

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:

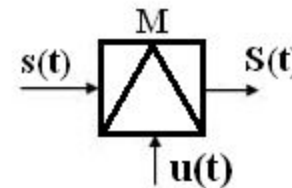
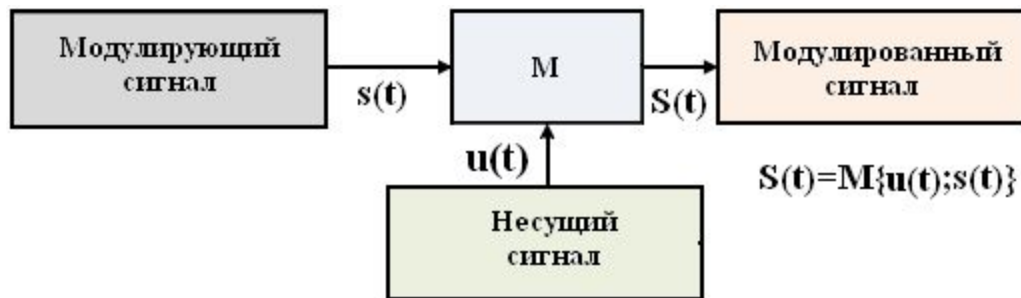
$$u(t) = U_0 \cdot \cos[\omega_0 \cdot t + \varphi_0].$$

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 Ω или F);

u(t) — **модулируемый (несущий)**, данный сигнал является неинформационным и высокочастотным (его частота ω_0 или f_0);

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

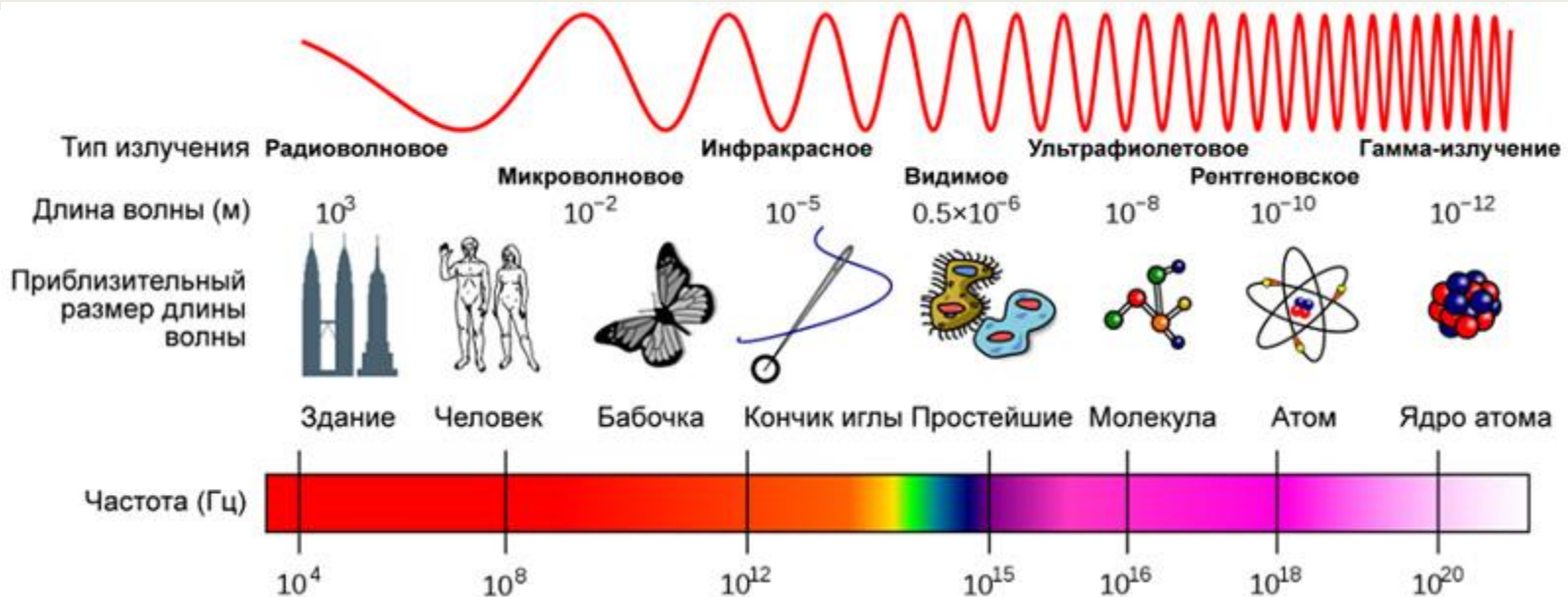
Использование модуляции позволяет:

- 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

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

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:

$$S(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = [U_0 + k \cdot s(t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = U_0 \left[1 + m \cdot \frac{s(t)}{|s_i|_{\text{эф}}} \right] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$$

$$\Omega \ll \omega_0$$

$$0 < m = \frac{k |s_i|_{\text{эф}}}{U_0} < 1$$

$$S(t) = U_0 [1 + m \cdot \cos(\Omega \cdot t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t); \quad m = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{S_{i \text{ эф}} - S_{i \text{ эи}}}{S_{i \text{ эф}} + S_{i \text{ эи}}}$$

Спектр однотонового АМ сигнала :

