

# ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ

---

Выполнил студент гр ВТ-10

Серебренников Вадим

# ЧТО ТАКОЕ СИГНАЛ

- Сигнал (в теории информации и связи) — материальный носитель информации, используемый для передачи сообщений в системе связи. Сигнал может генерироваться, но его приём не обязателен, в отличие от сообщения, которое должно быть принято принимающей стороной, иначе оно не является сообщением. Сигналом может быть любой физический процесс, параметры которого изменяются в соответствии с передаваемым сообщением.
- Сигнал, детерминированный или случайный, описывают математической моделью, функцией, характеризующей изменение параметров сигнала. Математическая модель представления сигнала, как функции времени, является основополагающей концепцией теоретической радиотехники, оказавшейся плодотворной как для анализа, так и для синтеза радиотехнических устройств и систем. В радиотехнике альтернативой сигналу, который несёт полезную информацию, является шум — обычно случайная функция времени, взаимодействующая (например, путём сложения) с сигналом и искажающая его. Основной задачей теоретической радиотехники является извлечение полезной информации из сигнала с обязательным учётом шума.

# КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ

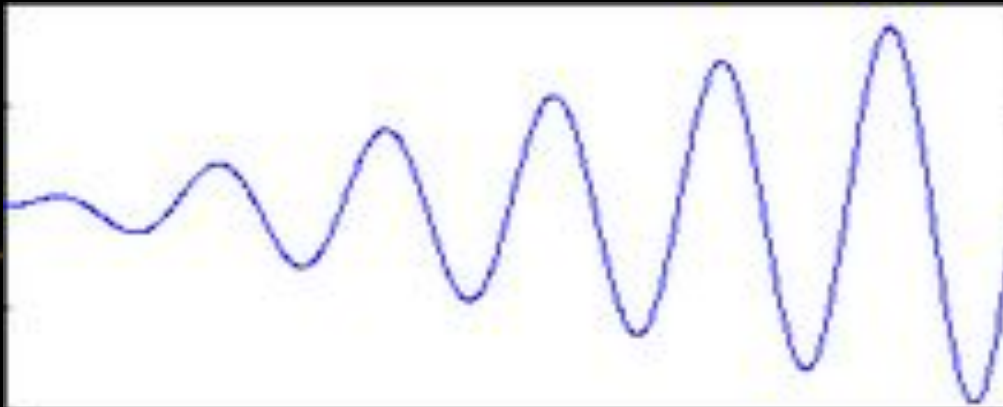
- По физической природе носителя информации:
  - электрические;
  - электромагнитные;
  - оптические;
  - Акустические
    - По способу задания сигнала:
      - регулярные (детерминированные), заданные аналитической функцией;
      - нерегулярные (случайные), принимающие произвольные значения в любой момент времени. Для описания таких сигналов используется аппарат теории вероятностей.

В зависимости от функции, описывающей параметры сигнала, выделяют аналоговые, дискретные, квантованные и цифровые сигналы:

- непрерывные (аналоговые), описываемые непрерывной функцией;
- дискретные, описываемые функцией отсчётов, взятых в определённые моменты времени;
- квантованные по уровню;
- дискретные сигналы, квантованные по уровню (цифровые).

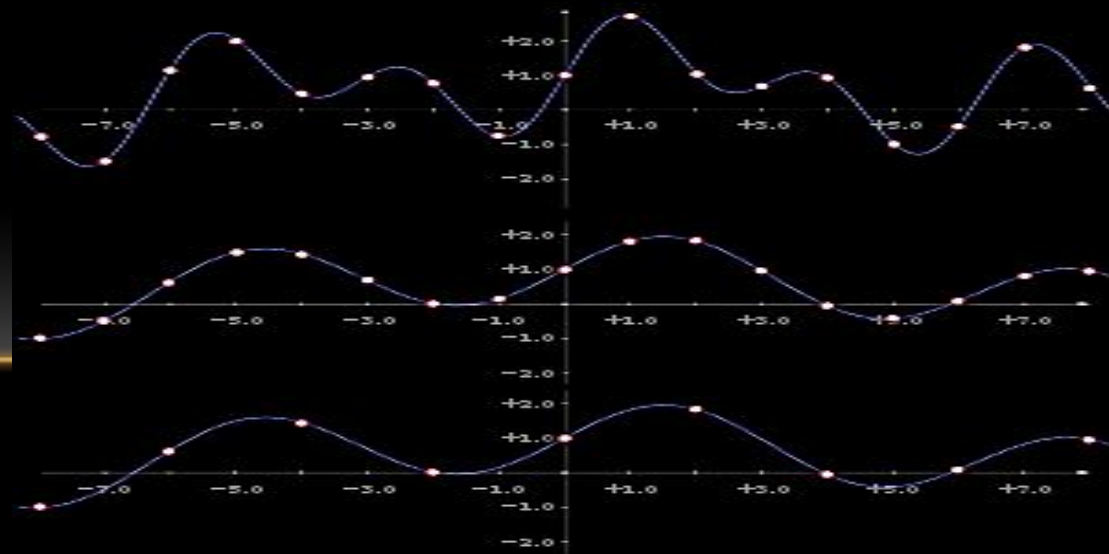
# АНАЛОГОВЫЙ СИГНАЛ (АС)

