sin(\Omega t)]$$

Но точно такое же выражение имеет и ФМ сигнал с однотональной модуляцией.

$$u_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos[\omega_0 t + m_\phi \sin(\Omega t)]$$

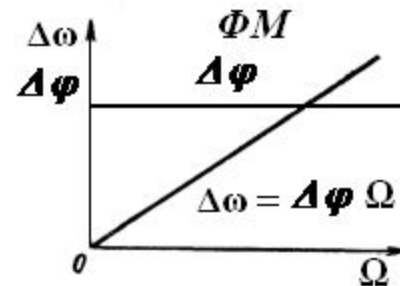
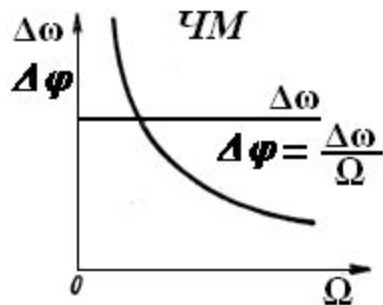
Мгновенная частота такого сигнала после дифференцирования полной фазы

$$\omega(t) = \omega_0 + m_\phi \Omega \cos \Omega t$$

В ЧМ сигнале девиация частоты определяется амплитудой и не зависит от частоты модулирующего сигнала.

В ФМ сигнале индекс модуляции пропорционален амплитуде модулирующего сигнала независимо от частоты.

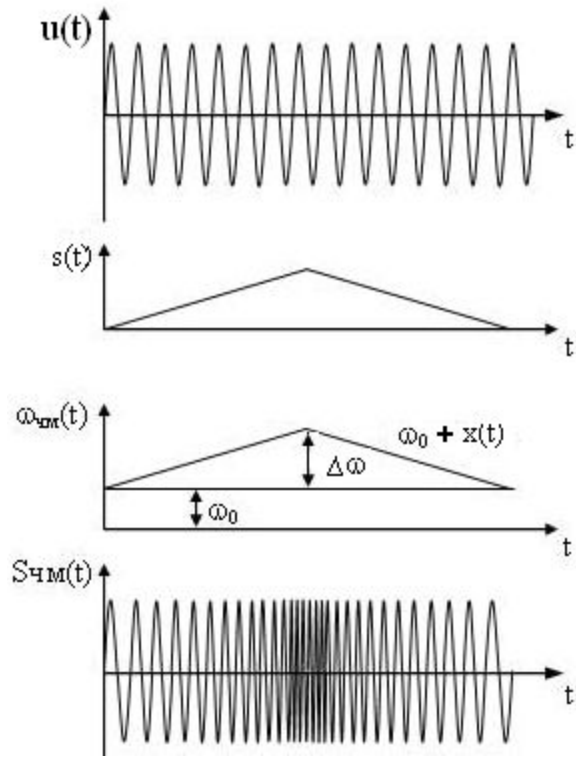
По этому девиация частоты в ФМ сигнале линейно увеличивается с ростом частоты.



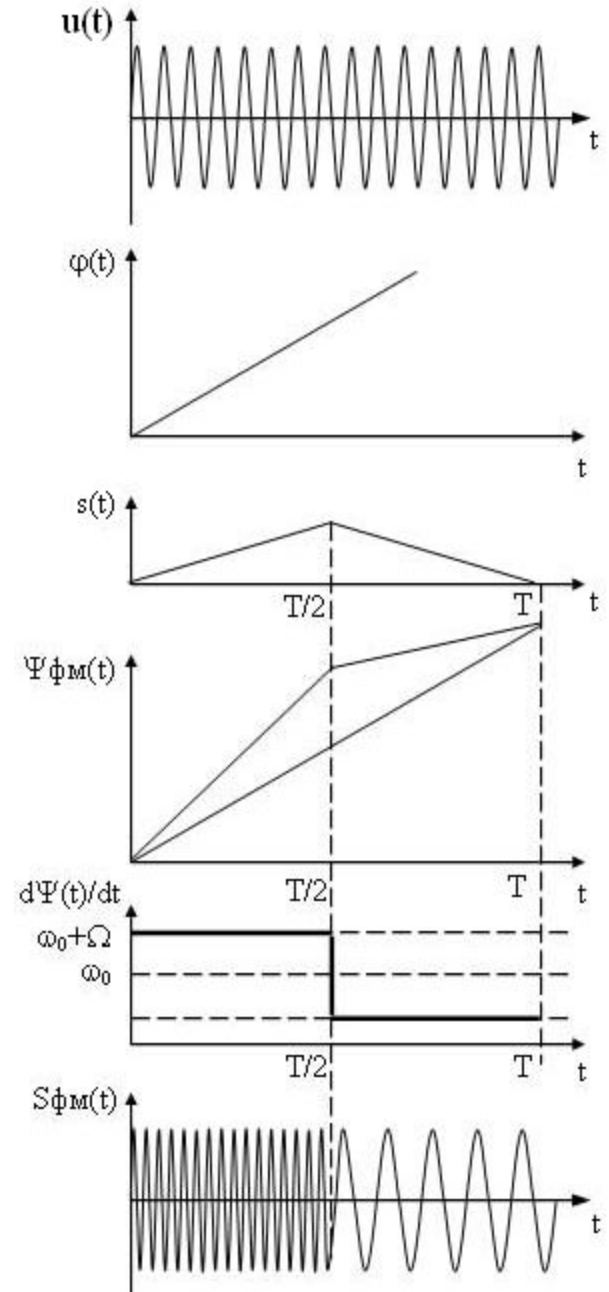
$$S_{\text{ЧМ}}(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t) + \phi_0\right)$$

$$S_{\text{ФМ}}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\phi \cos(\Omega t))$$