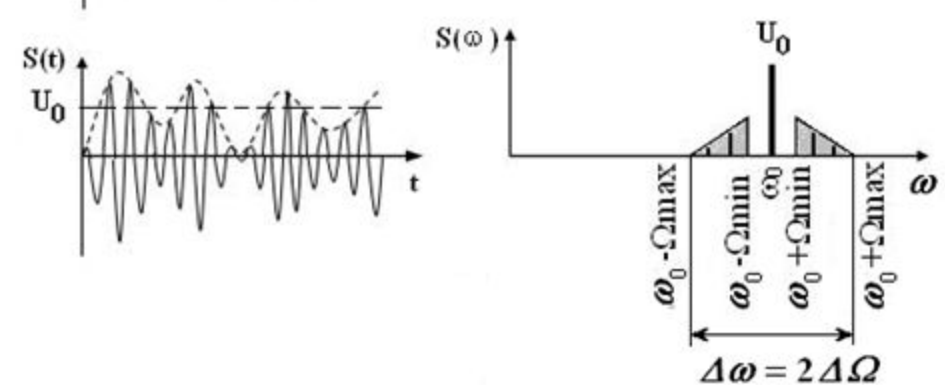
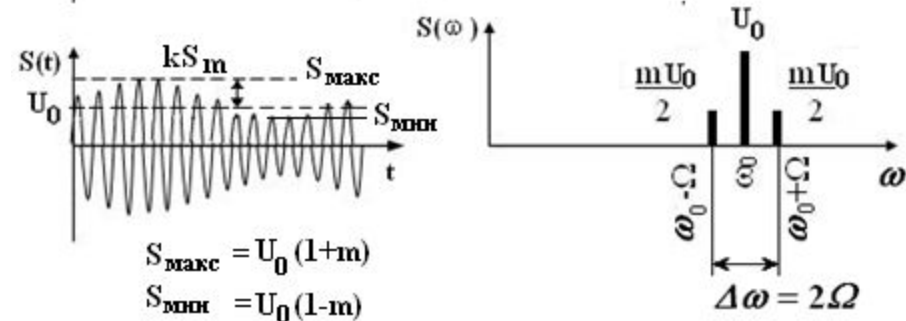
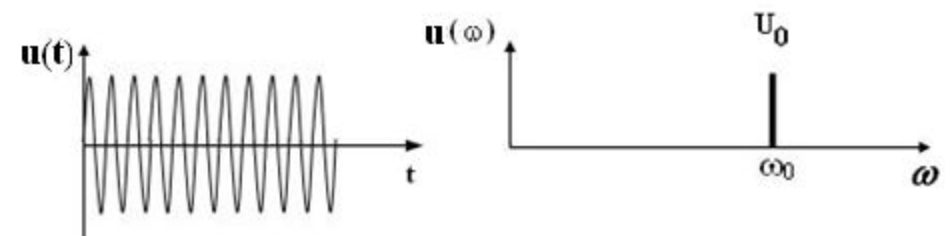
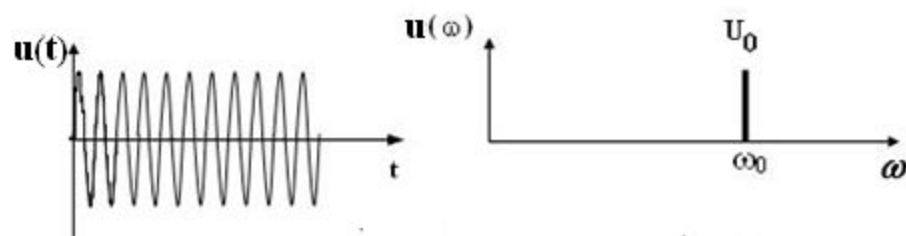
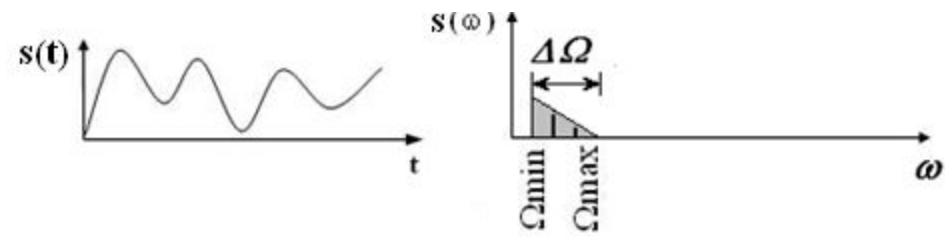
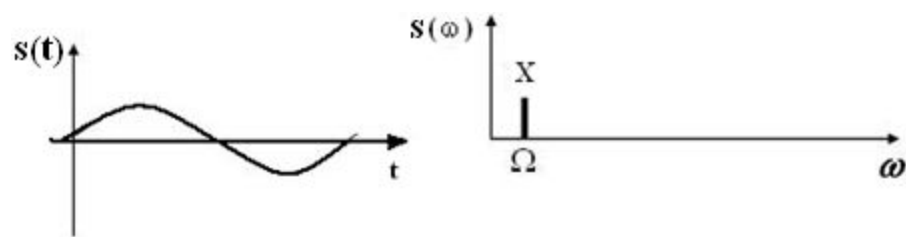
$$S(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) + U_0 \cdot \cos[(\omega_0 + \Omega) \cdot t] + U_0 \cdot \cos[(\omega_0 - \Omega) \cdot t].$$

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

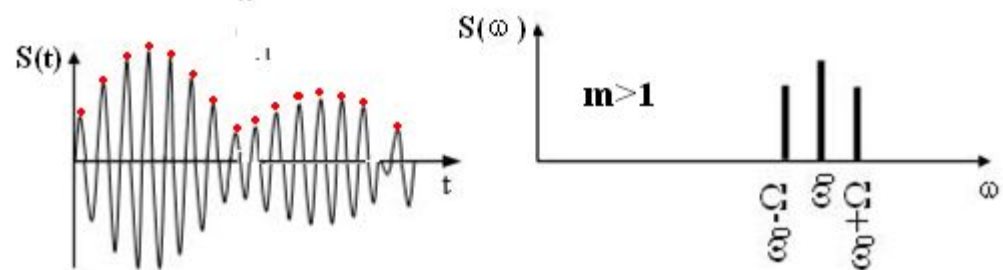
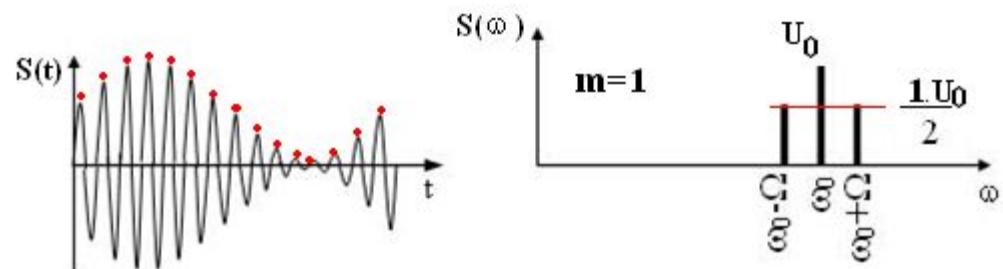
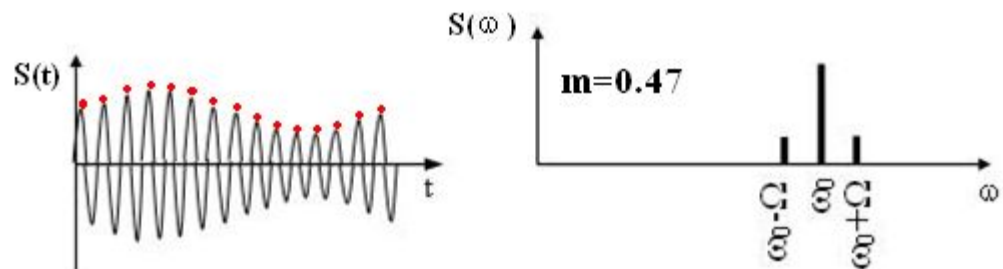
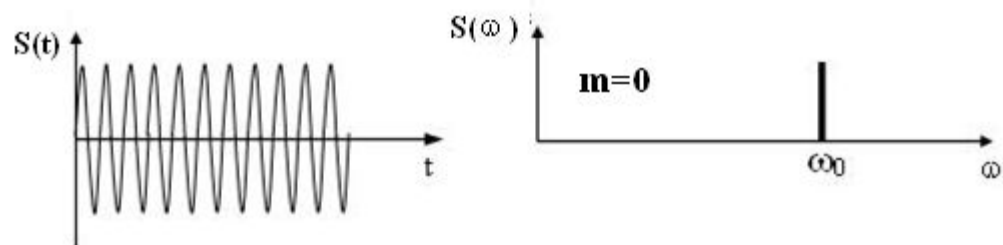
$$\Delta \omega = 2\Omega$$