- Большинство сигналов имеют аналоговую природу, то есть изменяются непрерывно во времени и могут принимать любые значения на некотором интервале. Аналоговые сигналы описываются некоторой математической функцией времени.
- Пример АС — гармонический сигнал —  $s(t) = A \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi)$ .
- Аналоговые сигналы используются в телефонии, радиовещании, телевидении. Ввести такой сигнал в компьютер и обработать его невозможно, так как на любом интервале времени он имеет бесконечное множество значений, а для точного (без погрешности) представления его значения требуются числа бесконечной разрядности. Поэтому необходимо преобразовать аналоговый сигнал так, чтобы можно было представить его последовательностью чисел заданной разрядности.



# ДИСКРЕТНЫЙ СИГНАЛ

Дискретизация аналогового сигнала состоит в том, что сигнал представляется в виде последовательности значений, взятых в дискретные моменты времени. Эти значения называются отсчётами.  $\Delta t$  называется интервалом дискретизации. Частота дискретизации (или частота семплирования, англ. *sample rate*) — частота взятия отсчетов непрерывного во времени сигнала при его дискретизации (в частности, аналого-цифровым преобразователем). Измеряется в герцах. Термин применяется и при обратном, цифро-аналоговом преобразовании, особенно если частота дискретизации прямого и обратного преобразования выбрана разной (Данный приём, называемый также «Масштабированием времени», встречается, например, при анализе сверхнизкочастотных звуков, издаваемых морскими животными). Чем выше частота дискретизации, тем более широкий спектр сигнала может быть представлен в дискретном сигнале. Как следует из теоремы Котельникова, для того, чтобы однозначно восстановить исходный сигнал, частота дискретизации должна более чем в два раза превышать наибольшую частоту в спектре сигнала.

