

Автоматизированные информационно- измерительные системы

Зав. каф. АПП

Кульчицкий Александр Александрович

doz-ku@rambler.ru

Лекция 10

Фильтрация и модуляция сигналов

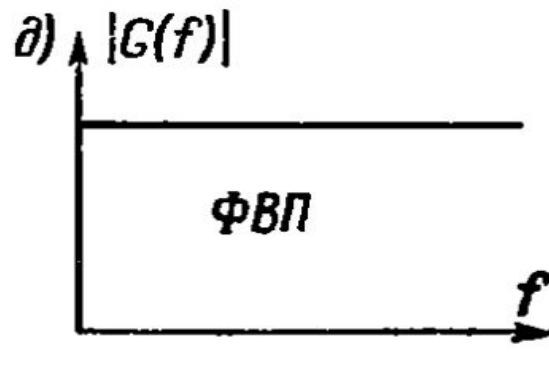
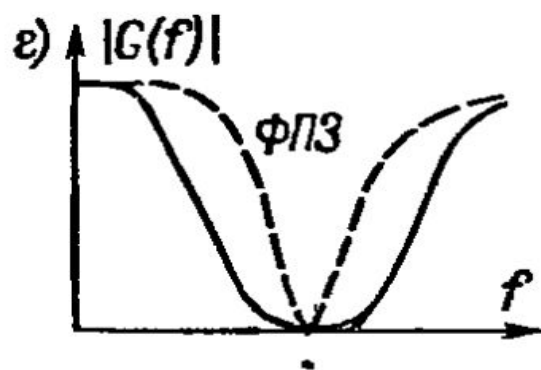
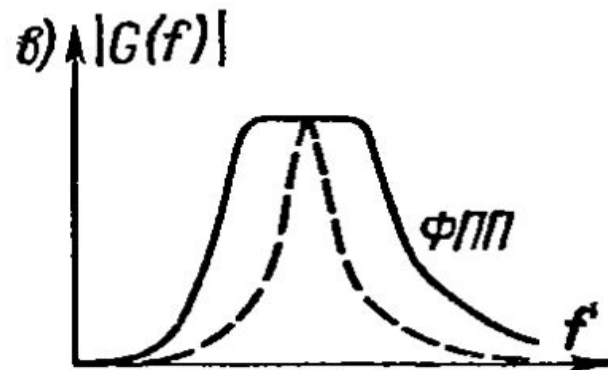
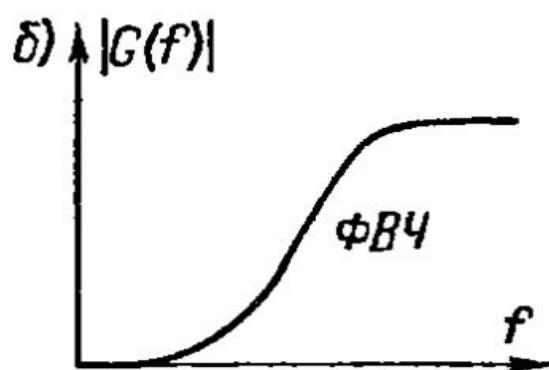
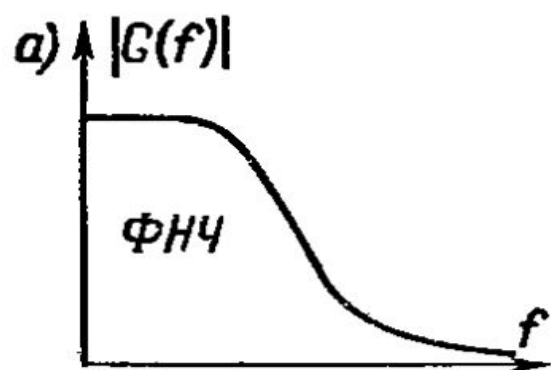
Фильтрация сигналов

- Операция выделения из спектра сигнала определенной полосы частот называется **фильтрацией**.
 - Спектром сигнала обычно называют функцию, показывающую зависимость интенсивности различных гармоник в составе сигнала от частоты этих гармоник. Спектр периодического сигнала — это зависимость коэффициентов ряда Фурье от частот гармоник, которым эти коэффициенты соответствуют. Для непериодического сигнала спектр — это преобразование Фурье сигнала.
- Критерием оптимальности принято считать обеспечение максимума отношения сигнал-шум.

