

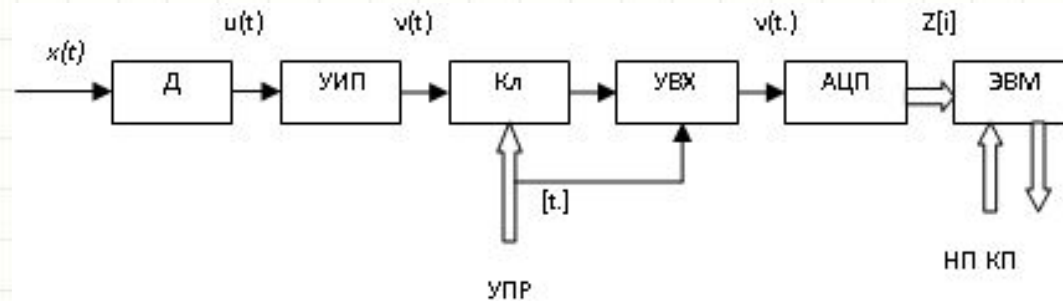
АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА РЕГИСТРАЦИИ БИОМЕДИЦИНСКИХ ДАННЫХ

©А.В. Литвин

Регистрация биомедицинских сигналов

- По своей природе биомедицинские сигналы относятся в основном к аналоговым сигналам, имеющим небольшие амплитудные значения и различный частотный состав.
- Аналоговыми сигналами называются непрерывные во времени сигналы.

Регистрация биомедицинских сигналов



- $x(t)$ – параметр, характеризующий состояние биообъекта; Д – датчик (электрод); $u(t)$ – выходной сигнал датчика; УИП – унифицирующий измерительный преобразователь; $v(t)$ – выходной сигнал УИП; Кл – ключ; УВХ – устройство выборки-хранения; УПР – управление ключом
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь; $Z[i]$ – цифровой код сигнала; ЭВМ – вычислительная машина

Электроды

- Электроды используются для измерения активных (биопотенциалов) и пассивных (импеданс биотканей) электрических показателей.
- Для регистрации биопотенциалов широко применяются хлор-серебряные электроды, имеющие круглую или прямоугольную форму. На теле электроды крепят резиновыми ремнями, присосками, лейкопластырем или клеем.



Датчики

- Датчики, сенсор (sensor)– (первичные преобразователи) – для измерения неэлектрических показателей (температура, давление, сатурация крови кислородом).
- К датчикам предъявляются следующие основные требования:
- точность, быстродействие, линейность, стабильность временных характеристик, помехозащищенность, надежность



Параметры информационных сигналов

- В соответствии с российскими стандартами (ГОСТ 9895-78, ГОСТ 14853-76) в качестве носителя информации в системах автоматизации используются электрические сигналы постоянного и переменного тока:
- 1) уровни постоянного тока: 0 - 5 мА; 0 - 20 мА; 4 - 20 мА; -0,5 - 0 - 5 мА;
- 20 - 0 - 20 мА; -100 - 0 - 100 мА;
- 2) уровни постоянного напряжения: 0 - 10 мВ; 0 - 20 мВ; 0 - 50 мВ; 0 - 100 мВ; 0 - 1В; 0 - 5 В; 0 - 10 В; -100 - 0 - 200 мВ; -1 - 0 - 1 В; -5 - 0 - 5 В; 1 - 5 В; -10 - 0 - 10В;
- 3) уровни напряжения переменного тока: 0 - 1В; 0 - 2В на частотах 50 или 400 Гц;
- 4) частотные сигналы: 2 - 4 кГц; 4 - 8 кГц. Амплитуда сигналов при этом может находиться в пределах 60 - 160 мВ; 160 - 600 мВ; 0,6 - 2,4 В; 2,4 - 12 В.
- Выходы УИП должны обеспечивать нагрузочную способность 250 Ом, 1 кОм, 2,5 кОм.

Параметры информационных сигналов

- Токовые сигналы используются для передачи измерительных сигналов на расстояния до нескольких сотен метров.
- Потенциальные сигналы применяются в пределах внутрисистемных блоков и устройств.
- Сигналы с подавленным нулем (4 -20 мА; 1 - 5 В) позволяют осуществлять контроль целостности линии и подачу электропитания.
- Частотные сигналы имеют высокую помехоустойчивость и применяются в условиях сильных помех.