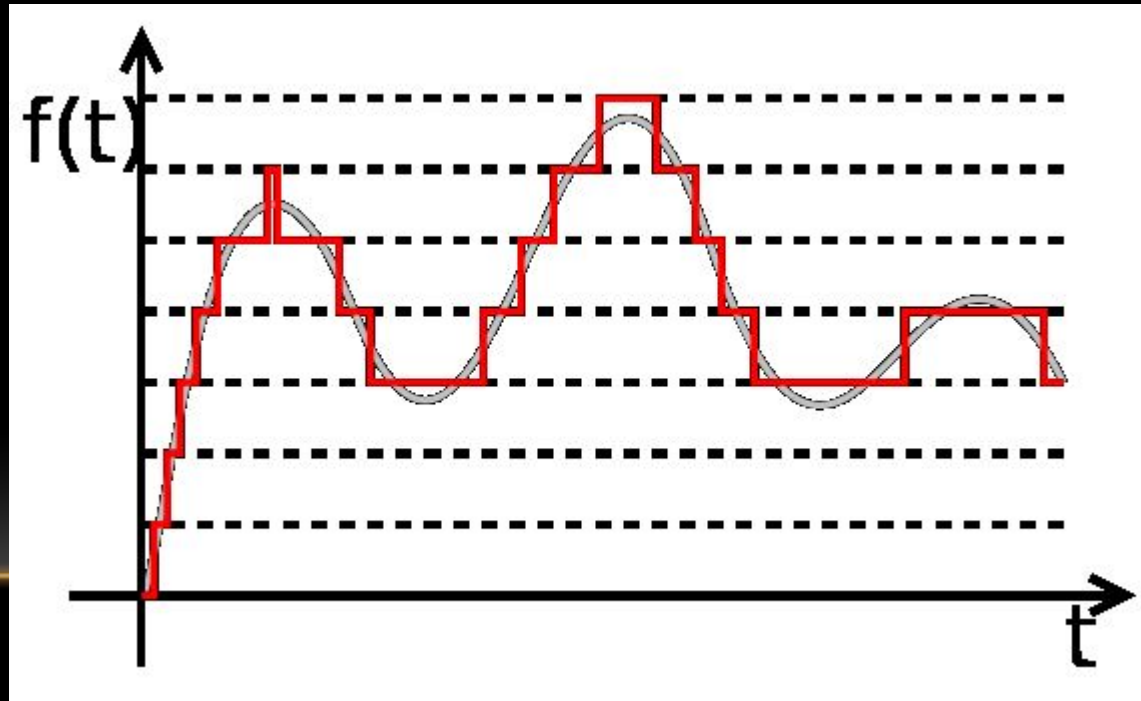


# ЧАСТОТЫ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ЗВУКА

- 8 000 Гц — телефон, достаточно для речи, кодек Nellymoser;
- 11 025 Гц;
- 16 000 Гц;
- 22 050 Гц — радио;
- 32 000 Гц;
- 44 100 Гц — используется в Audio CD;
- 48 000 Гц — DVD, DAT;
- 96 000 Гц — DVD-Audio (MLP 5.1);
- 192 000 Гц — DVD-Audio (MLP 2.0);
- 2 822 400 Гц — SACD, процесс однобитной дельта-сигма модуляции, известный как DSD — Direct Stream Digital, совместно разработан компаниями Sony и Philips;
- 5 644 800 Гц — DSD с удвоенной частотой дискретизации, однобитный Direct Stream Digital с частотой дискретизации вдвое больше, чем у SACD. Используется в некоторых профессиональных устройствах записи DSD.

# КВАНТОВАННЫЙ СИГНАЛ

При квантовании вся область значений сигнала разбивается на уровни, количество которых должно быть представлено в числах заданной разрядности. Расстояния между этими уровнями называется шагом квантования  $\Delta$ . Число этих уровней равно  $N$  (от 0 до  $N-1$ ). Каждому уровню присваивается некоторое число. Отсчёты сигнала сравниваются с уровнями квантования и в качестве сигнала выбирается число, соответствующее некоторому уровню квантования. Каждый уровень квантования кодируется двоичным числом с  $n$  разрядами. Число уровней квантования  $N$  и число разрядов  $n$  двоичных чисел, кодирующих эти уровни, связаны соотношением  $n \geq \log_2(N)$ .



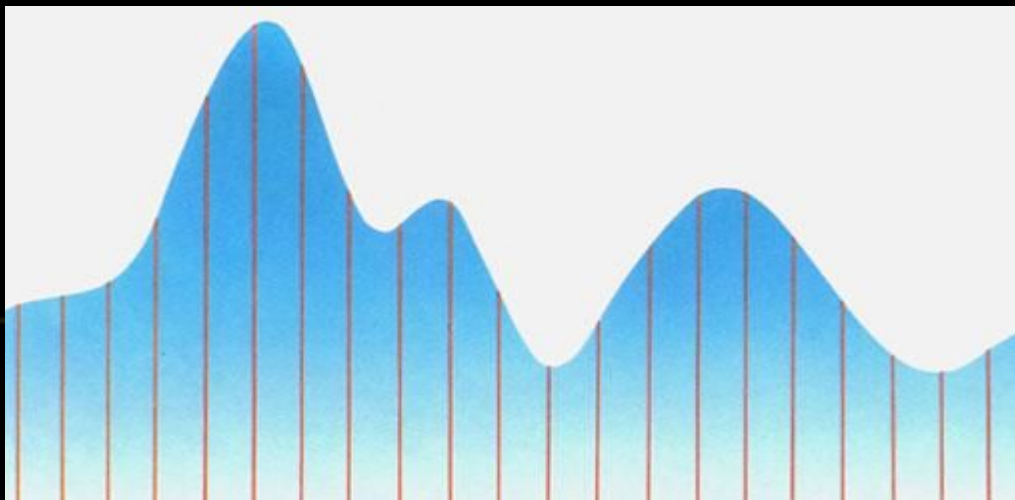
# КВАНТОВАНИЕ

- Квантование (англ. quantization) — в информатике разбиение диапазона значений непрерывной или дискретной величины на конечное число интервалов. Существует также векторное квантование — разбиение пространства возможных значений векторной величины на конечное число областей. Простейшим видом квантования является деление целочисленного значения на натуральное число, называемое коэффициентом квантования. Не следует путать квантование с дискретизацией (и, соответственно, шаг квантования с частотой дискретизации). При дискретизации изменяющаяся во времени величина (сигнал) замеряется с заданной частотой (частотой дискретизации), таким образом, дискретизация разбивает сигнал по временной составляющей (на графике — по горизонтали). Квантование же приводит сигнал к заданным значениям, то есть, разбивает по уровню сигнала (на графике — по вертикали). Сигнал, к которому применены дискретизация и квантование, называется цифровым. Квантование часто используется при обработке сигналов, в том числе при сжатии звука и изображений. При оцифровке сигнала уровень квантования называют также глубиной дискретизации или битностью. Глубина дискретизации измеряется в битах и обозначает количество бит, выражающих амплитуду сигнала. Чем больше глубина дискретизации, тем точнее цифровой сигнал соответствует аналоговому. В случае однородного квантования глубину дискретизации называют также динамическим диапазоном и измеряют в децибелах (1 бит  $\approx$  6 дБ).