# Частотная модуляция



# Фазовая

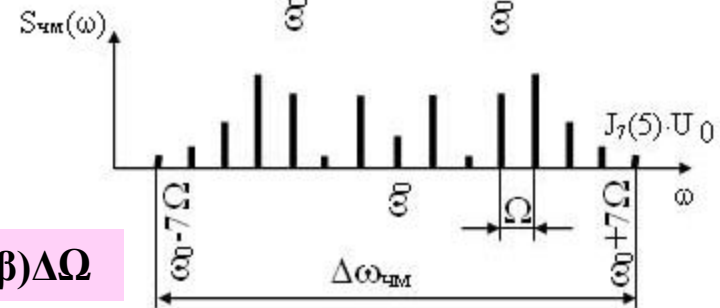
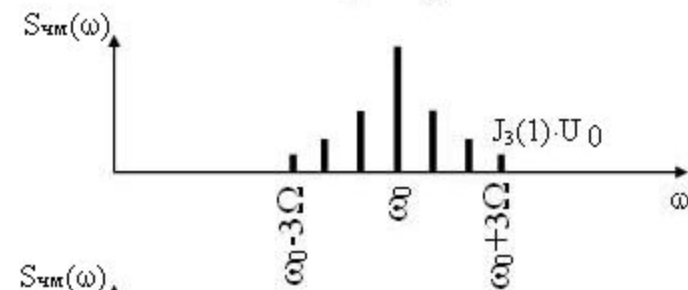
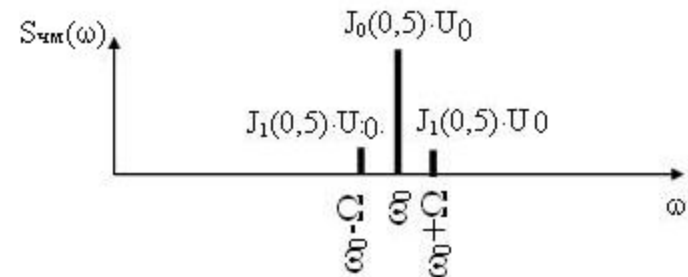
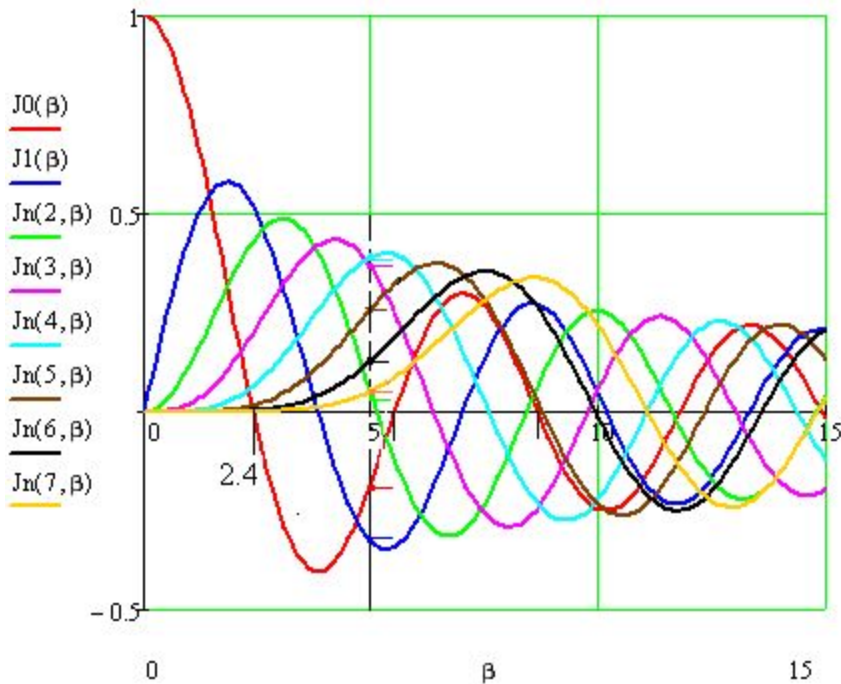




$$S_{YI}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \beta \sin(\Omega t) + \varphi_0) = \text{Re} \left[ e^{j[\omega_0 t + \beta \sin(\Omega t) + \varphi_0]} \right] = \text{Re} \left[ e^{j[\omega_0 t + \varphi_0]} e^{j[\beta \sin(\Omega t)]} \right]$$

$$e^{j[\beta \sin(\Omega t)]} = \sum_{k=0}^{\infty} J_k(\beta) e^{jk\Omega t}$$

$$S_{YI}(t) = U_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta) \cos(\omega_0 + k\Omega)t + \varphi_0$$



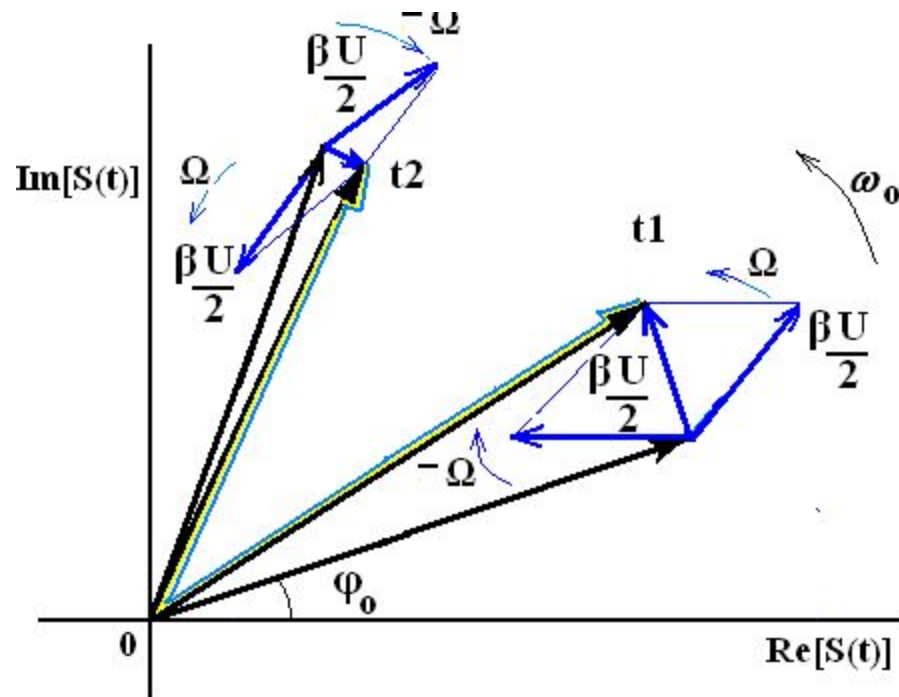
Ширина спектра  $\Delta\omega_{\text{ЧМ}} = 2(1+\beta)\Delta\Omega$

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x \frac{dy}{dx} + (x^2 - \alpha^2)y = 0, \quad y(x) = C_1 J_\alpha(x) + C_2 Y_\alpha(x).$$

$$J_\alpha(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(m + \alpha + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m + \alpha}$$

$$Y_\alpha(x) = \frac{J_\alpha(x) \cos(\alpha\pi) - J_{-\alpha}(x)}{\sin(\alpha\pi)},$$