Параметры устройств регистрации биопотенциалов

- Отличительная особенность устройств для регистрации биопотенциалов: :
 - – большой динамический диапазон входных сигналов (до ± 300 мВ);
 - – уровень внутренних шумов 1–2 мкВ при полезном сигнале до 10 мВ и уровне напряжения поляризации, в основном определяемом качеством используемых электродов;
 - – высокий уровень подавления синфазной помехи (не менее 100 дБ);
 - – большое внутреннее сопротивление источника сигнала (до 20 кОм);
 - – наличие на исследуемом объекте промышленных помех;
 - – значительное различие регистрируемых сигналов по частоте.

Измерительные коммутаторы

- Аналоговые коммутаторы классифицируют по точности, быстродействию и количеству каналов.
- Погрешность коммутатора оценивается соотношением
- $$\varepsilon_K = (U_{вх} - U_{вых}) / U_{вх}$$
- где $U_{вх}$, $U_{вых}$ – входное и выходное напряжения коммутатора.
- ИК подразделяются на низкоточные ($> 1\%$), средней точности ($= 1 - 0,05\%$) и высокоточные ($< 0,05\%$).
- ИК бывают с низким ($> 0,1\text{мс}$), средним ($> 1\text{мкс}$) и высоким ($< 1\text{мкс}$) быстродействием.
- ИК подразделяются на малоканальные ($p < 8$),
- среднеканальные ($8 < p < 128$) и многоканальные ($p > 128$).

Усилитель биопотенциалов

- Основным элементом УИП является биоусилитель.
- Операции биоусилителя:
 - 1) усиливает биомедицинские сигналы до входного диапазона АЦП (обычно до уровня ± 5 В);
 - 2) осуществляет фильтрацию сигналов посредством аналоговых фильтров верхних (ФВЧ) и нижних (ФНЧ) частот;
 - 3) удаляет из биосигналов сетевую наводку посредством режекторным фильтром.

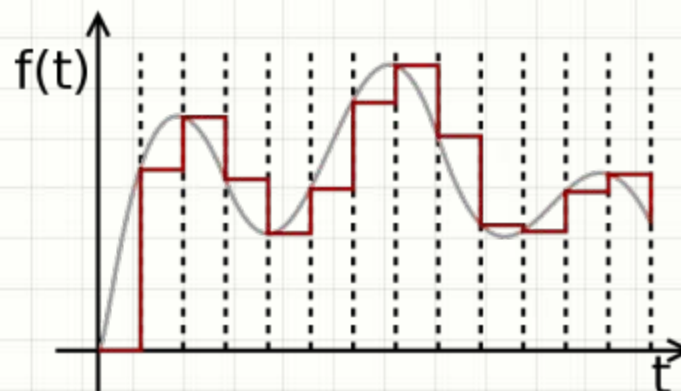
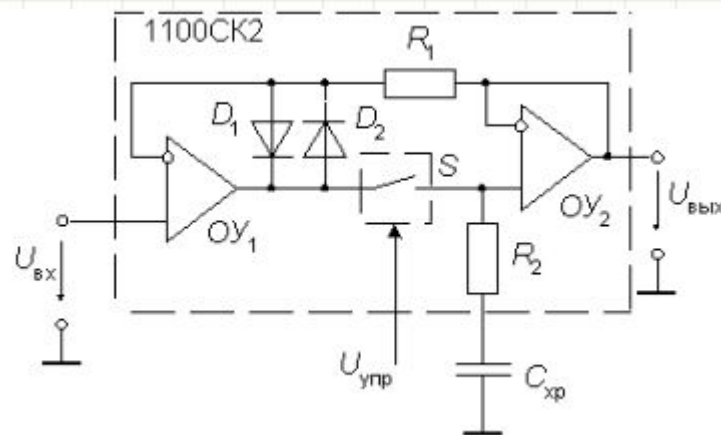
Основные характеристики биоусилителя

- – входное сопротивление не менее 100 МОм;
- – уровень шума не более 1–5 мкВ от пика до пика ;
- – уровень подавления синфазной помехи 80–100 дБ;
- – полоса пропускания не менее 0.01–1000 Гц;
- – коэффициент усиления от 1 до 100 тысяч;
- – число ФВЧ;
- – число ФНЧ;
- – режекторный фильтр с добротностью не менее 80 дБ.