# ЦИФРОВОЙ СИГНАЛ

Цифровой сигнал — сигнал данных, у которого каждый из представляющих параметров описывается функцией дискретного времени и конечным множеством возможных значений. Сигналы представляют собой дискретные электрические или световые импульсы. При таком способе вся емкость коммуникационного канала используется для передачи одного сигнала. Цифровой сигнал использует всю полосу пропускания кабеля. Полоса пропускания — это разница между максимальной и минимальной частотой, которая может быть передана по кабелю. Каждое устройство в таких сетях посылает данные в обоих направлениях, а некоторые могут одновременно принимать и передавать. Узкополосные системы (baseband) передают данные в виде цифрового сигнала одной частоты. Дискретный цифровой сигнал сложнее передавать на большие расстояния, чем аналоговый сигнал, поэтому его предварительно модулируют на стороне передатчика, и демодулируют на стороне приёмника информации. Использование в цифровых системах алгоритмов проверки и восстановления цифровой информации позволяет существенно увеличить надёжность передачи информации.



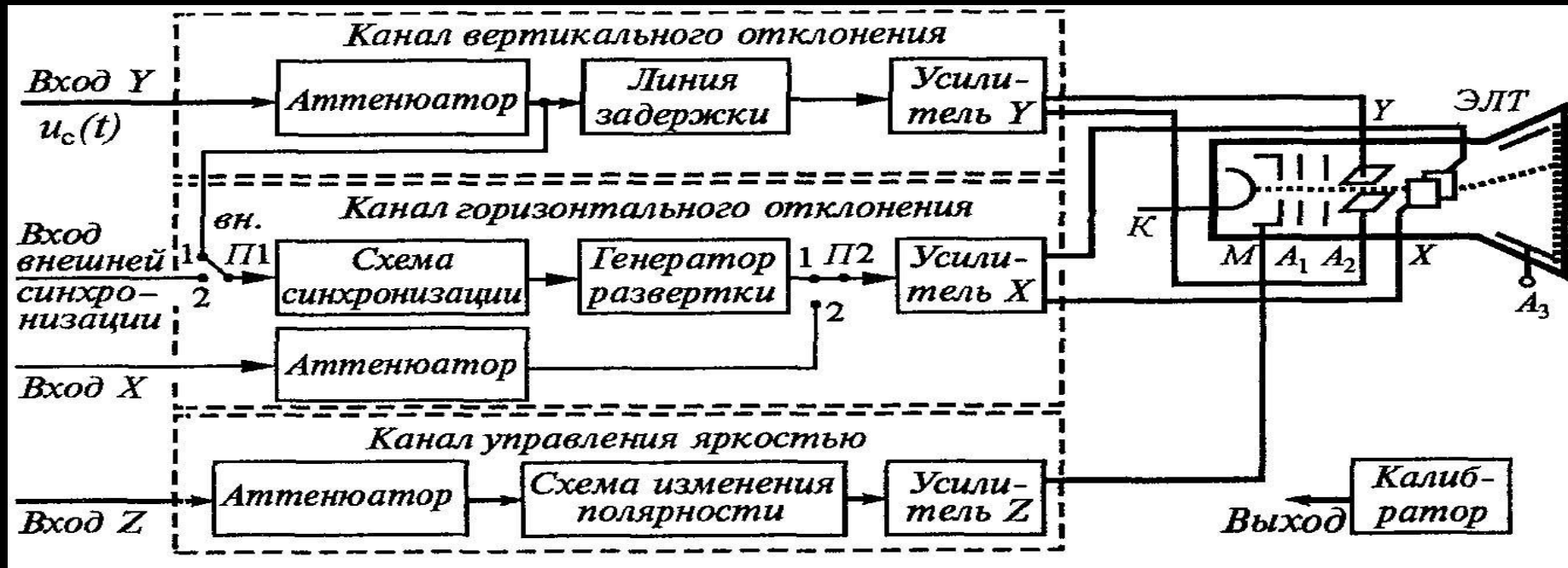
# ИССЛЕДОВАНИЕ ФОРМЫ СИГНАЛОВ. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Большинство современных осциллографов, находящихся в эксплуатации, оснащены электронно-лучевой трубкой (ЭЛТ) и их называют электроннолучевыми осциллографами. Вместе с тем, в последних разработках осциллографов в качестве отображающих устройств применяются матричные индикаторные панели (газоразрядные, плазменные, жидкокристаллические, твердотельные и т. д.).