Классификация фильтрации

- по роду преобразований на:
 - аналоговую
 - цифровую,
- по расположению полос пропускания — на фильтрацию
 - низких частот (ФНЧ) (Low Pass)
 - высоких частот (ФВЧ) (High Pass)
 - Полоснопропускающие (полосовые) (Band Pass)
 - полоснозадерживающие (заграждающую) схема (Band Stop).

Фильтрация сигналов



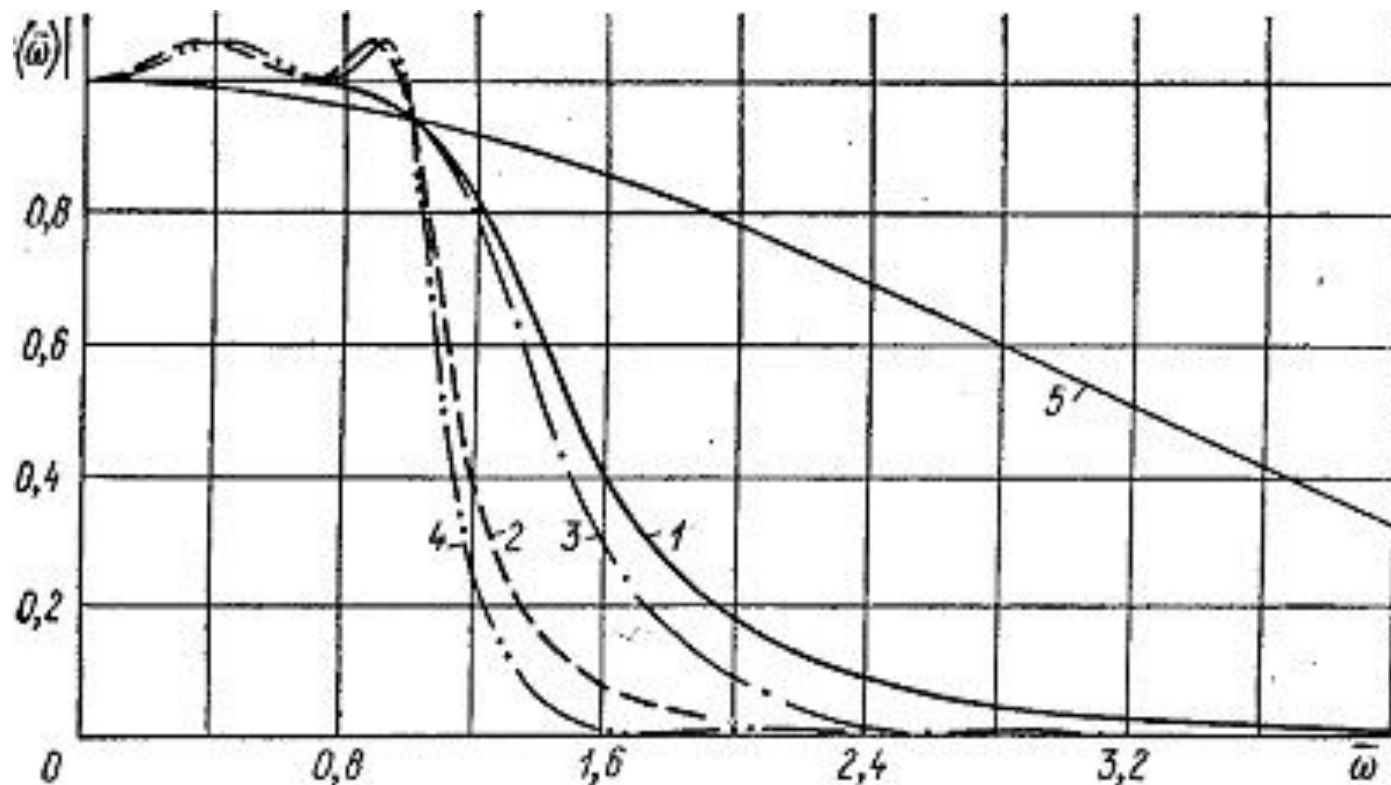
Характеристики реальных фильтров

- частотой среза;
- шириной полосы пропускания;
- неравномерностью характеристики в полосе пропускания;
- крутизной ската характеристики в области перехода от полосы пропускания к полосе задерживания
- добротностью, под которой понимают отношение центральной частоты фильтра к полосе его пропускания (полосовой).