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

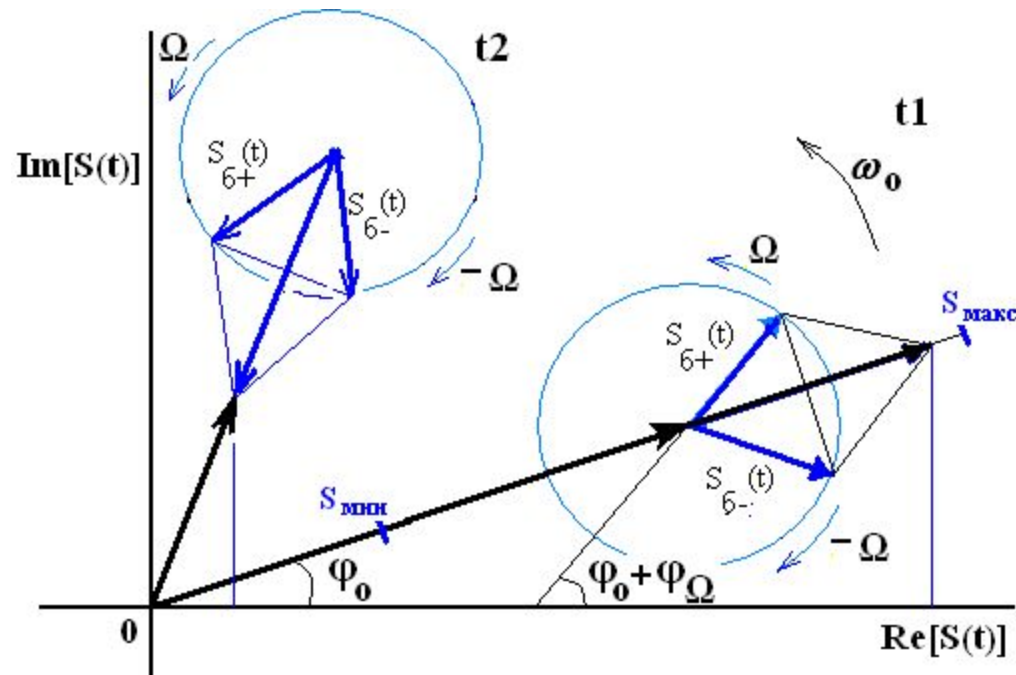
Временная и спектральная диаграммы однотонального и многотонального АМ сигнала.



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



Векторная диаграммы однотонового АМ сигнала .



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

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

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

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:

$$\begin{aligned} P_{cp} &= U^2(t) / 2 = U_0^2 \cdot [1 + m \cos(\Omega \cdot t)]^2 / 2 = P_0 \cdot [1 + m \cos(\Omega \cdot t)]^2 = \\ &= P_0 \cdot [1 + 2m \cos(\Omega \cdot t) + m^2 \cos^2(\Omega \cdot t)] = P_0 \cdot [1 + 2m \cos(\Omega \cdot t) + m^2 / 2 + m^2 \cos(2\Omega \cdot t) / 2] \end{aligned}$$

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

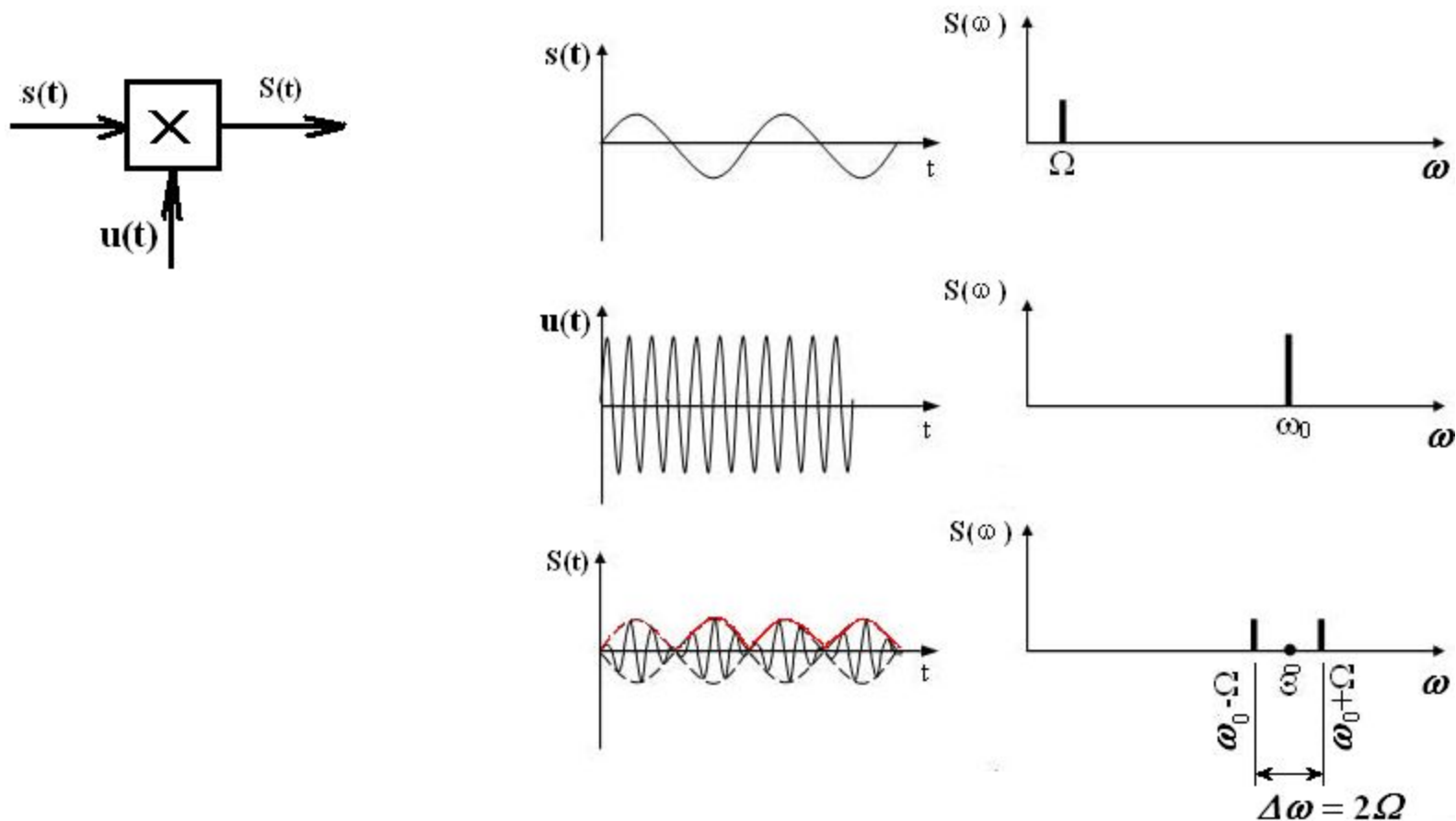
$$\text{Если } \Omega t = 0 \text{ и } m=1 \quad P_{cp} = P_0(1+m)^2 = 4P_0$$

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

Балансная АМ . Подавление несущего сигнала.