Электронно-лучевой осциллограф — измерительный прибор для визуального наблюдения в прямоугольной системе координат электрических сигналов и измерения их параметров. С помощью осциллографа можно наблюдать периодические непрерывные и импульсные сигналы, непериодические и случайные сигналы, одиночные импульсы и оценивать их параметры. Чаще всего с помощью осциллографа наблюдают зависимость напряжения от времени, причем, как правило, осью времени является ось абсцисс, а по оси ординат откладывается уровень сигнала. По изображениям, получаемым на экране осциллографа, могут быть измерены амплитуда, частота и фазовый сдвиг, параметры модулированных сигналов, временные интервалы и ряд других параметров. На базе осциллографа созданы приборы для исследования переходных, частотных и амплитудных характеристик различных радиотехнических устройств.

# УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ

- ЭЛТ представляет собой вакуумную стеклянную колбу, внутри которой размещены электронная пушка, отклоняющие пластины и люминесцентный экран. Электронная пушка состоит из подогреваемого катода К, модулятора (сетки) яркости светового пятна М, электродов фокусировки и ускорения электронного луча — фокусирующего анода А1 ускоряющего анода А2 и основного анода А3. Яркость свечения люминофора ЭЛТ регулируется путем изменения отрицательного напряжения на модуляторе М. Напряжение на первом аноде А1 фокусирует электронный поток в узкий луч. Чтобы придать электронам скорость, необходимую для свечения люминофора, на второй анод А2 подается достаточно большое (до 2000 В) положительное напряжение. Для дополнительного ускорения электронов используют основной анод А3, к которому приложено высокое положительное напряжение (до 10... 15 кВ).



Упрощенно работу отклоняющих систем ЭЛТ можно пояснить следующим образом. Электронный пучок (луч), проходит между двумя парами взаимно перпендикулярных металлических отклоняющих пластин: вертикально отклоняющих  $Y$  и горизонтально отклоняющих  $X$ . Если к отклоняющим пластинам приложить напряжение, то между ними будет существовать электрическое поле, которое будет вызывать отклонение электронного луча в ту или иную сторону. Когда напряжение приложено к вертикально отклоняющим пластинам, то пятно будет перемещаться по оси  $Y$ ; если же напряжение приложено к горизонтально отклоняющим пластинам, то световое пятно на экране трубки будет отклоняться вдоль оси  $X$ . Если теперь сфокусировать электронный луч так, чтобы световое пятно расположилось в центре экрана ЭЛТ, а затем к пластинам  $Y$  приложить исследуемое напряжение, а к пластинам  $X$  пилообразное напряжение, то под совместным воздействием двух напряжений луч вычертит на экране трубки осциллограмму, отражающую зависимость входного напряжения от времени.

Канал вертикального отклонения луча служит для передачи на пластины  $Y$  ЭЛТ исследуемого сигнала  $u_c(t)$ , подводимого к входу  $Y$ . Канал вертикального отклонения луча содержит attenuator, линию задержки и усилитель  $Y$ . Attenuator позволяет ослабить сигнал в определенное число раз, а регулируемая линия задержки обеспечивает небольшой временной сдвиг сигнала на пластинах  $Y$  ЭЛТ относительно начала развертывающего напряжения  $U_x$ , что важно для ждущего режима. Усилитель  $Y$  обеспечивает амплитуду сигнала на пластинах  $Y$ , достаточную для значительного отклонения луча на экране даже малым исследуемым сигналом  $u_c(t)$ .