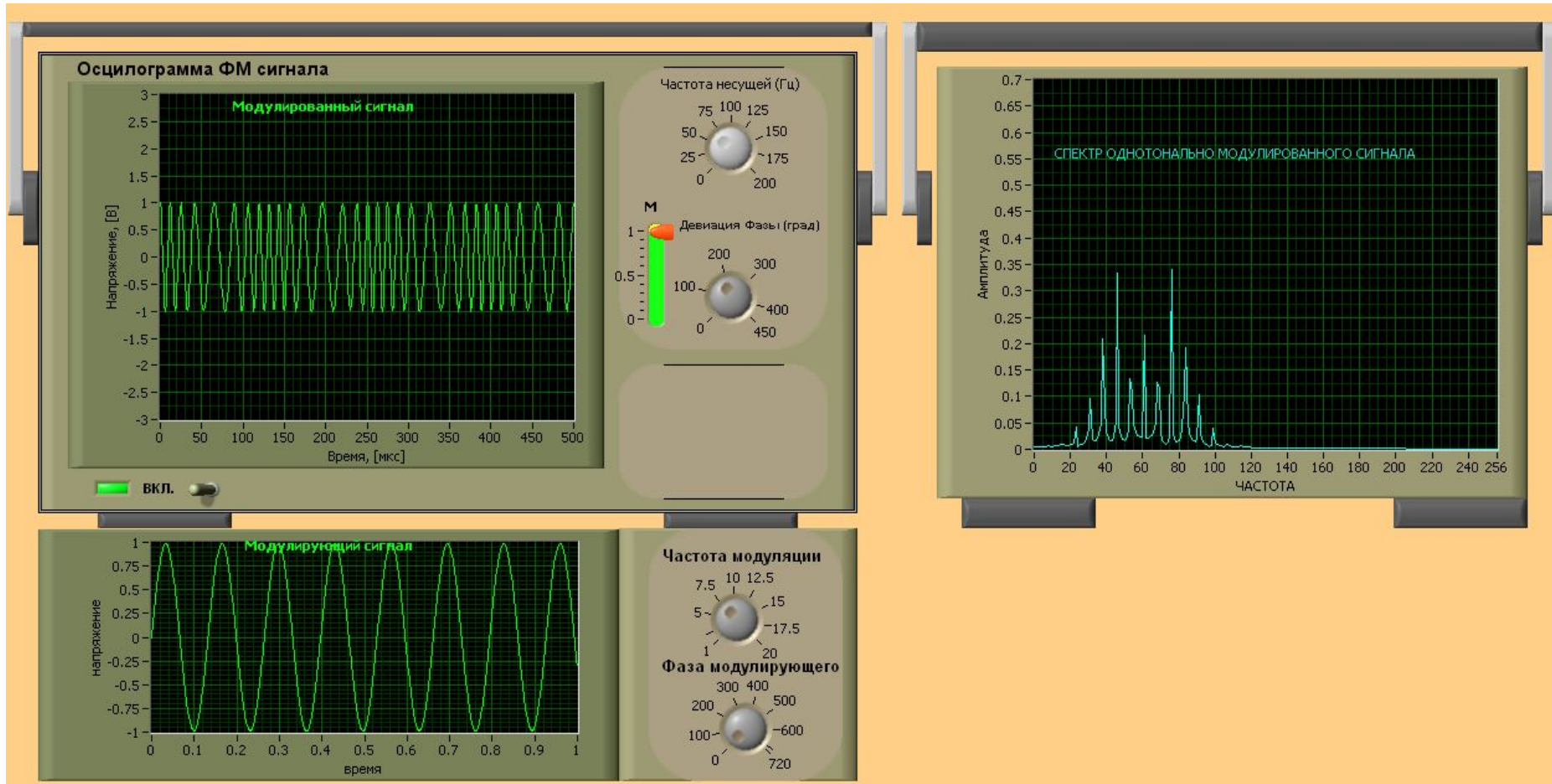
$$J_\alpha(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i(\alpha\tau - x \sin \tau)} d\tau$$



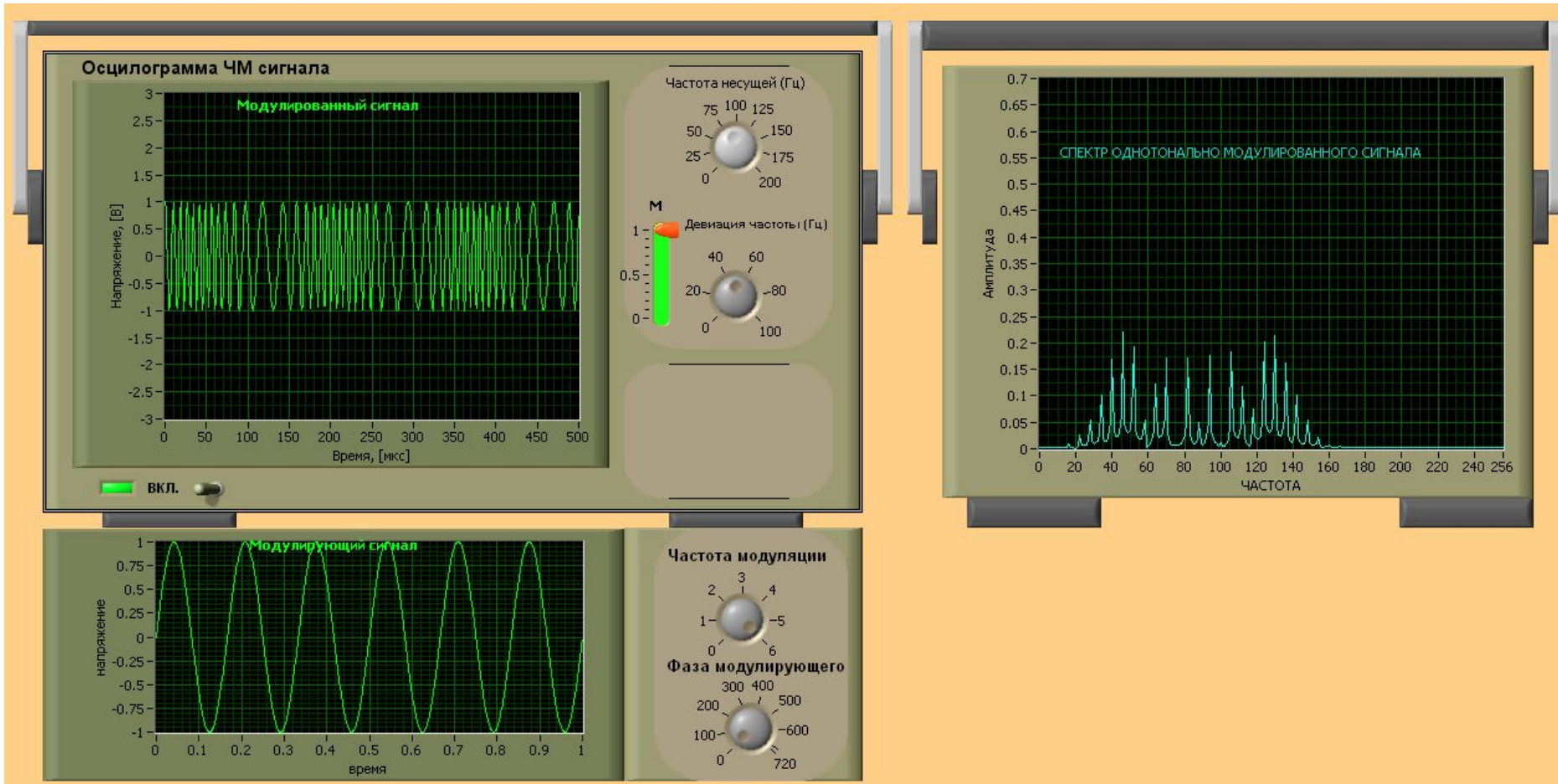
$$\begin{aligned}
 S(t) &= U \cdot \cos[\beta \cdot \sin(\Omega t)] \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) - U \cdot \sin[\beta \cdot \sin(\Omega t)] \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) = \\
 &= U \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) - U \cdot \beta \cdot \sin(\Omega t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) = \\
 &= U \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) + \frac{U \cdot \beta}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega) \cdot t + \varphi_0] - \frac{U \cdot \beta}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega) \cdot t + \varphi_0].
 \end{aligned}$$

$$\Delta \omega = 2\Omega$$

# Демонстрация ФМ сигналов с использованием виртуальных приборов.



# Демонстрация ЧМ сигналов с использованием виртуальных приборов.



Эффективная ширина спектра УМ сигналов при малых индексах модуляции  $\beta \ll 1$  равна удвоенной полосе частот модулирующего сигнала  $\Delta \omega_{УМ} = 2 \Omega (1 + \beta) = 2 \Omega$