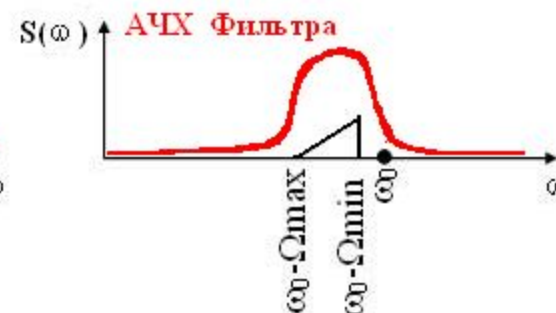
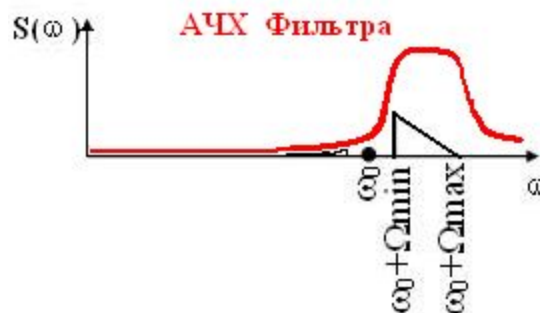
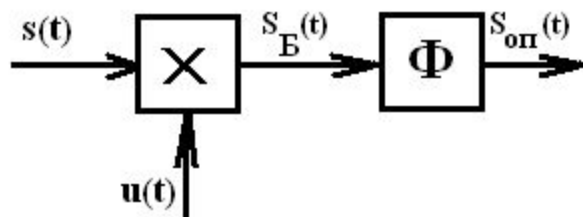
$$S(t) = U(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = U_0 [k \cdot s(t)] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) = U_0 \left[m \cdot \frac{s(t)}{|s_i|_{\text{эф}}} \right] \cdot \cos(\omega_0 \cdot t)$$

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



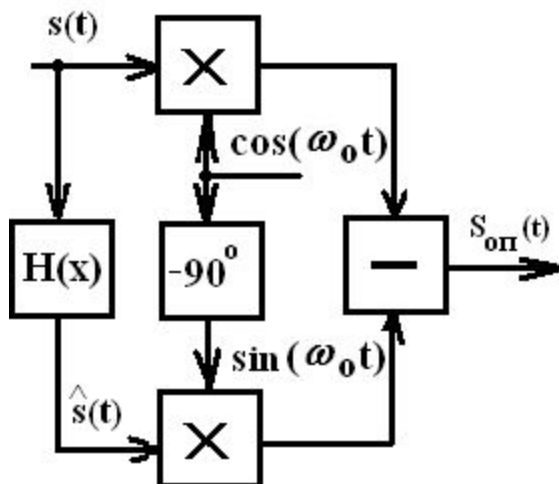
Однополосная АМ . Подавление боковой полосы.

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

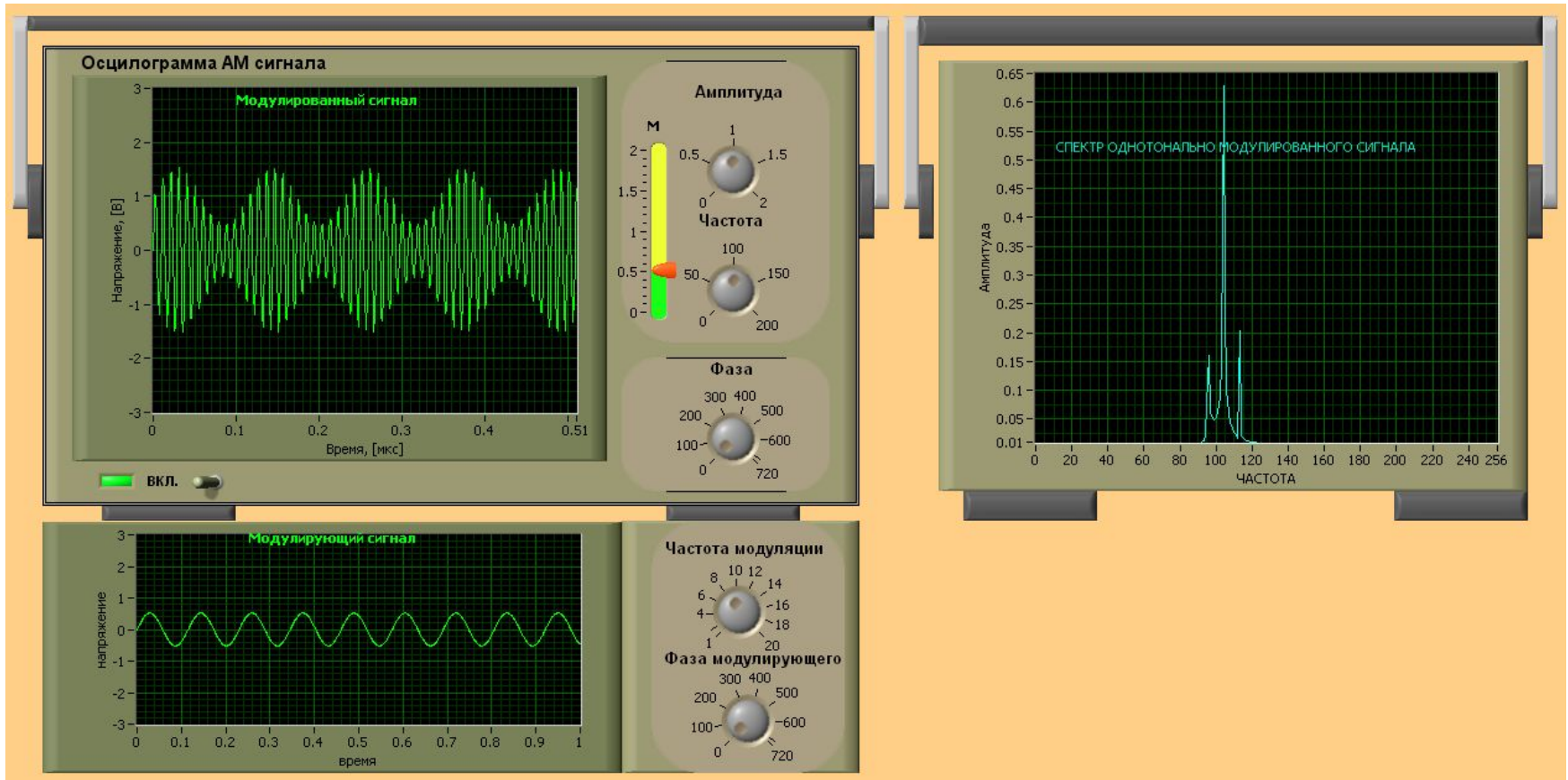


Воспользуемся моделью аналитического сигнала для узкополосного представления АМ сигнала в квадратурах:

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



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 (β)

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:

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

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 ω_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 ψ и ϕ_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.

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

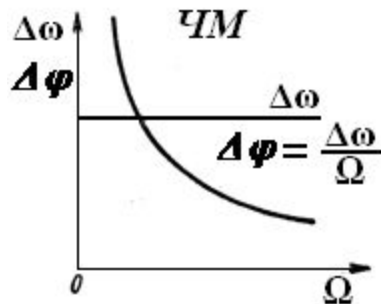
Мгновенная частота такого сигнала после дифференцирования полной фазы

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

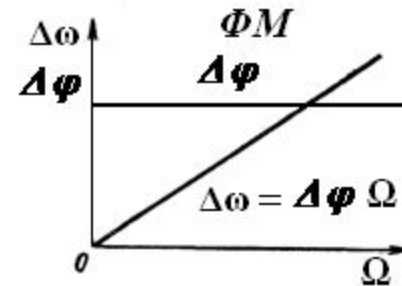
В ЧМ сигнале девиация частоты определяется амплитудой и не зависит от частоты модулирующего сигнала.