Устройство выборки и хранения

- Поскольку входной сигнал в течение времени преобразования может меняться, его фиксируют с помощью устройства выборки и хранения (УВХ).
- УВХ имеет аналоговый вход, аналоговый выход и цифровой управляющий вход.
- Запоминающим элементом в устройстве выборки и хранения является конденсатор.
- Режимы работы УВХ:
 - – режим слежения (track mode);
 - – режим хранения (hold mode).
- В режиме слежения выходной сигнал УВХ совпадает со входным.
- В режиме хранения напряжение на выходе устройства постоянно.

- Чаще всего УВХ реализуется на одном кристалле с АЦП.
- Примером устройства выборки и хранения аналогового сигнала является микросхема К1103СКЗ с временем



Аналого-цифровые и цифро-аналоговые преобразователи

- АЦП осуществляет преобразование входных аналоговых сигналов в цифровую форму для ввода в ЭВМ, с заданной частотой повторения таких преобразований.
- Основные характеристики АЦП:
 - число входных аналоговых каналов,
 - число дискретных входных и выходных каналов,
 - разрядность преобразования,
 - быстродействие,
 - уровень шумов и их изменение с частотой.

Пример 12 разрядного АЦП

- Диапазон входных значений = от 0 до 10 вольт
- Разрядность двоичного АЦП 12 бит:
 $2^{12} = 4096$ уровней квантования
- Разрешение двоичного АЦП по напряжению:
 $(10-0)/4096 = 0,00244$
вольт = 2,44 мВ



АЦП для ввода в ЭВМ биосигналов

- Современные АЦП имеют 16 входных аналоговых каналов, 8 входных и 8 выходных дискретных каналов, 12-разрядное преобразование со временем в несколько микросекунд, что более чем достаточно для большинства электрофизиологических исследований.

Виды АЦП

- АЦП подразделяются на последовательные и параллельные.
- К последовательным АЦП относятся:
 - 1) АЦП с промежуточным преобразованием в интервал времени или частоту и последующим преобразованием в цифровой код;
 - 2) АЦП поразрядного взвешивания, основанные на уравнивании U_x суммой n - эталонных напряжений;
 - 3) АЦП интегрирующего типа;
 - 4) АЦП с единичным приближением (следящего типа) основанные на компенсации входного сигнала U_x ступенчатым сигналом, изменяющимся с шагом квантования ΔU .

- Большинство АЦП (70-80%) реализовано по схеме поразрядного взвешивания. Разрядность таких АЦП составляет 10 -16 бит с высоким быстродействием (1 - 40 мкс). Основное применение – многоканальные ИС.