Эффективная ширина спектра УМ сигналов при больших индексах модуляции  $\beta \gg 1$  равна удвоенной девиации частоты

$$\Delta \omega_{УМ} = 2 \Omega (1 + \beta) = 2 \Omega \beta = 2 \frac{\Delta \omega}{\Omega} \Omega = 2 \Delta \omega$$

Достоинством частотной модуляции являются:

- высокая помехоустойчивость;
- более эффективное использование мощности передатчика;
- сравнительная простота получения модулированных сигналов.

Основным недостатком данной модуляции является большая ширина спектра модулированного сигнала.

Частотная модуляция используется:

- в системах телевизионного вещания (для передачи сигналов звукового сопровождения);
- системах спутникового теле- и радиовещания;
- системах высококачественного стереофонического вещания (FM диапазон);
- радиорелейных линиях (РРЛ);
- сотовой телефонной связи.

Достоинствами фазовой модуляции являются:

- высокая помехоустойчивость;
- более эффективное использование мощности передатчика.

Недостатками фазовой модуляции являются:

- большая ширина спектра;
- сравнительная трудность получения модулированных сигналов и их детектирование

**Факторы, обуславливающие применение модулированных радиосигналов.**

1. Для эффективного излучения сигнала антенной, ее размеры должны быть сравнимы с длиной излучаемой волны.

$$\lambda = c / f$$

**Значит для малых размеров антенн частота несущего сигнала должна быть высокой.**

2. Для неискаженного прохождения сигналов через антенно-фидерные устройства и радиотехнические цепи обработки необходимо, чтобы эффективная ширина спектра передаваемого радиосигнала была значительно меньше частоты несущего сигнала.

$$\frac{\Delta \omega_{\text{эф}}}{\omega_0} \ll 1$$

**Узкополосные сигналы АМ**

Для сигналов с АМ эффективная ширина спектра в два раза больше максимальной частоты модулирующего сигнала

$$\Delta \omega_{\text{эф}} = 2 \omega_{\text{МАКС}} = 2 \Omega_{\text{МАКС}}$$

Следовательно, для того чтобы радиосигнал был узкополосным необходимо выполнение условия

$$\frac{\Delta \omega_{\text{эф}}}{\omega_0} = \frac{2 \Omega_{\text{МАКС}}}{\omega_0} \ll 1$$

Если сигнал узкополосный, то его спектр можно представить с использованием свойств преобразования Фурье как смещение спектра модулирующего сигнала  $S_x(\omega)$  в область несущей частоты и зеркального отображения в область отрицательной несущей частоты

$$S_{AM}(\omega) = \frac{1}{2} S_x(\omega + \omega_0) + \frac{1}{2} S_x(\omega - \omega_0)$$

Модель радиосигнала с УМ в квадратурах - сумма двух АМ сигналов:

$$S(t) = U_0 \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi(t)] = \{U_0 \cos[\varphi(t)]\} \cos(\omega_0 \cdot t) - \{U_0 \sin[\varphi(t)]\} \sin(\omega_0 \cdot t)$$

Следовательно эффективная ширина спектра определяется максимальной частотой сигнала АМ. А она в свою очередь определяется максимальной частотой спектральной функции  $\cos[\varphi(t)]$  косвенно:

$$\Omega_{МАКС} = \Omega(\beta + 1)$$

### Комплексная огибающая модулированного узкополосного радиосигнала сигнала

Общая модель модулированного сигнала  $S(t) = U(t) \cos[\Psi(t)] = U(t) \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi(t) + \varphi_0]$

Соответствующий комплексный сигнал

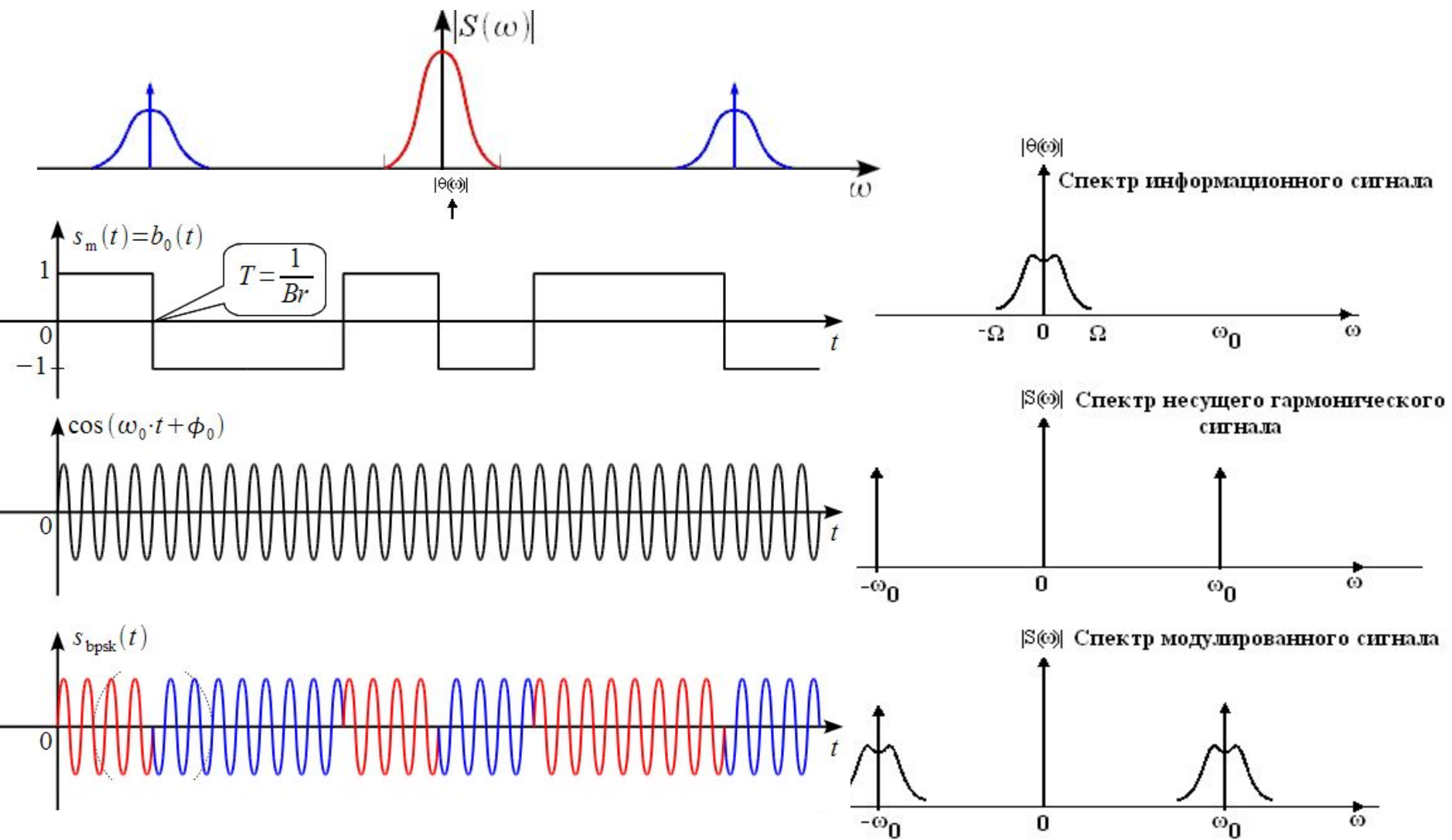
$$\begin{aligned} \dot{S}(t) &= \dot{U}(t)e^{j\omega_0 \cdot t} = S(t) + j\dot{S}(t) = U(t) \cos[\Psi(t)] + jU(t) \sin[\Psi(t)] = \\ &= U(t) \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi(t) + \varphi_0] + jU(t) \sin[\omega_0 \cdot t + \varphi(t) + \varphi_0] = U(t) e^{j[\omega_0 \cdot t + \varphi(t) + \varphi_0]} = U(t) e^{j[\varphi(t) + \varphi_0]} e^{j\omega_0 \cdot t} \end{aligned}$$