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

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

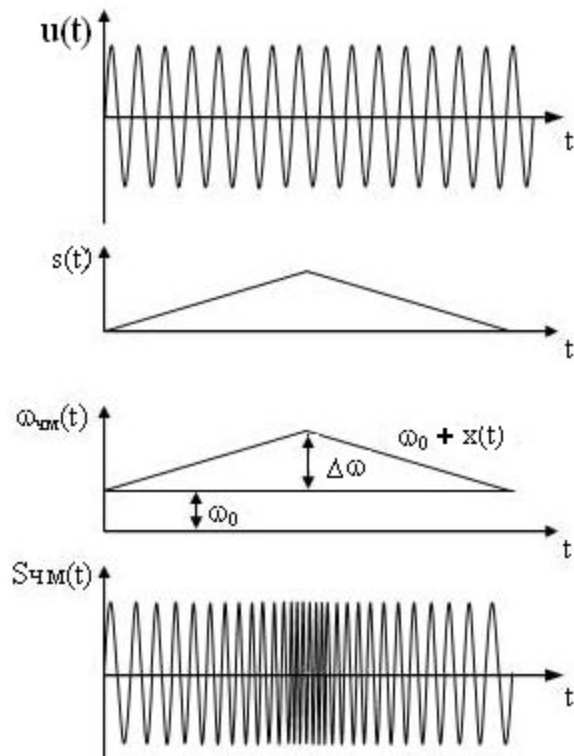


$$S_{\chi i}(t) = U_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega} \sin(\Omega t) + \phi_0\right)$$



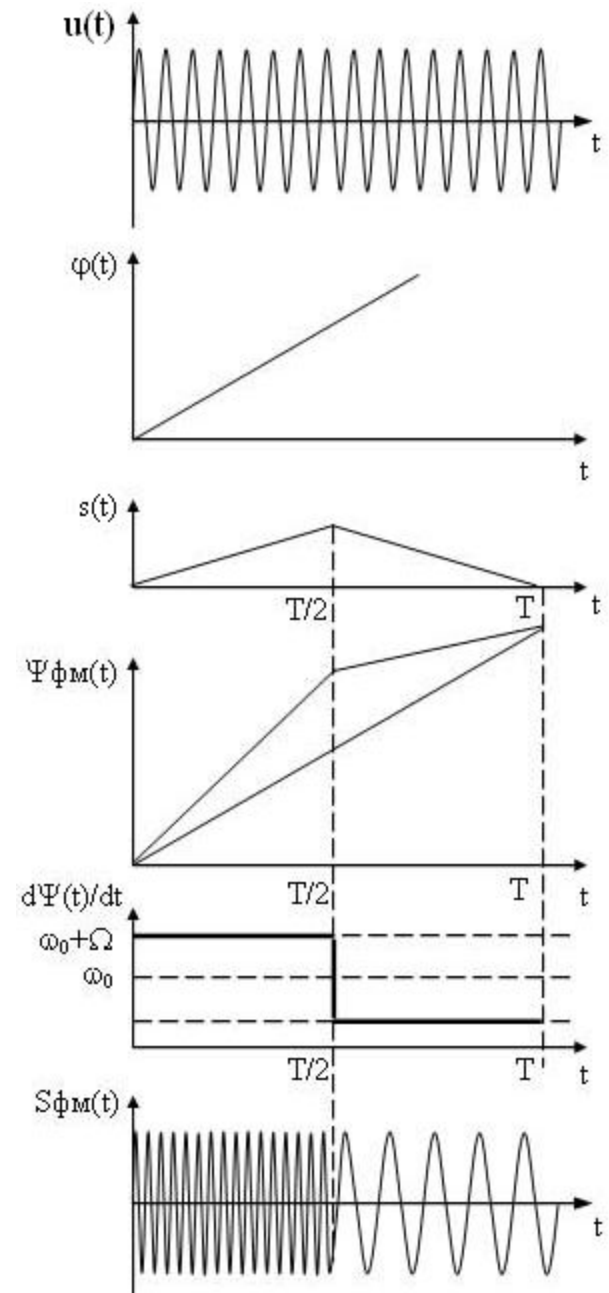
$$S_{\phi i}(t) = U_0 \cos(\omega_0 t + \Delta\phi \cos(\Omega t))$$

Частотная модуляция



ОТС

Фазовая

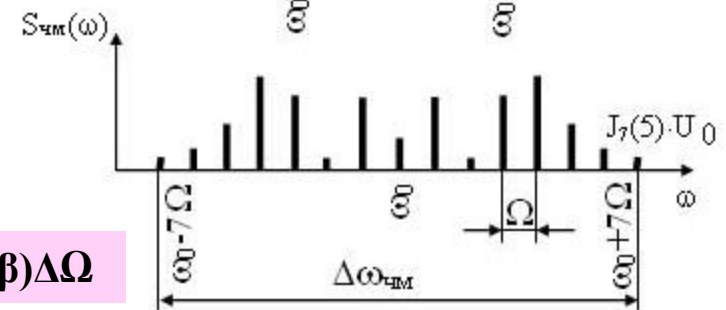
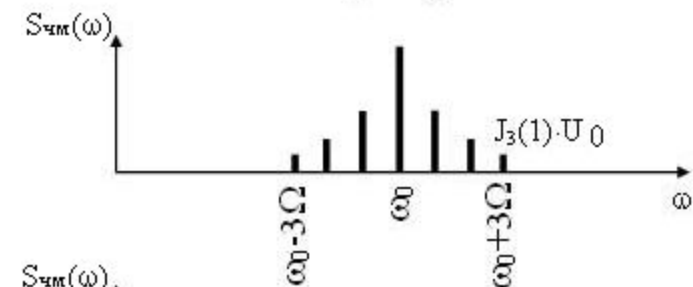
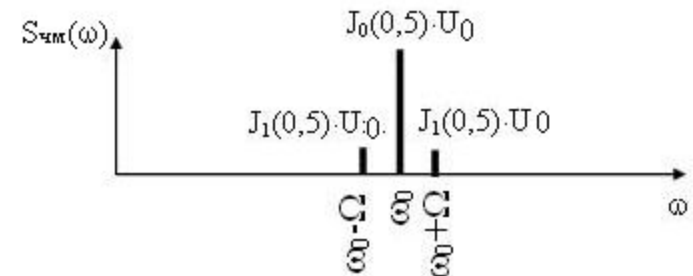
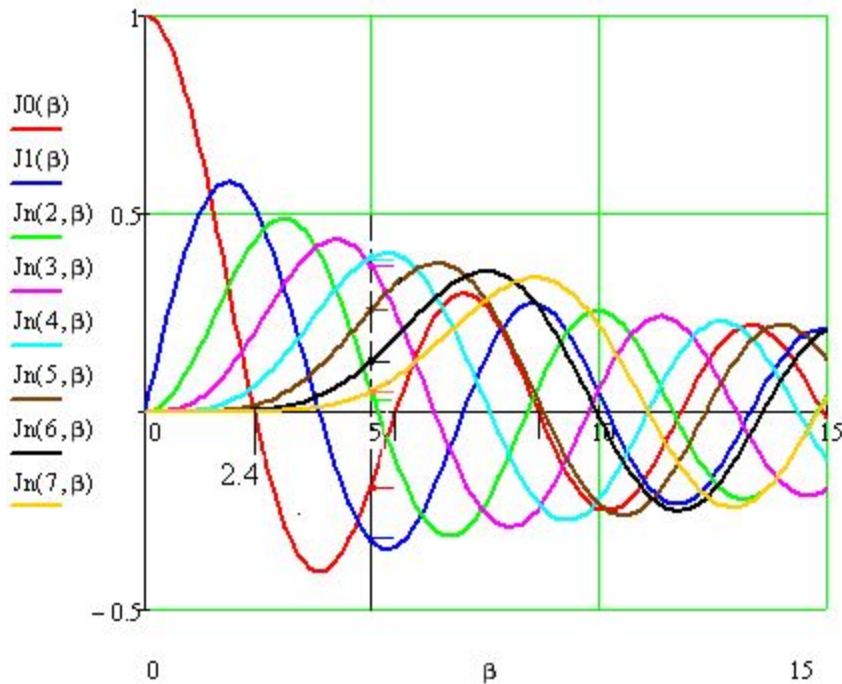