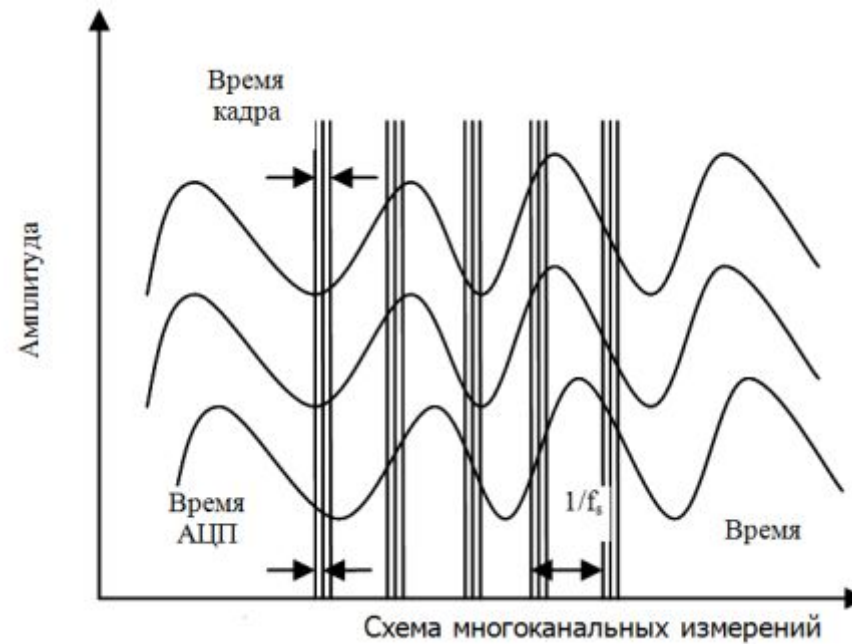
Параллельные АЦП

- Параллельные АЦП основаны на использовании $2^n - 1$ эталонов напряжений, различающихся на один квант ΔU .
- Преобразование осуществляется за один такт.
- Новыми разновидностями АЦП интегрирующего типа являются дельта-сигма и сигма-дельта АЦП. Сигма-дельта АЦП применяют для преобразования относительно медленных сигналов с большим динамическим диапазоном.

Цифроаналоговые преобразователи

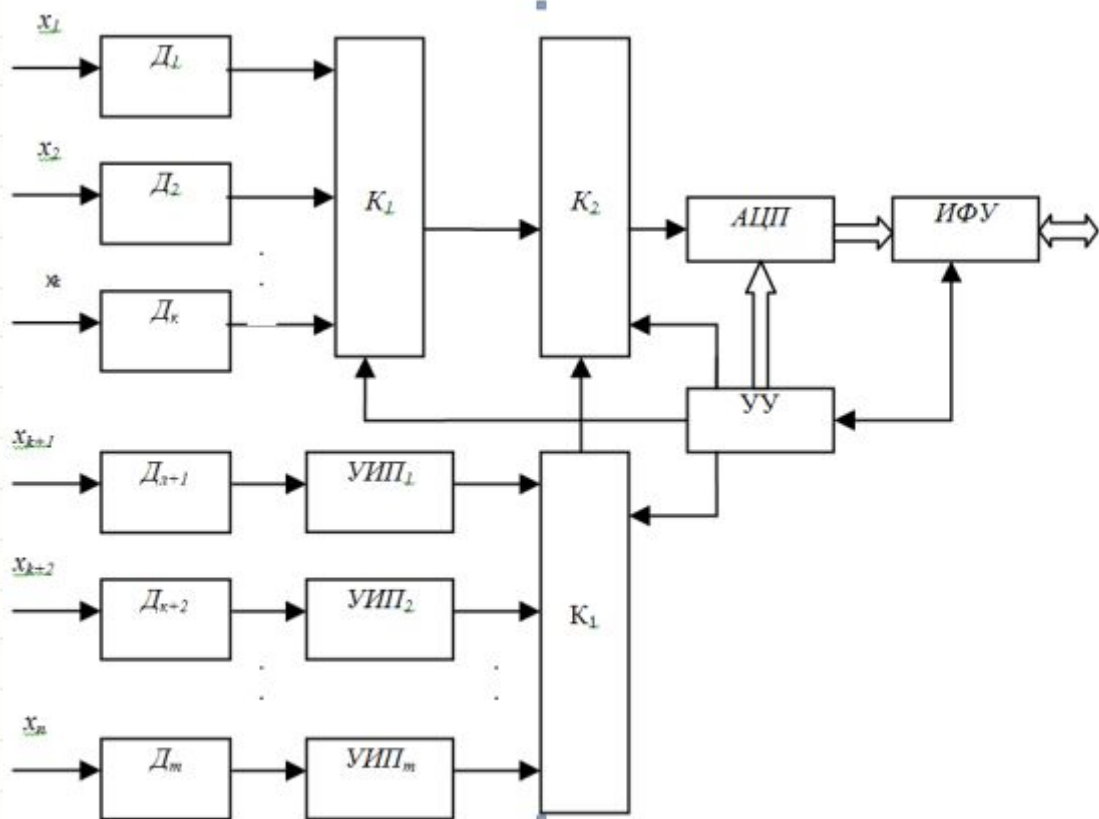
- ЦАП входят в состав устройств вывода аналоговой информации для исполнительных устройств систем управления, цифроуправляемых генераторов программируемых источников питания и т. д.

Многоканальные измерения



- f_s - частота оцифровки определяется теоремой Котельникова или правилом Найквиста.