Комплексная огибающая узкополосного сигнала  $\dot{U}(t) = U(t) e^{j[\varphi(t) + \varphi_0]}$

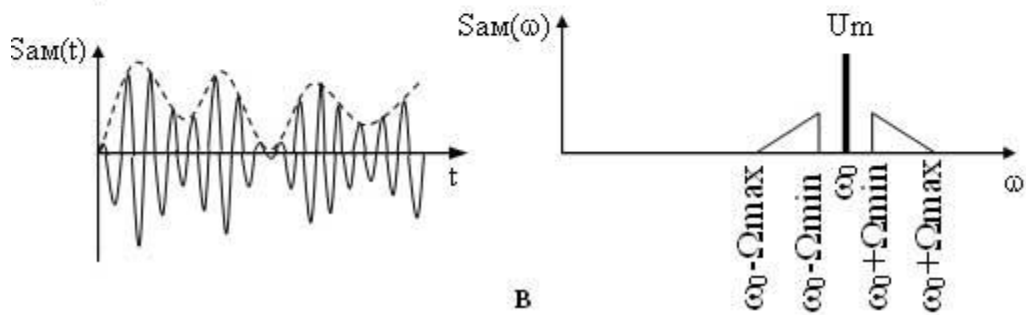
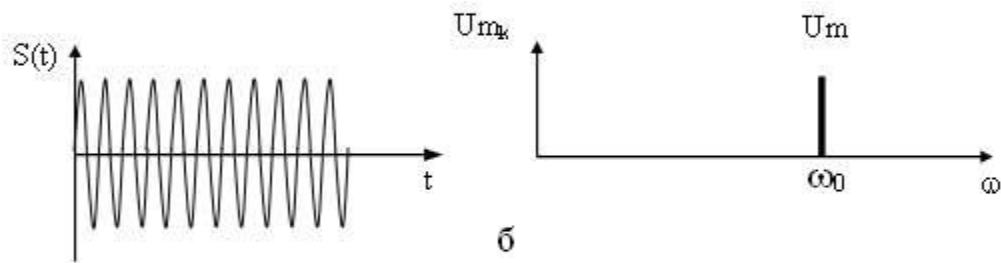
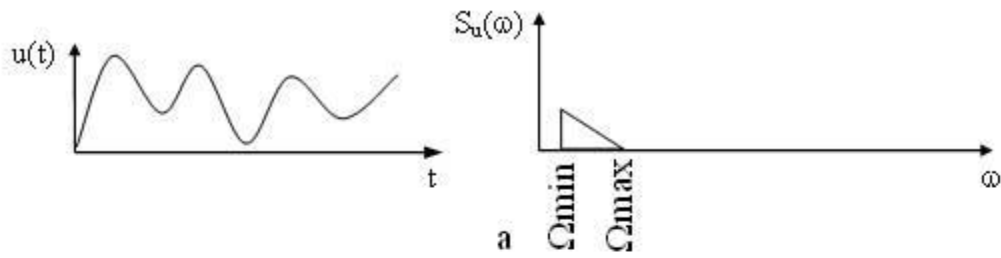
Физическая огибающая узкополосного сигнала  $|U(t)| = U(t) = \sqrt{S^2(t) + \dot{S}^2(t)}$

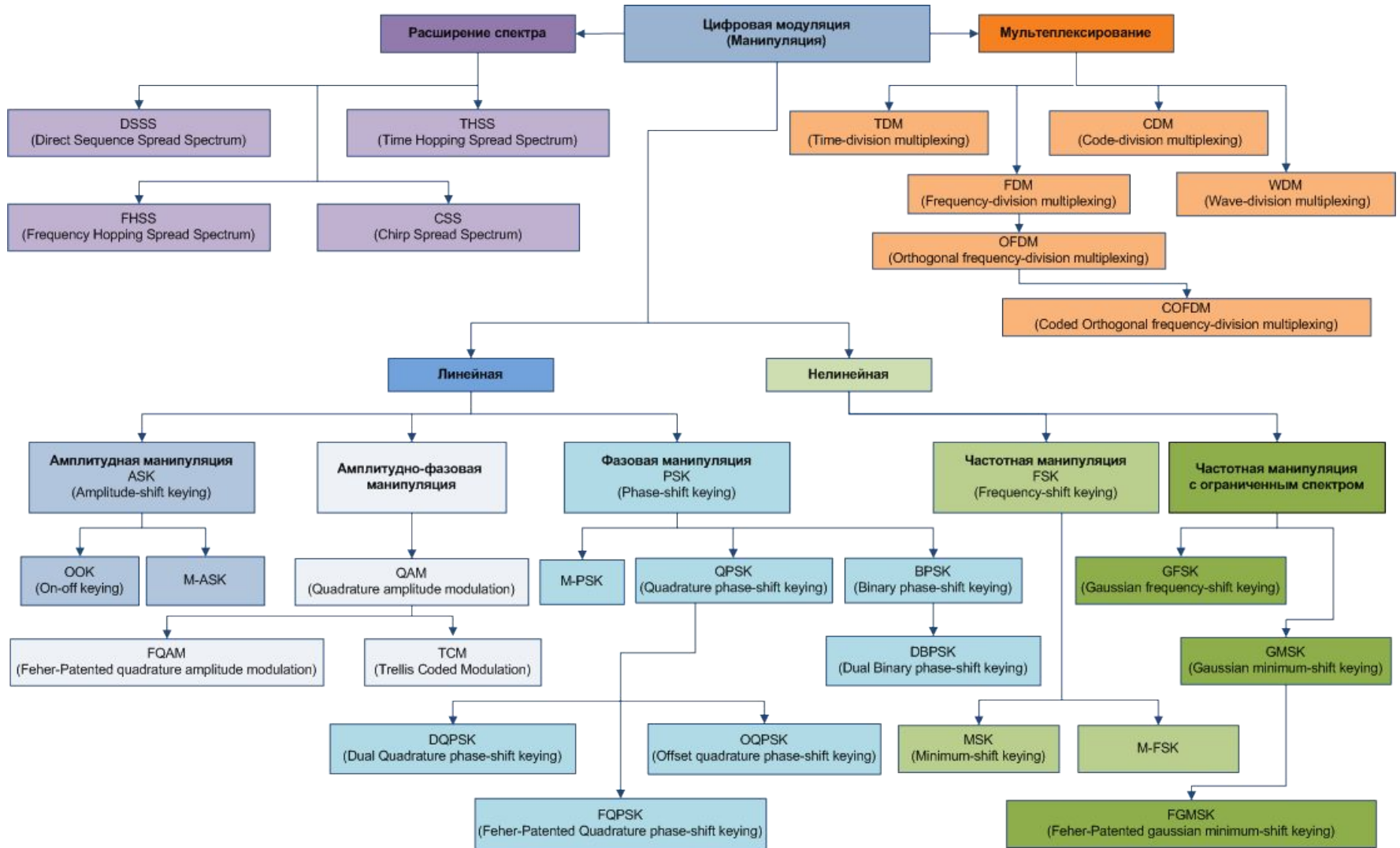
Фаза физической огибающей узкополосного сигнала  $\arg[U(t)] = \Psi(t) = \varphi(t) + \varphi_0 = \arctg \frac{\dot{S}(t)}{S(t)}$