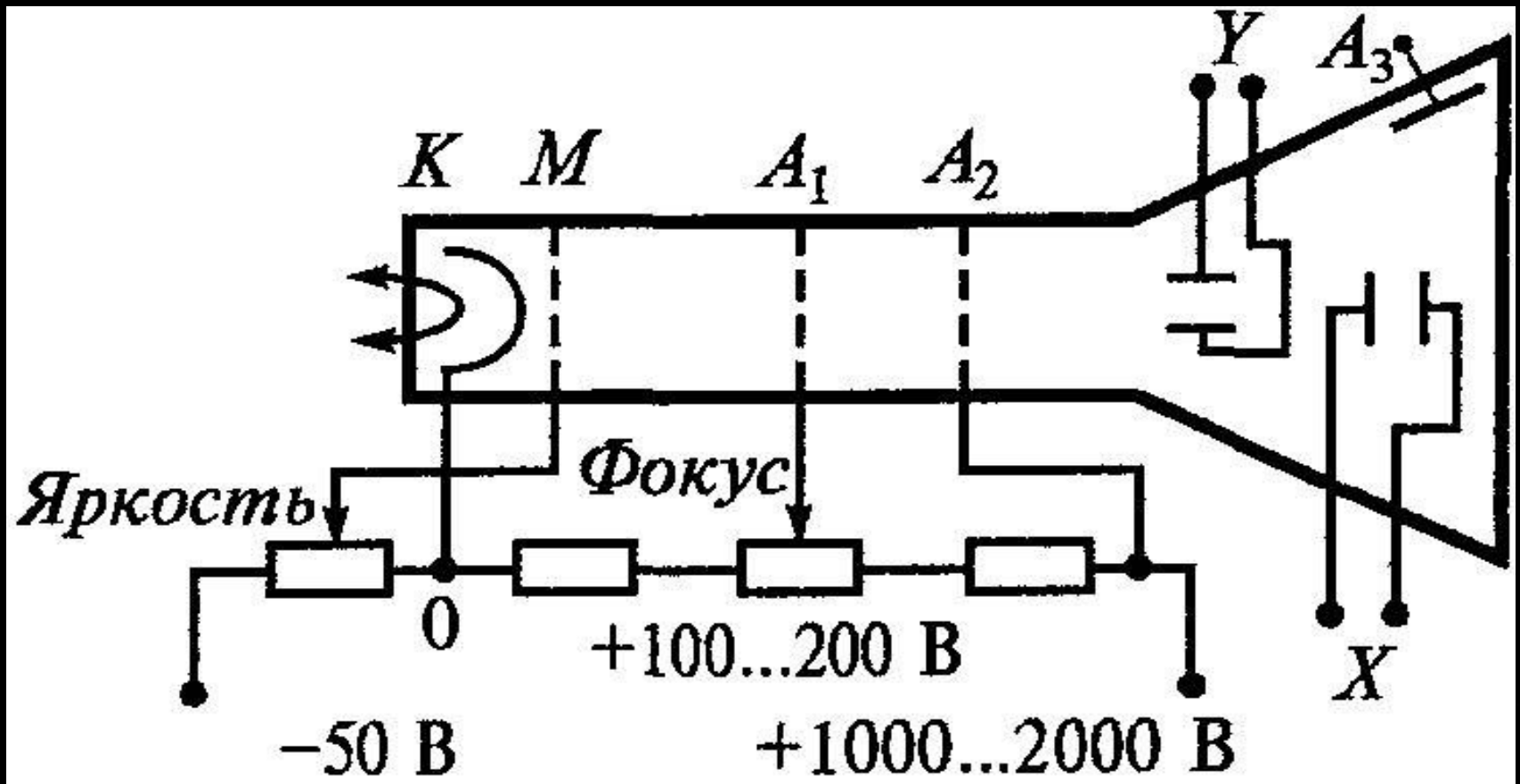
- В свою очередь, усилитель Y канала вертикального отклонения луча содержит входной усилитель с изменяемым коэффициентом усиления  $K_{ус}$  и парафазный (с противофазными выходными сигналами одинаковой амплитуды) усилитель, обеспечивающий положение светового пятна в центре экрана при отсутствии исследуемых сигналов. В канал вертикального отклонения луча может также входить калибратор амплитуды. Сигнал от калибратора поступает на вход первого усилителя для установки заданного коэффициента усиления  $K_{ус1}$ . При этом цена деления  $V/\text{дел}$  масштабной сетки на экране осциллографа без учета аттенюатора определится формулой:

$$c = \left| \frac{U_k}{K_{ус1} n_k} \right|,$$

- где  $U_k$  — напряжение на выходе калибратора;  $K_{ус1}$  — коэффициент усиления усилителя канала  $U$  при одном фиксированном положении регулировки;  $n_k$  — число делений сетки, занятое изображением калибровочного сигнала на экране ЭЛТ.

# ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА (ЭЛТ)

Способ получения сфокусированного луча и принцип управления лучом можно пояснить с помощью схемы, представленной на рисунке. Как уже отмечалось, в ЭЛТ совокупность электродов К, М, А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub> называется электронной пушкой, которая излучает узкий пучок электронов. Для этого на электроды подаются напряжения, примерные величины которых даны на рисунке.