Многоканальная измерительная система



Структурная схема многоканальной измерительной системы

- D – датчики;
- K – аналоговые коммутаторы;
- УИП – унифицирующий измерительный преобразователь;
- УУ – устройство управления (контроллер);
- АЦП – аналого-цифровой преобразователь;
- ИФУ – интерфейсное устройство.

Погрешность ввода сигнала

- $\varepsilon_D, \varepsilon_K, \varepsilon_{УВХ}, \varepsilon_{АЦП}$ - погрешности датчика, коммутатора, УВХ и АЦП.
- Значения погрешностей выбираются из паспортных или справочных данных. Основную долю в погрешность преобразования АЦП вносит погрешность квантования.

$$\varepsilon_{АЦП} = \frac{1}{n}, \quad \text{где } n \text{ — разрядность АЦП}$$

Погрешность ввода сигнала

- Для исключения потери информации при прохождении сигнала по каналу должно выполняться условие
- $\varepsilon_D \geq \varepsilon_K \geq \varepsilon_{УВХ} \geq \varepsilon_{АЦП}$
- При этом суммарная среднеквадратическая погрешность оценивается выражением
- $\varepsilon_S = (\varepsilon_D^2 + \varepsilon_K^2 + \varepsilon_{УВХ}^2 + \varepsilon_{АЦП}^2)^{1/2}$
- Причем должно соблюдаться условие
- $\varepsilon_S \leq \varepsilon$
- Необходимая разрядность АЦП определится выражением:
- $m \geq \text{int} \log_2 \left(\frac{1}{\varepsilon_{АЦП}} \right)$

Временные параметры устройств ИИС

- Согласно теореме Котельникова интервал дискретизации t сигнала не должен превышать

- $$\Delta t \leq 1/f_{max}$$

- Общее время цикла должно быть $T_{ц} \leq \Delta t$.

- Так как число датчиков равно n , то длительность измерения по одному каналу не должна превышать значения

- $$\Delta t_{изм} \leq \frac{T_{ц}}{n} = \frac{\Delta t}{n} = \frac{1}{2nf_{max}}$$

Временные параметры устройств ИИС

- Длительность $\Delta t_{\text{ИЗМ}}$ включает:
 - длительность коммутации $\Delta t_{\text{к}}$,
 - выборки $\Delta t_{\text{в}}$,
 - аналого-цифрового преобразования $\Delta t_{\text{ацп}}$
 - ввода информации в ЭВМ $\Delta t_{\text{ВВ}}$.
- Таким образом, суммарное быстродействие канала должно быть следующее:
- $$\Delta t_{\text{к}} + \Delta t_{\text{в}} + \Delta t_{\text{АЦП}} + \Delta t_{\text{ВВ}} \leq \frac{1}{2n f_{\text{max}}}$$
- При достаточном быстродействии АЦП можно исключить УВХ.

Приведенная апертурная погрешность АЦП

- Оценим предельную частоту f_{Π} измерительного сигнала, который АЦП способен правильно преобразовать без применения УВХ.
- Пусть измерительный сигнал представляет собой гармонические колебания
- $u_x = U_m \sin(2\pi ft)$
- За время преобразования t АЦП сигнал успевает измениться на величину
- $\Delta u_x = \frac{du_x}{dt} t_{\text{АЦП}} = 2\pi f U_m \cos(2\pi ft) t_{\text{АЦП}}$
- Максимально возможное приращение сигнала
- $[\Delta u_{x\text{max}}] = 2\pi f_{\Pi} U_m t_{\text{ацп}}$
- Отсюда приведенная апертурная погрешность АЦП равна:
- $\varepsilon_a = \frac{\Delta u_{x\text{max}}}{U_m} = 2\pi f_{\Pi} \Delta t_{\text{ацп}}$

Максимальная частота АЦП

- Для правильной оцифровки сигнала необходимо, чтобы приращение сигнала не превышало шага квантования АЦП
- АЦП без УВХ может обеспечить преобразование сигналов с верхней частотой не более:
- $f_{max} \leq f_{\Pi} = 1 / \pi \Delta t_{\text{АЦП}} 2^{n-1}$
- Это требование достаточно практически исключают возможность использования АЦП без УВХ.