Мгновенная частота  $\omega(t) = \frac{d\Psi(t)}{dt} = \frac{\dot{S}'(t)S(t) - \dot{S}(t)S'(t)}{S^2(t) + \dot{S}^2(t)}$









# Стандартизованные аббревиатуры типов модуляции

Кодовое обозначение	рус. Тип модуляции сигнала	англ. Type of signal modulation
<b>QPSK</b>	квадратурная фазовая манипуляция	quadrature phase shift keying
<b>ADM</b>	адаптивная дельта-модуляция	adaptive delta modulation
<b>ADPCM</b>	адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция	adaptive differential pulse code modulation
<b>ADSM</b>	асинхронная дельта-модуляция	asynchronous delta sigma modulation
<b>AFM</b>	амплитудно-частотная модуляция	amplitude-frequency modulation
<b>APCM</b>	адаптивная импульсно-кодовая модуляция	adaptive pulse-code modulation
<b>APK</b>	амплитудно-фазовая манипуляция (система манипуляции)	amplitude phase keying (keyed-system)
<b>APM</b>	амплитудно-фазовая модуляция	amplitude phase modulation
<b>APSK</b>	амплитудно-фазовая манипуляция	amplitude phase shift keying
<b>BCFSK</b>	частотная манипуляция двоичным кодом	binary code frequency shift keying
<b>BDM</b>	двоичная дельта модуляция	binary delta modulation
<b>BDPSK</b>	двоичная дифференциальная фазовая манипуляция	binary differential phase shift keying
<b>BFSK</b>	двоичная частотная манипуляция	binary frequency shift keying
<b>BPSK</b>	двоичная фазовая манипуляция	binary phase shift keying
<b>C4FM</b>	непрерывная четырехуровневая частотная модуляция	continuous 4-level frequency modulation
<b>CAP</b>	амплитудно-фазовая модуляция без несущей	Carrierless AM-PM
<b>CASK M=16</b>	когерентная амплитудная манипуляция	coherent amplitude shift keying BIPOLAR
<b>CASK M=2</b>	когерентная амплитудная манипуляция однополярная	coherent amplitude shift keying UNIPOLAR

<b>CDM</b>	компрессированная дельта модуляция	companded delta modulation
<b>CFM</b>	компрессированная частотная модуляция	companded frequency modulation
<b>CFSK M=2, 4</b>	когерентная частотная манипуляция	coherent frequency shift keying
<b>CIM</b>	импульсно-кодовая модуляция	coded impulse modulation
<b>CPFSK</b>	частотная манипуляция с непрерывной фазой	continuous phase frequency shift keying
<b>CPM</b>	фазовая модуляция с непрерывной фазой	continuous phase modulation
<b>CPSK</b>	когерентная фазовая манипуляция	coherent phase shift keying
<b>CQPSK</b>	когерентная четвертичная фазовая манипуляция	coherent quadriphase shift keying
<b>DDM</b>	относительная дискретная модуляция	difference discrete modulation
<b>DECPSK K</b>	дифференциально-кодированная когерентная фазовая манипуляция	differentially encoded coherent phase shift keying
<b>DEPSK</b>	дифференциально-кодированная фазовая манипуляция	differential encoded phase shift keying
<b>DFSK</b>	двойная частотная манипуляция	double frequency shift keying
<b>DM</b>	дельта модуляция	delta modulation
<b>DMT</b>	многоканальная модуляция (дискретный мультифон)	Multitone modulation (discrete Multitone)
<b>DPCM</b>	дифференциальная импульсно-кодовая модуляция	differential pulse-code modulation
<b>DPCM</b>	дельта импульсно-кодовая модуляция	delta pulse-code modulation
<b>DPM</b>	дифференциальная фазовая модуляция	differential phase modulation
<b>DPPM</b>	дифференциальная импульсно-позиционная модуляция	differential pulse position modulation
<b>DPSK M=2(4,8,16)</b>	дифференциальная фазовая манипуляция	differential phase shift keying

<b>DQPSK</b>	дифференциальная QPSK (см. QPSK)	differential QPSK
<b>FFSK</b>	фильтруемая частотная манипуляция	filtered FSK
<b>FM</b>	частотная модуляция	frequency modulation
<b>FMFB</b>	частотная модуляция с обратной связью	frequency modulation feedback
<b>FM-PM</b>	частотно-фазовая модуляция	frequency modulation-phase modulation
<b>FSK</b>	частотная манипуляция	frequency shift keying
<b>GFPM</b>	частотно-позиционная модуляция со стробированием	gated frequency position modulation
<b>GMSK</b>	минимальная манипуляция с гауссовым фильтром или гауссовская минимальная манипуляция	gaussian filtered minimum shift keying or gaussian minimum shift keying
<b>GTFM</b>	«прирученная» частотная модуляция	generalized tamed frequency modulation
<b>HADM</b>	гибридная аналогово-цифровая модуляция	hibrid analog and digital modulation
<b>HM</b>	гибридная модуляция или фоновая модуляция	hibrid modulation or hum modulation
<b>LDM</b>	линейная дельта-модуляция	linear delta modulation
<b>LPCM</b>	линейная импульсно-кодовая модуляция	linear pulse code modulation
<b>MFKP</b>	многоканальная манипуляция	multi-frequency key pulsing
<b>MFSK</b>	многократная или многоуровневая частотная манипуляция	multiple or multilevel FSK
<b>MPSK</b>	многократная фазовая манипуляция	multiple PSK
<b>MSK</b>	минимальная манипуляция	minimum shift keying
<b>NBFM</b>	узкополосная частотная модуляция	narrow-band frequency modulation