- В общем случае передаточную функцию фильтра нижних частот n -го порядка можно представить в виде:
 - $H(s) = K_0 / (1 + a_1s + a_2s^2 + \dots + a_ns^n)$
- В зависимости от вида полинома в знаменателе различают фильтры Баттерворта, Бесселя, Чебышева и др.

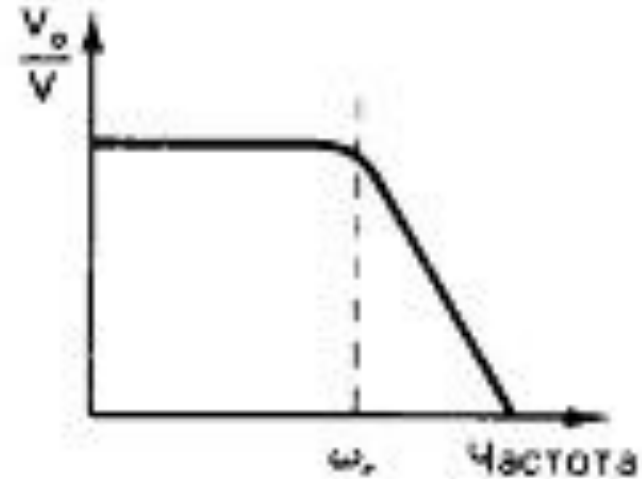
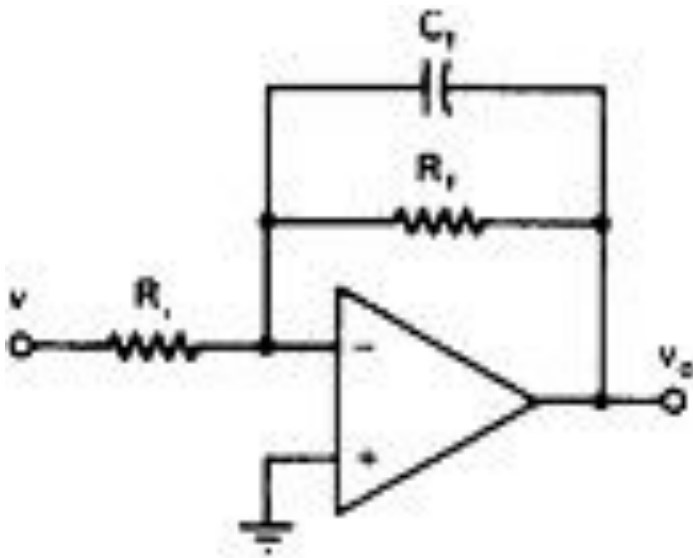
- **Фильтры Баттерворта** - характеризуются максимально плоской АЧХ в полосе пропускания в сочетании с высокой крутизной затухания (крутизной АЧХ вне полосы пропускания). Управление величиной коэффициента передачи и перестройка по частоте в широком диапазоне осуществляются в этих фильтрах проще, чем в других фильтрах, поскольку при каскадном соединении все секции настраиваются на одну и ту же частоту.
- **Фильтры Чебышева** - обеспечивают наивысшую крутизну затухания. Недостаток - потерей равномерности АЧХ в полосе пропускания (на АЧХ появляются колебательные выбросы). Чем выше крутизна затухания, тем сильнее неравномерность. В зависимости от допустимого уровня неравномерности АЧХ в полосе пропускания используются различные таблицы для расчета этих фильтров. Поскольку амплитуда всех этих колебаний одинакова, то фильтр Чебышева называют также фильтром равномерных пульсаций.
- В инверсном фильтре Чебышева АЧХ монотонно изменяется в полосе пропускания и пульсирует в полосе заграждения.