Лекция #7

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

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

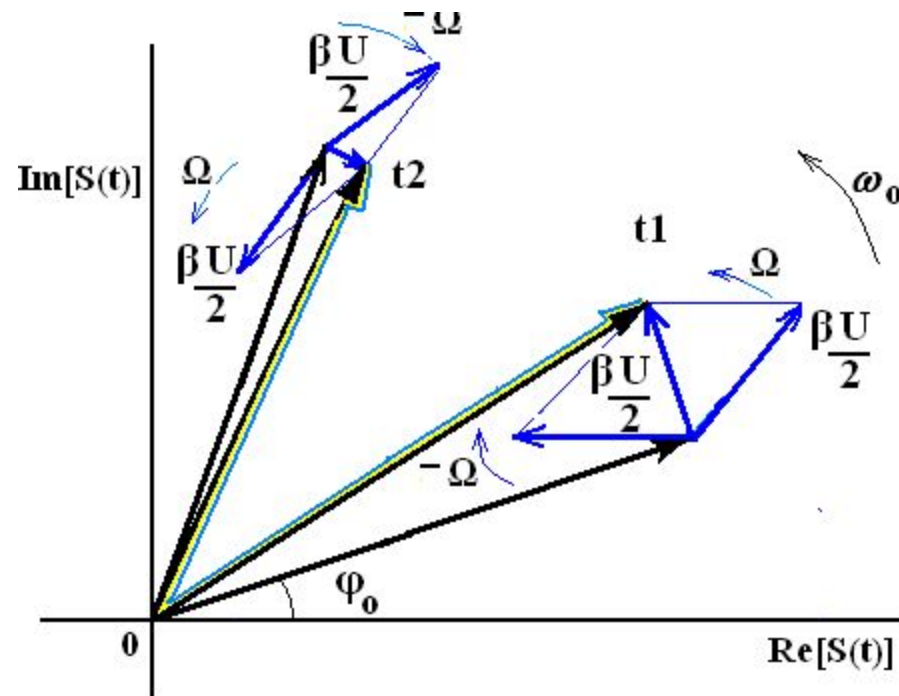
$$S_{YI}(t) = U_0 \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta) \cos(\omega_0 + k\Omega)t + \varphi_0)$$



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

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

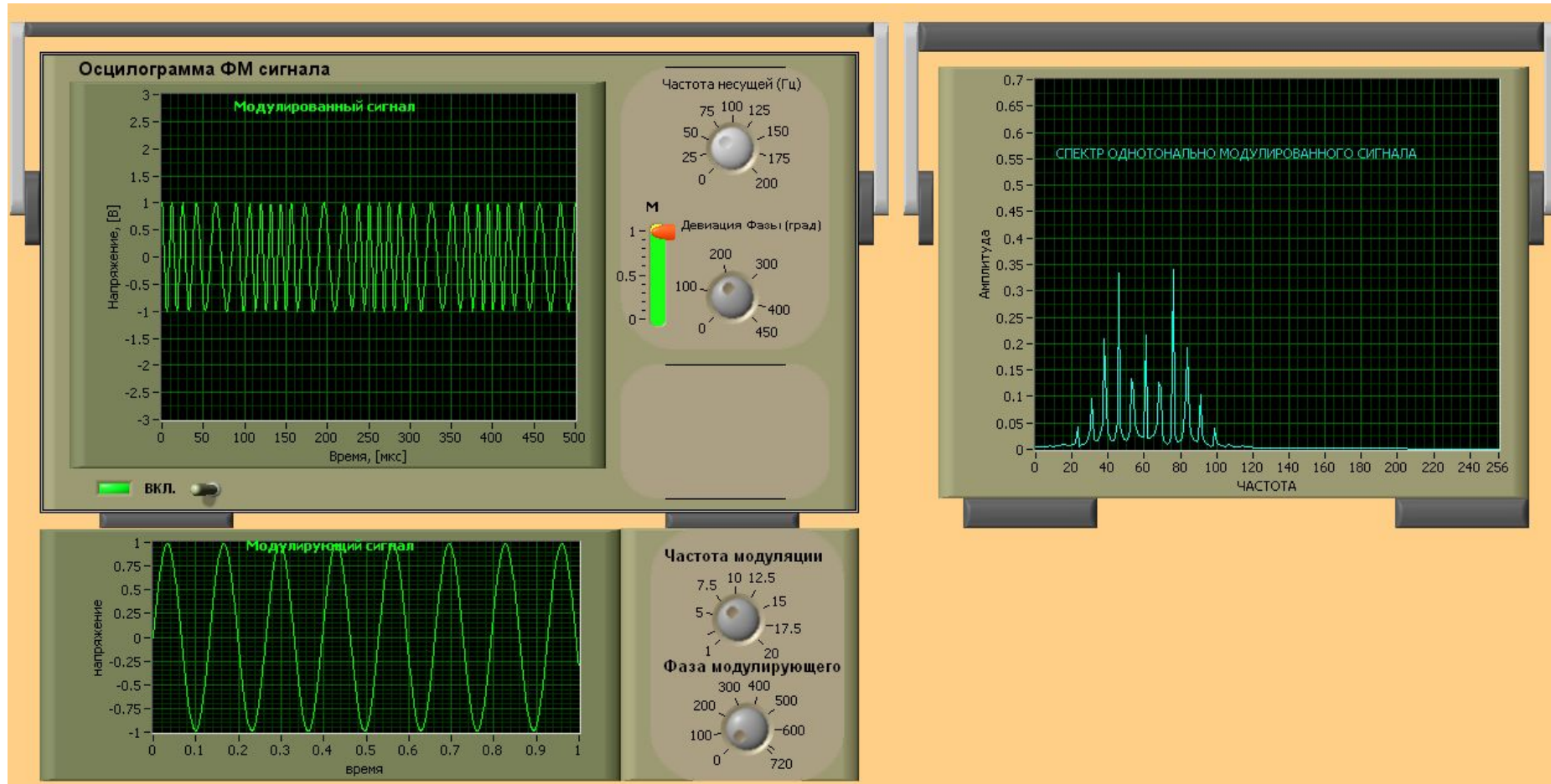
$$J_\alpha(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{m! \Gamma(m + \alpha + 1)} \left(\frac{x}{2}\right)^{2m+\alpha} \quad Y_\alpha(x) = \frac{J_\alpha(x) \cos(\alpha\pi) - J_{-\alpha}(x)}{\sin(\alpha\pi)}, \quad J_\alpha(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{i(\alpha\tau - x \sin \tau)} d\tau$$