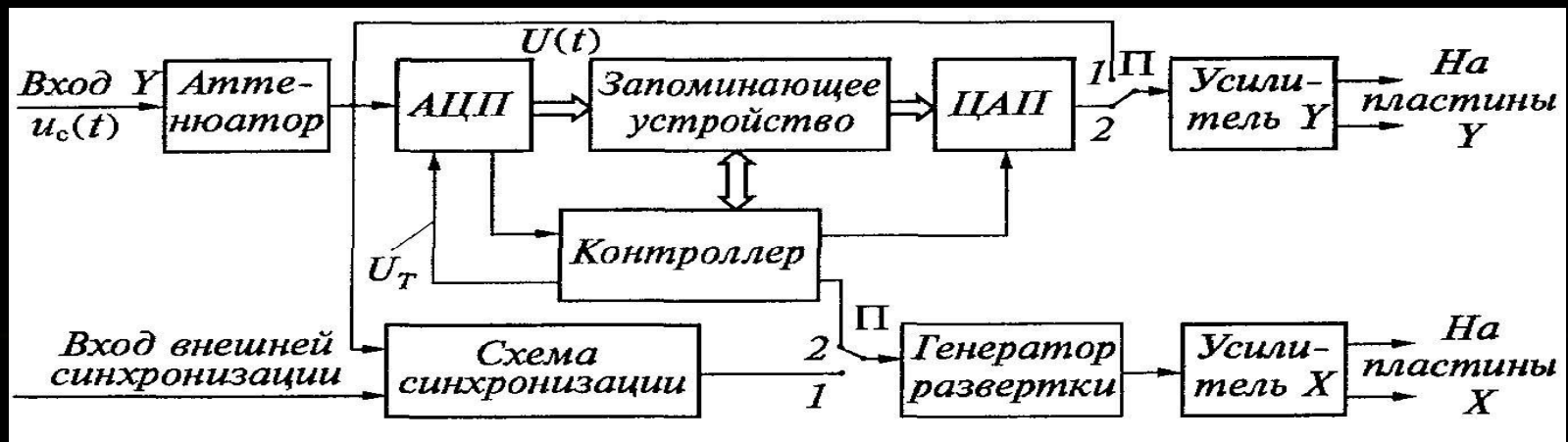
- Основные характеристики ЭЛТ —чувствительность, полоса пропускания, длительность послесвечения, площадь экрана.
- Чувствительность трубки  $ST = LT/UT$ , где  $LT$  — отклонение луча на экране трубки под воздействием напряжения  $UT$ , приложенного к паре отклоняющих пластин Обычно  $ST$  порядка 1 мм/В.
- С увеличением частоты исследуемого сигнала чувствительность трубки падает. Верхняя граница полосы пропускания ЭЛТ устанавливается на уровне, где чувствительность составляет примерно 0,7 от номинального значения. Для универсальных осциллографов широкого использования эта частота достигает 200 МГц. В современных осциллографах часто применяются многолучевые трубки, что достигается увеличением количества электродов. Более экономичным оказывается использование однолучевого осциллографа в режиме поочередной подачи двух сигналов на отклоняющие пластины (двухканальные осциллографы). За счет эффекта послесвечения трубки и свойств глаза на экране наблюдается одновременное изображение двух сигналов, хотя они подаются поочередно.



# ЗАПОМИНАЮЩИЕ ЦИФРОВЫЕ ОСЦИЛЛОГРАФЫ (ЗЦО).

Осциллограф может работать в двух режимах. Если сдвоенный переключатель  $\Pi$  находится в положении 1, то схема представляет обычный универсальный осциллограф, а если в положении 2 — то схема работает как ЗЦО.

Упрощенно принцип действия запоминающего цифрового осциллографа можно описать следующим образом. Исследуемый сигнал  $u_c(t)$  с входа  $Y$  подается через attenuator на информационный вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Из контроллера (управляющего устройства) на АЦП подаются еще и тактовые импульсы  $U_T$  с периодом следования  $T$ . При поступлении в некоторый момент времени  $t_i$  одного из них, АЦП преобразует амплитуду сигнала  $u_c(t_i)$  в двоичный код  $U(t_i)$ , т. е. набор кодовых чисел 0 и 1. В конце такого преобразования АЦП выдает на контроллер соответствующий сигнал. При этом цифровой код передается в определенную ячейку запоминающего устройства





За время исследования сигнала  $U(t)$  в ЗУ накапливаются коды его амплитуд  $U(t_i)$ ,  $U(t_i + T)$ ,  $U(t_i + 2T)$  и т.д.; там они могут храниться любое время, поскольку ЗУ, как известно, — энергонезависимое устройство. Для воспроизведения хранимой информации по команде контроллера из памяти ЗУ выбираются (считываются) коды в требуемой последовательности и заданном темпе и подаются на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). ЦАП каждый код преобразует в соответствующее ему напряжение. Эти напряжения передаются через усилитель на пластины  $Y$ . Осциллограмма представляет собой набор светящихся точек. Для получения непрерывной осциллограммы после ЗУ устанавливают блок сглаживания — по существу фильтр нижних частот (на рисунке не показан).