- У **эллиптического фильтра** АЧХ характеризуется равномерными пульсациями как в полосе пропускания, так и в полосе заграждения.
- **Фильтры Бесселя** - наилучшая аппроксимация ищется не для амплитудно-частотной, а для фазо- частотной характеристики фильтра. Для того чтобы фильтр не искажал сигнала, спектр которого лежит в полосе пропускания, требуется, чтобы запаздывание выходного сигнала относительно входного было одинаковым для всех гармоник. Поскольку фазовый сдвиг измеряется в долях периода рассматриваемой гармоники, то постоянство времени запаздывания равносильно линейной частотной зависимости фазового сдвига выходного сигнала относительно входного сигнала фильтра.
- Фильтр Бесселя обеспечивает наилучшее приближение реальной фазо- частотной характеристики к идеальной линейной зависимости, соответствующей постоянному запаздыванию. Фильтры Бесселя обладают максимально плоской характеристикой группового времени запаздывания (производная от ФЧХ по частоте.) при воздействии на фильтр ступенчатого сигнала. Однако крутизна затухания фильтра невелика.



1 — фильтр Баттерворта; 2 — фильтр Чебышева; 3 — инверсный фильтр Чебышева; 4 — эллиптический фильтр; 5 — фильтр Бесселя

Активный фильтр нижних частот первого порядка

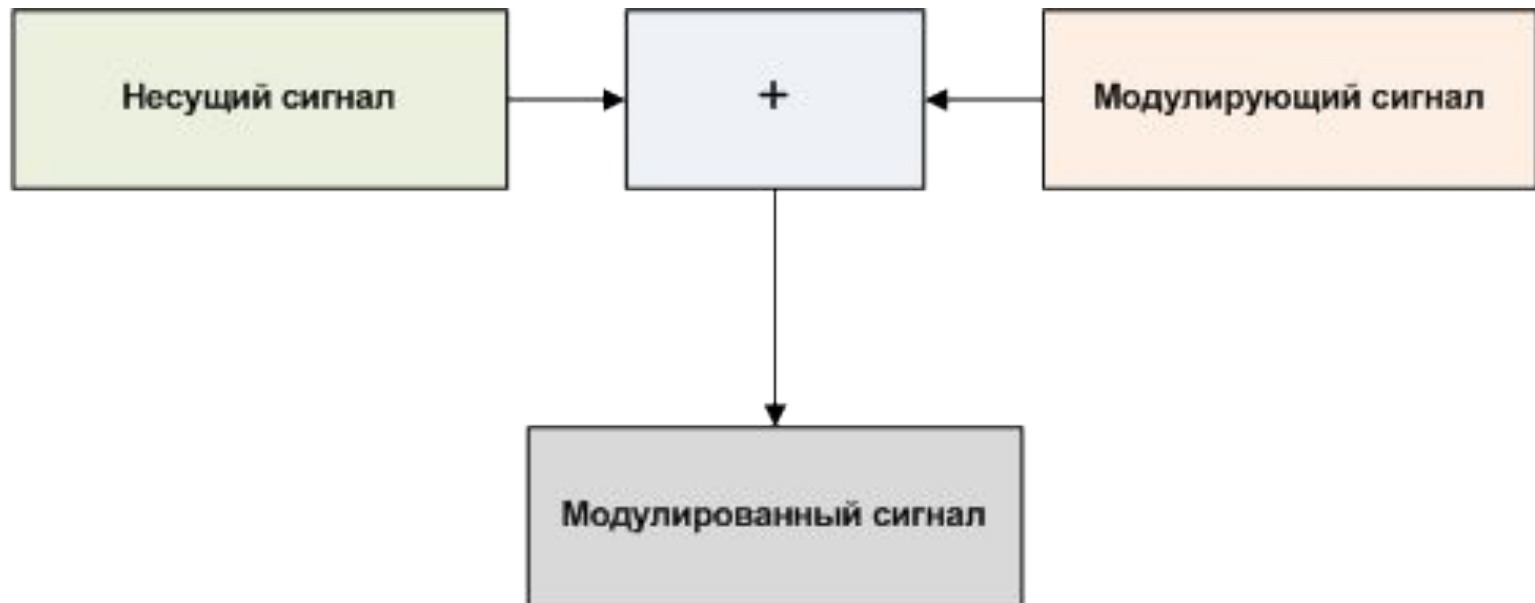


(а) Принципиальная схема,
характеристика

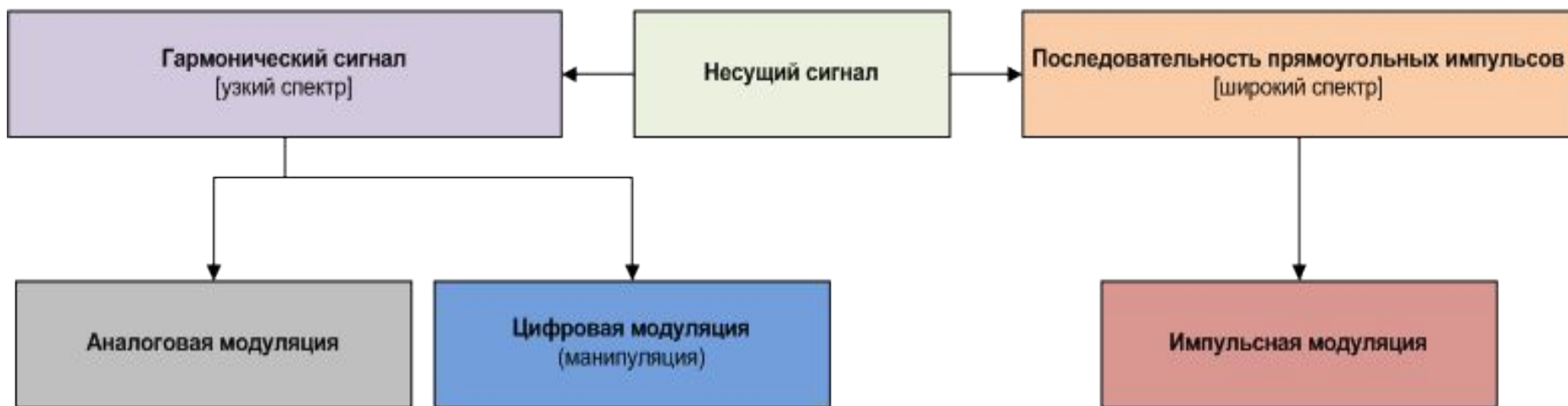
(б) Амплитудно-частотная

Модуляция сигналов

- **Модуляция** (лат. *modulatio* — *размеренность, ритмичность*) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения).



Виды модуляции сигналов



Виды модуляции сигналов



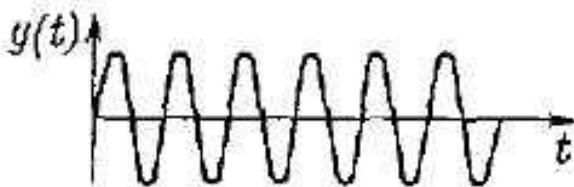
$$y(t) = y_m \sin(\omega_0 t + \psi_0),$$

Амплитудная

$$y = y_m [1 + mx(t)] \sin(\omega_0 t + \psi_0).$$

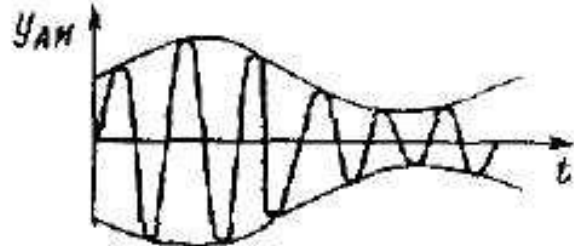
Если $x(t) = x_m \sin \Omega t$,

$$y = y_m \left\{ \sin(\omega_0 t + \psi_0) + \frac{mx_m}{2} \cos[(\omega_0 - \Omega)t + \psi_0] - \frac{mx_m}{2} \cos[(\omega_0 + \Omega)t + \psi_0] \right\}.$$