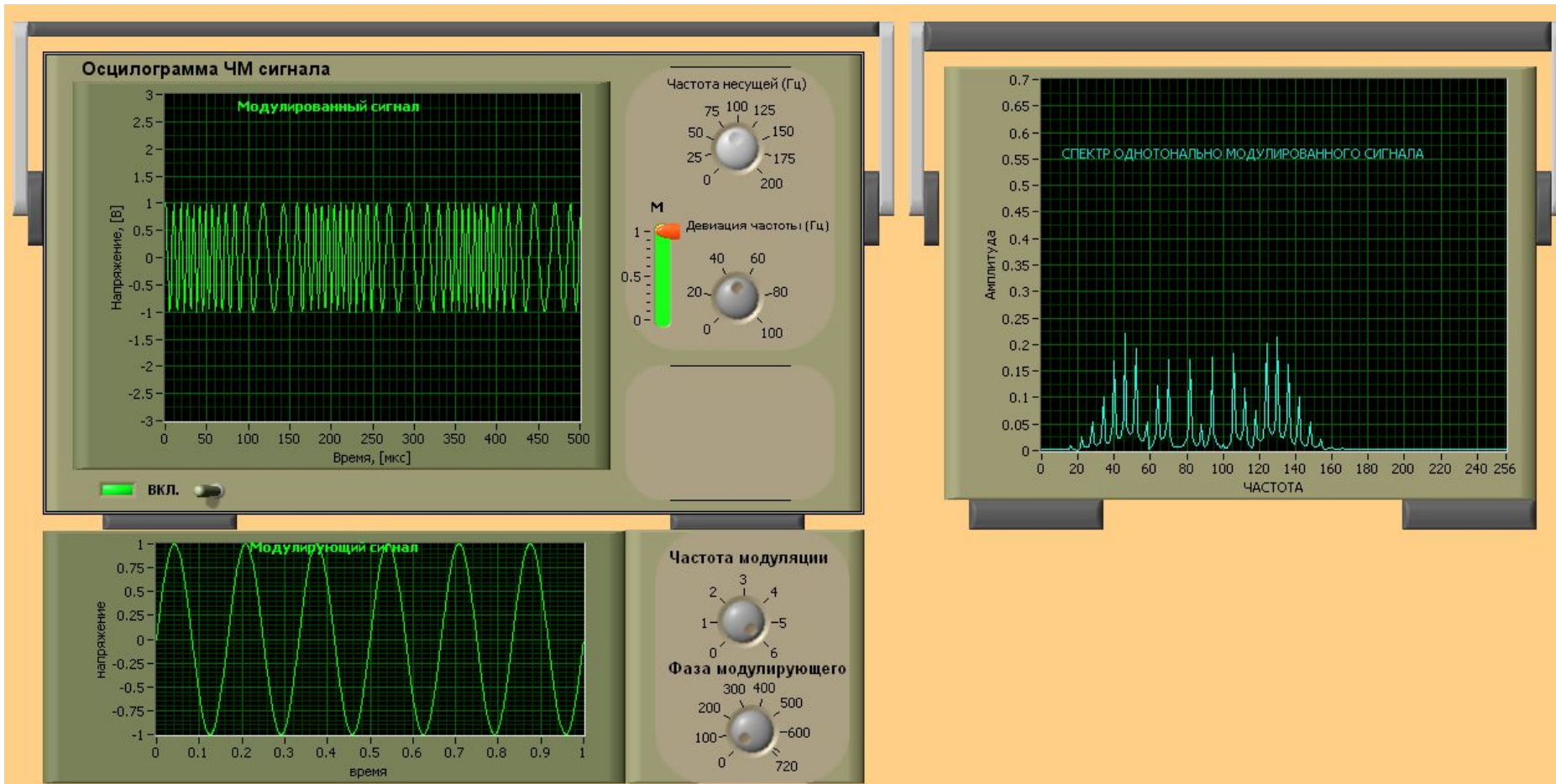
$$\begin{aligned}
 S(t) &= U \cdot \cos[\beta \cdot \sin(\Omega t)] \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) - U \cdot \sin[\beta \cdot \sin(\Omega t)] \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) = \\
 &= U \cos(\omega_0 \cdot t + \varphi_0) - U \cdot \beta \cdot \sin(\Omega t) \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)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

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

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

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

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

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

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.

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_0} \ll 1$$

Узкополосные сигналы АМ

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

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

Следовательно, для того чтобы радиосигнал был узкополосным необходимо выполнение условия

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

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

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

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

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

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

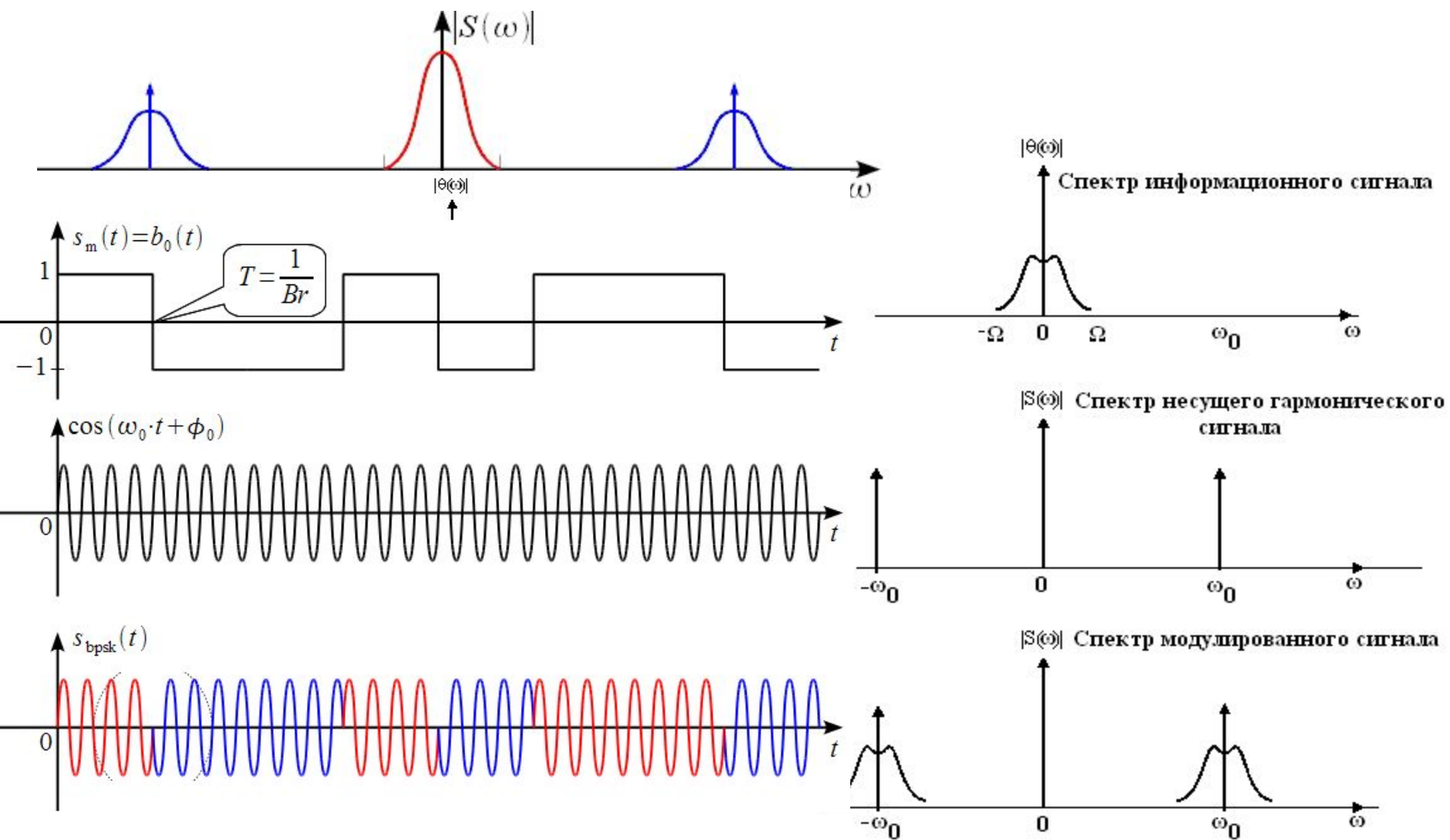
Комплексная огибающая узкополосного сигнала $\dot{U}(t) = U(t) e^{j[\varphi(t) + \varphi_0]}$