<b>NCASK M=2</b>	некогерентная амплитудная манипуляция	noncoherent amplitude shift keying
<b>NCFSK M=2 (4, 8)</b>	некогерентная частотная манипуляция	noncoherent frequency shift keying
<b>OQPSK</b>	квадратурно-фазовая манипуляция со сдвигом (частоты)	offset QPSK
<b>PACM</b>	амплитудная импульсно-кодовая модуляция	pulse amplitude code modulation
<b>PAM</b>	амплитудно-фазовая модуляция, амплитудно-импульсная модуляция АИМ	phase amplitude modulation, pulse-amplitude modulation
<b>PBM</b>	пакетно-импульсная модуляция	pulse burst modulation
<b>PCM-FM</b>	ИЧМ-ЧМ (импульсно-кодовая модуляция)	pulse-code frequency modulation
<b>PDBM</b>	двоичная фазо-импульсная модуляция	pulse delay binary modulation
<b>PDM-FM</b>	ШИМ-ЧМ (широтно-импульсная модуляция)	pulse-frequency modulation
<b>PFM</b>	ЧИМ (частотно-импульсная модуляция)	pulse frequency modulation
<b>PFSK</b>	частотно-фазовая манипуляция	phase frequency shift keying
<b>PHDM</b>	фазо-разностная модуляция	phase difference modulation
<b>PIM</b>	ФИМ (фазо-импульсная модуляция)	pulse interval modulation
<b>PM</b>	фазовая модуляция	phase modulation
<b>PNM</b>	импульсно-числовая модуляция	pulse number modulation
<b>PPBM</b>	двоичная поляризационно-импульсная модуляция	pulse polarization binary modulation
<b>PPM</b>	фазо-импульсная модуляция	pulse phase modulation
<b>PRM</b>	ЧИМ (частотно-импульсная модуляция)	pulse rate modulation

<b>PSK</b>	фазовая манипуляция	phase shift keying
<b>PTM</b>	ШИМ и фазо-временная модуляция	pulse time modulation and phase time modulation
<b>QAM m=4 (16)</b>	квадратурно-амплитудная модуляция	quadrature amplitude modulation
<b>QM</b>	квадратурная модуляция	quadrature modulation
<b>QPAM</b>	АИМ с квантованием	quantized pulse amplitude modulation
<b>QPSK</b>	квадратурно-фазовая манипуляция	quadrature phase shift keying
<b>QPSK</b>	четвертично-фазовая манипуляция	quaternary phase shift keying
<b>RPSK</b>	относительная фазовая манипуляция	relative phase shift keying
<b>SDM</b>	статистическая дельта модуляция	statistic delta modulation
<b>SFM</b>	ЛЧМ и пространственная частотная модуляция	swept frequency or space frequency modulation
<b>SIDM</b>	дельта модуляция с единичной интерацией	single integration delta modulation
<b>SQFM</b>	симметричная квадратичная частотная модуляция	symmetric quadratic frequency modulation
<b>SQPS</b>	ступенчатая квадратурно-фазовая манипуляция	staggered QPSK
<b>SSM</b>	модуляция с расширенным спектром	spread spectrum modulation
<b>SSPSK</b>	фазовая манипуляция с расширенным спектром	spread spectrum phase shift keying
<b>TFM</b>	управляемая частотная модуляция	tamed frequency modulation
<b>WBFM</b>	широкополосная частотная модуляция	wideband frequency modulation

<b>QPSK</b>	<a href="#">квадратурная фазовая манипуляция</a>	quadrature phase shift keying
<b>ADM</b>	<a href="#">адаптивная дельта-модуляция</a>	adaptive delta modulation
<b>ADPCM</b>	<a href="#">адаптивная дифференциальная импульсно-кодовая модуляция</a>	adaptive differential pulse code modulation
<b>ADSM</b>	<a href="#">асинхронная сигма-дельта-модуляция</a>	asynchronous delta sigma modulation
<b>AFM</b>	<a href="#">амплитудно-частотная модуляция</a>	amplitude-frequency modulation
<b>APCM</b>	<a href="#">адаптивная импульсно-кодовая модуляция</a>	adaptive pulse-code modulation
<b>APK</b>	<a href="#">амплитудно-фазовая манипуляция (система манипуляции)</a>	amplitude phase keying (keyed-system)
<b>APM</b>	<a href="#">амплитудно-фазовая модуляция</a>	amplitude phase modulation
<b>APSK</b>	<a href="#">амплитудно-фазовая манипуляция</a>	amplitude phase shift keying
<b>BCFSK</b>	<a href="#">частотная манипуляция двоичным кодом</a>	binary code frequency shift keying

<b>BDM</b>	<a href="#">двоичная дельта модуляция</a>	binary delta modulation
<b>BDPSK</b>	<a href="#">двоичная дифференциальная фазовая манипуляция</a>	binary differential phase shift keying
<b>BFSK</b>	<a href="#">двоичная частотная манипуляция</a>	binary frequency shift keying
<b>BPSK</b>	<a href="#">двоичная фазовая манипуляция</a>	binary phase shift keying
<b>C4FM</b>	<a href="#">непрерывная четырёхуровневая частотная модуляция</a>	continuous 4-level frequency modulation
<b>CAP</b>	<a href="#">амплитудно-фазовая модуляция без несущей</a>	Carrierless AM-PM
<b>CASK M=16</b>	<a href="#">когерентная амплитудная манипуляция</a>	coherent amplitude shift keying BIPOLAR
<b>CASK M=2</b>	<a href="#">когерентная амплитудная манипуляция однополярная</a>	coherent amplitude shift keying UNIPOLAR
<b>CDM</b>	<a href="#">компрессированная дельта модуляция</a>	companded delta modulation
<b>CFM</b>	<a href="#">компрессированная частотная модуляция</a>	companded frequency modulation

<b>CFSK M=2, 4</b>	<b>когерентная частотная манипуляция</b>	coherent frequency shift keying
<b>CIM</b>	<b>импульсно-кодовая модуляция</b>	coded impulse modulation
<b>CPFSK</b>	<b>частотная манипуляция с непрерывной фазой</b>	continuous phase frequency shift keying
<b>CPM</b>	<b>фазовая модуляция с непрерывной фазой</b>	continuous phase modulation
<b>CPSK</b>	<b>когерентная фазовая манипуляция</b>	coherent phase shift keying
<b>CQPSK</b>	<b>когерентная четвертичная фазовая манипуляция</b>	coherent quadriphase shift keying
<b>DDM</b>	<b>относительная дискретная модуляция</b>	difference discrete modulation
<b>DECPSK</b>	<b>дифференциально-кодированная когерентная фазовая манипуляция</b>	differentially encoded coherent phase shift keying
<b>DEPSK</b>	<b>дифференциально-кодированная фазовая манипуляция</b>	differential encoded phase shift keying
<b>DFSK</b>	<b>двойная частотная манипуляция</b>	double frequency shift keying