амплитудная

Частотная

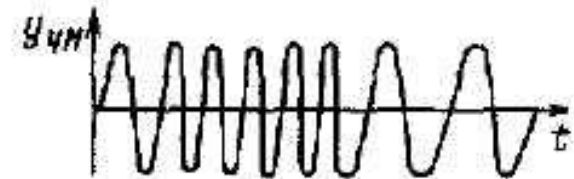


$$\omega(t) = \omega_0 + mx(t),$$

$$x(t) = x_m \cos(\Omega t + \theta), \text{ то}$$

$$\omega(t) = \omega_0 + mx_m \cos(\Omega t + \theta).$$

частотная



$$y(t) = y_m \sin \left[\omega_0 t + \frac{mx_m}{\Omega} \sin(\Omega t + \theta) + \psi_0 \right].$$

фазовая

Фазовая

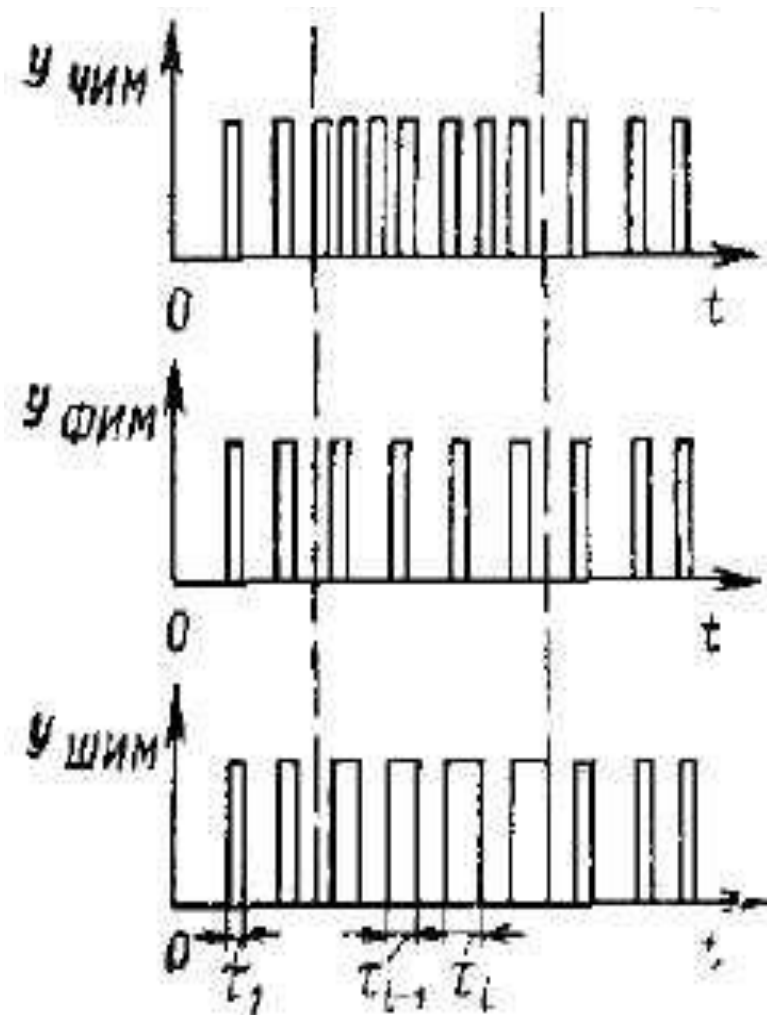
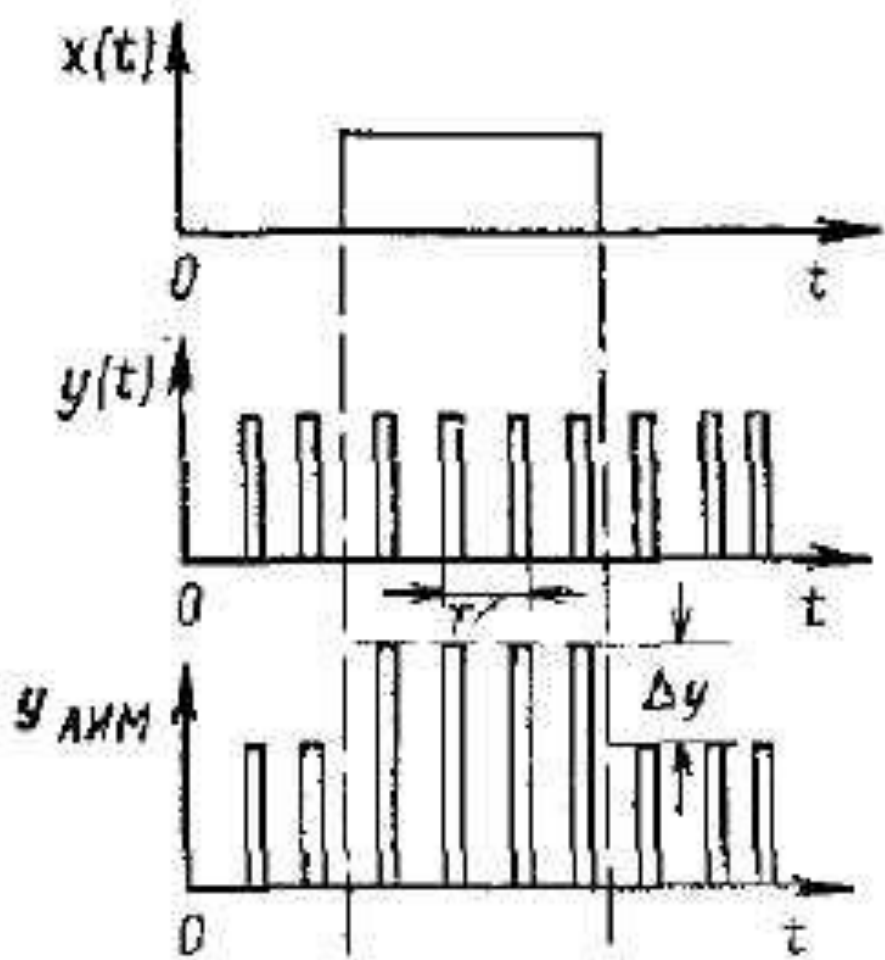
$$y(t) = y_m \sin [\omega_0 t + \psi_0 (1 + mx(t))].$$