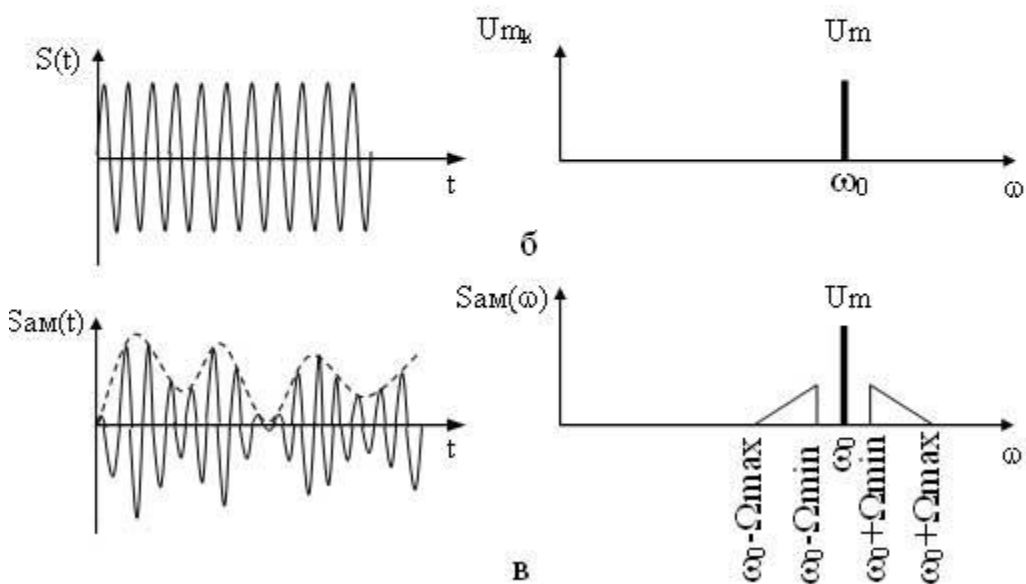
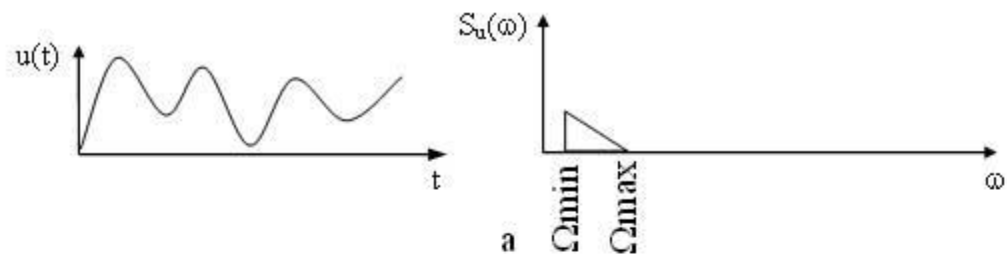
Физическая огибающая узкополосного сигнала $|U(t)| = U(t) = \sqrt{\dot{S}^2(t) + \dot{S}^2(t)}$

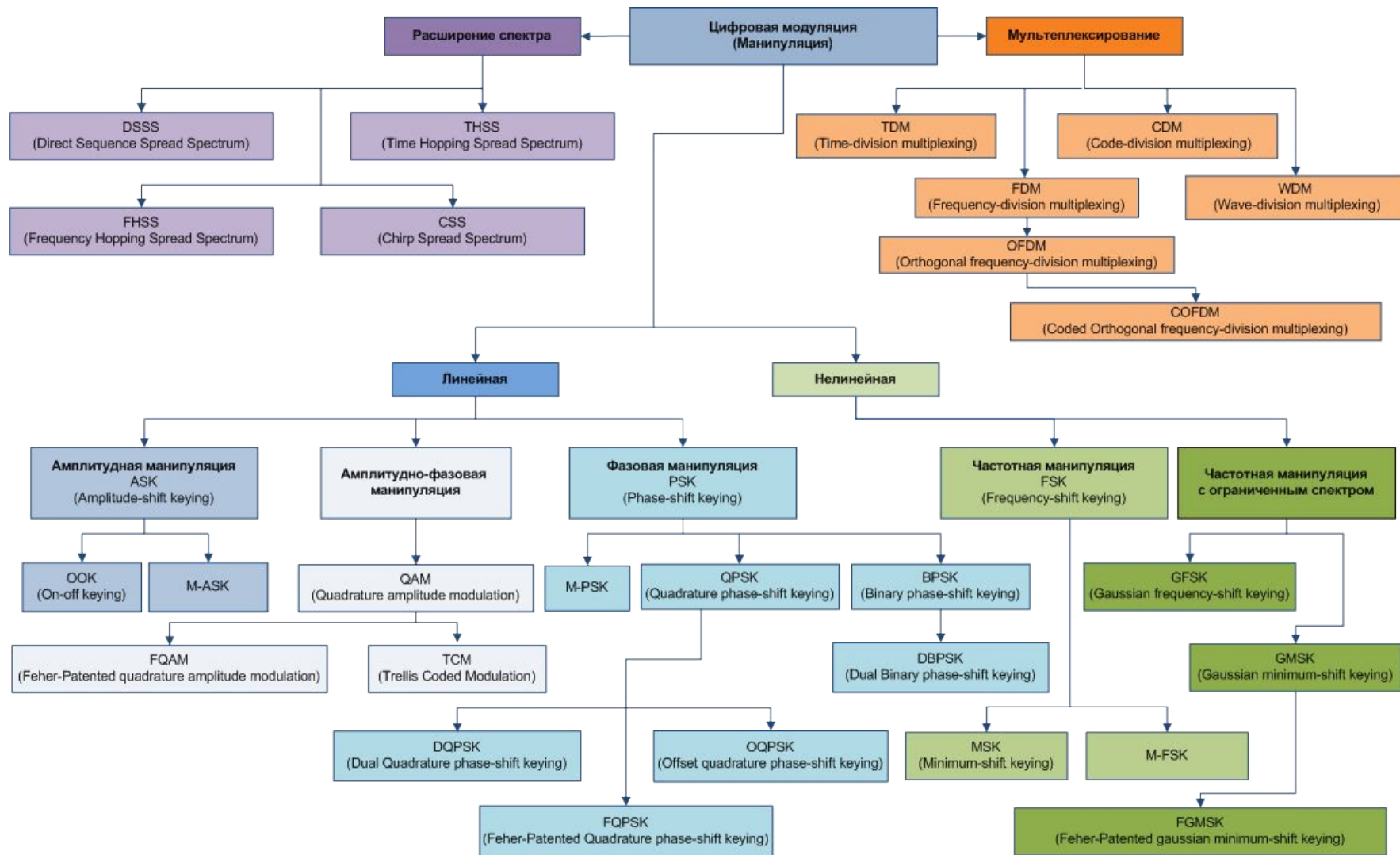
Фаза физической огибающей узкополосного сигнала $\arg[U(t)] = \Psi(t) = \varphi(t) + \varphi_0 = \arctg \frac{\dot{S}(t)}{S(t)}$

Мгновенная частота

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







Стандартизованные аббревиатуры типов модуляции

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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