<b>DM</b>	<b>дельта модуляция</b>	delta modulation
<b>DMT</b>	<b>многоканальная модуляция (Дискретный мультифон)</b>	Multitone modulation (discrete Multitone)
<b>DPCM</b>	<b>дифференциальная импульсно-кодовая модуляция</b>	differential pulse-code modulation
<b>DPCM</b>	<b>дельта импульсно-кодовая модуляция</b>	delta pulse-code modulation
<b>DPM</b>	<b>дифференциальная фазовая модуляция</b>	differential phase modulation
<b>DPPM</b>	<b>дифференциальная импульсно-позиционная модуляция</b>	differential pulse position modulation
<b>DPSK M=2(4,8,16)</b>	<b>дифференциальная фазовая манипуляция</b>	differential phase shift keying
<b>DQPSK</b>	<b>дифференциальная QPSK (см. QPSK)</b>	differential QPSK
<b>FFSK</b>	<b>фильтруемая частотная манипуляция</b>	filtered FSK
<b>FM</b>	<b>частотная модуляция</b>	frequency modulation

<b>FMFB</b>	<b>частотная модуляция с обратной связью</b>	frequency modulation feedback
<b>FM-PM</b>	<b>частотно-фазовая модуляция</b>	frequency modulation-phase modulation
<b>FSK</b>	<b>частотная манипуляция</b>	frequency shift keying
<b>GFPM</b>	<b>частотно-позиционная модуляция со стробированием</b>	gated frequency position modulation
<b>GMSK</b>	<b>минимальная манипуляция с гауссовым фильтром или гауссовская минимальная манипуляция</b>	gaussian filtered minimum shift keying or gaussian minimum shift keying
<b>GTFM</b>	<b>«прирученная» частотная модуляция</b>	generalized tamed frequency modulation
<b>HADM</b>	<b>гибридная аналогово-цифровая модуляция</b>	hibrid analog and digital modulation
<b>HM</b>	<b>гибридная модуляция или фоновая модуляция</b>	hibrid modulation or hum modulation
<b>LDM</b>	<b>линейная дельта-модуляция</b>	linear delta modulation
<b>LPCM</b>	<b>линейная импульсно-кодовая модуляция</b>	linear pulse code modulation

<b>MFKP</b>	<b>многочастотная манипуляция</b>	multi-frequency key pulsing
<b>MFSK</b>	<b>многократная или многоуровневая частотная манипуляция</b>	multiple or multilevel FSK
<b>MPSK</b>	<b>многократная фазовая манипуляция</b>	multiple PSK
<b>MSK</b>	<b>минимальная манипуляция</b>	minimum shift keying
<b>NBFM</b>	<b>узкополосная частотная модуляция</b>	narrow-band frequency modulation
<b>NCASK M=2</b>	<b>некогерентная амплитудная манипуляция</b>	nocoherent amplitude shift keying
<b>NCFSK M=2 (4, 8)</b>	<b>некогерентная частотная манипуляция</b>	nocoherent frequency shift keying
<b>OQPSK</b>	<b>квадратурно-фазовая манипуляция со сдвигом (частоты)</b>	offset QPSK
<b>PACM</b>	<b>амплитудная импульсно-кодовая модуляция</b>	pulse amplitude code modulation
<b>PAM</b>	<b>амплитудно-фазовая модуляция, амплитудно-импульсная модуляция АИМ</b>	phase amplitude modulation, pulse-amplitude modulation

<b>PBM</b>	<b>пакетно-импульсная модуляция</b>	pulse burst modulation
<b>PCM-FM</b>	<b>ИКМ-ЧМ (импульсно-кодовая модуляция)</b>	pulse-code frequency modulation
<b>PDBM</b>	<b>двоичная фазо-импульсная модуляция</b>	pulse delay binary modulation
<b>PDM-FM</b>	<b>ШИМ-ЧМ (широтно-импульсная модуляция)</b>	pulse-frequency modulation
<b>PFM</b>	<b>ЧИМ (частотно-импульсная модуляция)</b>	pulse frequency modulation
<b>PFSK</b>	<b>частотно-фазовая манипуляция</b>	phase frequency shift keying
<b>PHDM</b>	<b>фазо-разностная модуляция</b>	phase difference modulation
<b>PIM</b>	<b>ФИМ (фазо-импульсная модуляция)</b>	pulse interval modulation
<b>PM</b>	<b>фазовая модуляция</b>	phase modulation
<b>PNM</b>	<b>импульсно-числовая модуляция</b>	pulse number modulation

<b>PPBM</b>	<b>двоичная поляризационно-импульсная модуляция</b>	pulse polarization binary modulation
<b>PPM</b>	<b>фазо-импульсная модуляция</b>	pulse phase modulation
<b>PRM</b>	<b>ЧИМ (частотно-импульсная модуляция)</b>	pulse rate modulation
<b>PSK</b>	<b>фазовая манипуляция</b>	phase shift keying
<b>PTM</b>	<b>ШИМ и фазо-временная модуляция</b>	pulse time modulation and phase time modulation
<b>QAM m=4 (16)</b>	<b>квадратурно-амплитудная модуляция</b>	quadrature amplitude modulation
<b>QM</b>	<b>квадратурная модуляция</b>	quadrature modulation
<b>QPM</b>	<b>АИМ с квантованием</b>	quantized pulse amplitude modulation
<b>QPSK</b>	<b>квадратурно-фазовая манипуляция</b>	quadrature phase shift keying
<b>QPSK</b>	<b>четвертично-фазовая манипуляция</b>	quaternary phase shift keying

<b>RPSK</b>	<b>относительная фазовая манипуляция</b>	relative phase shift keying
<b>SDM</b>	<b>статистическая дельта модуляция</b>	statistic delta modulation
<b>SFM</b>	<b>ЛЧМ и пространственная частотная модуляция</b>	swept frequency or space frequency modulation
<b>SIDM</b>	<b>дельта модуляция с единичной интеграцией</b>	single integration delta modulation
<b>SQFM</b>	<b>симметричная квадратичная частотная модуляция</b>	symmetric quadratic frequency modulation
<b>SQPS</b>	<b>ступенчатая квадратурно-фазовая манипуляция</b>	staggered QPSK
<b>SSM</b>	<b>модуляция с расширенным спектром</b>	spread spectrum modulation
<b>SSPSK</b>	<b>фазовая манипуляция с расширенным спектром</b>	spread spectrum phase shift keying
<b>TFM</b>	<b>управляемая частотная модуляция</b>	tamed frequency modulation
<b>WBFM</b>	<b>широкополосная частотная модуляция</b>	wideband frequency modulation