Если модулирующий сигнал $x(t) = x_m \sin(\Omega t + \theta)$, то

$$y(t) = y_m \sin [\omega_0 t + \psi_0 + m_\phi \sin(\Omega t + \theta)],$$

Импульсная модуляция

$$y(t) = y_m \sum_{i=-\infty}^{\infty} \delta(t - iT)$$



Широтно-импульсная модуляция (ШИМ, [англ. Pulse-width modulation \(PWM\)](#)) — приближение желаемого сигнала (многоуровневого или непрерывного) к действительным бинарным сигналам (с двумя уровнями - *вкл/выкл*), так, что, в среднем, за некоторый отрезок времени, их значения равны. Формально, это можно записать так:

$$\int_{t1}^{t2} x(t) dt = \sum A * \Delta T_i$$

где $x(t)$ - желаемый входной сигнал в пределе от $t1$ до $t2$, а ΔT_i - продолжительность i -го ШИМ импульса, каждого с амплитудой A . ΔT_i подбирается таким образом, что суммарные площади (энергии) обеих величин приблизительно равны за достаточно продолжительный промежуток времени, равны также и средние значения величин за период:

$$\frac{\int_{t1}^{t2} x(t) dt}{t2 - t1} = \frac{\sum A * \Delta T_i}{t2 - t1} .$$

Управляемыми "уровнями", как правило, являются параметры питания силовой установки, например, напряжение импульсных преобразователей /регуляторов постоянного напряжения/или скорость электродвигателя. Для импульсных источников $x(t) = U_{const}$ стабилизации.

Детектирование

- *Детектирование* (демодуляция) - выделение низкочастотного сообщения (информационного электрического сигнала) из модулированного высокочастотного сигнала.
Осуществляется с помощью различного рода детекторов (синхронных, амплитудных, квадратичных)