Основные достоинства ЗЦО: практически неограниченное время хранения информации; широкие пределы скорости ее считывания; возможность замедленного воспроизведения отдельных участков запомненного сигнала; яркие и четкие осциллограммы; возможность обработки информации в цифровом виде на компьютере или внутри самого осциллографа с помощью встроенного микропроцессора. Основной недостаток ЗЦО — из-за сравнительно невысокого быстродействия АЦП большинство осциллографов могут запоминать сигналы, имеющие частоту не выше 40 МГц.

# ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ И ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА

В универсальных осциллографах используется метод измерения амплитуд сигналов с помощью масштабной сетки, помещенной на экране осциллографа. Цена деления сетки устанавливается с помощью калибратора амплитуды.

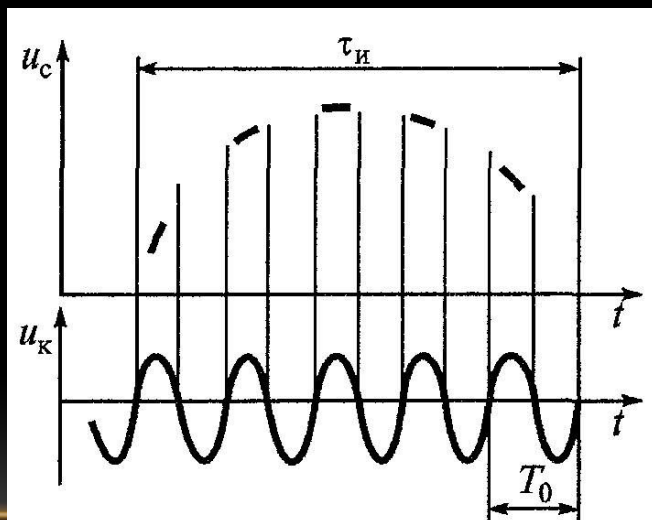
Параметры импульсов определяются следующим образом:  $U_p = C_y l_y$ ;  $U_p$  — размах (амплитуда импульса);  $C_y$  — цена деления сетки по вертикали, В/дел;  $T = C_x L_x$  — период следования импульсов;  $t_p = C_x l_x$  — длительность импульса;  $C_x$  — цена деления сетки по горизонтали, с/дел;  $l_y$ ,  $L_x$ ,  $l_x$  — выражены в делениях сетки.

Погрешность измерения амплитуды сигнала при этом методе измерения составляет 3...5%. Существует ряд способов повысить точность измерения амплитуды исследуемого сигнала, например компенсационные методы. Эти методы чаще всего применяют только в цифровых осциллографах, что позволяет получить численные значения параметров с погрешностью 1...2%.



В отличие от частотомеров и измерителей временных интервалов, с помощью осциллографов можно измерять параметры сигналов сложной временной структуры, например ступенчатых сигналов или сигналов кодовых последовательностей. Можно измерять параметры случайных и переходных процессов. Наиболее простым методом исследования является метод калиброванной развертки (калиброванных меток). Реальная погрешность этого метода составляет порядка 10 % и зависит от количества меток.

Калибровочные метки известной частоты наносятся на изображение сигнала длительностью  $\tau_k$  путем модуляции яркости луча, т. е. подачей на сетку ЭЛТ напряжения известной частоты  $f_0 = 1/T_0$ . При этом длительность сигнала  $\tau_k = nT_0$ , где  $n$  — количество калибровочных меток.



Измерение интервалов времени с помощью калибровочных меток

$u_c$  — исследуемое напряжение,

$u_k$  — калибровочное напряжение

# СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
- Иванов М. Т., Сергиенко А. Б., Ушаков В. Н. Теоретические основы радиотехники / Под ред. В. Н. Ушакова. — М.: Высшая школа, 2002. — 306 с.
- Куликовский Л. Ф., Молотов В. В. Теоретические основы информационных процессов. — М.: Высшая школа, 1987. — 248 с.
- <http://rudocs.exdat.com>