

# **Тема: Основные понятия медицинской электроники**

# План

- 1. Классификации медицинской техники. Структурная блок-схема приборов для регистрации биопотенциалов**
- 2. Электроды и датчики**
- 3. Усилители и генераторы**
- 4. Регистрирующие устройства**
- 5. Надежность медицинской аппаратуры**
- 6. Использование ВЧ и НЧ токов и полей в медицине**



# Основные группы медицинских электронных приборов и аппаратов

Медицинскую электронную аппаратуру можно разделить на два класса:

**медицинские приборы и медицинские аппараты.**

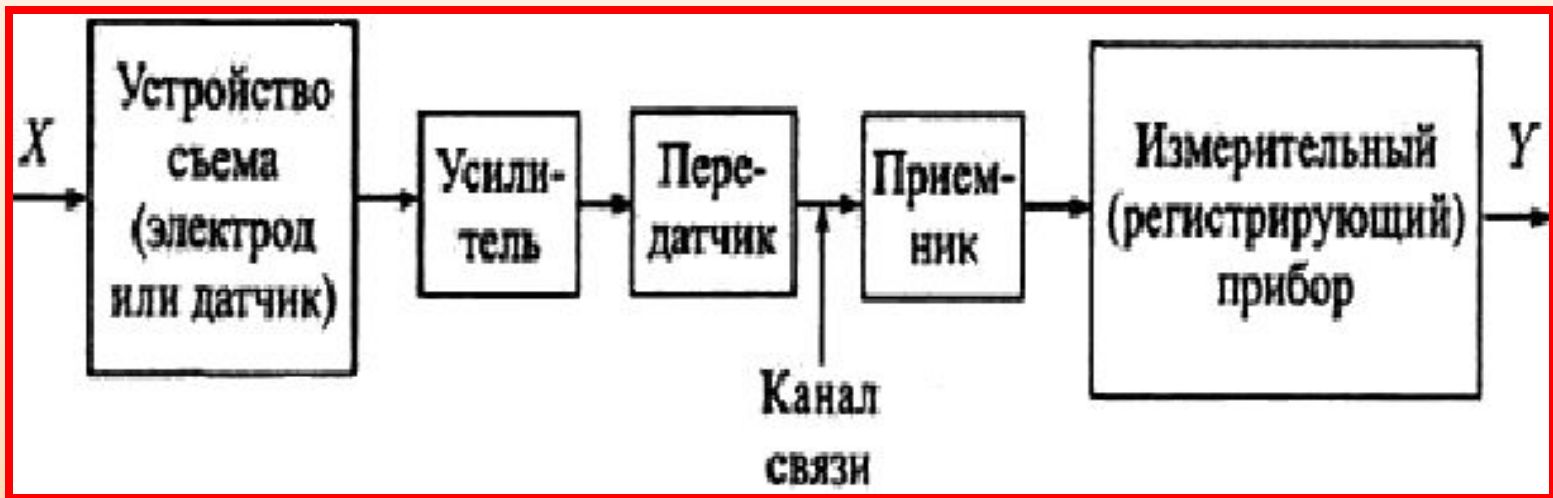
***Медицинский прибор*** — техническое устройство, предназначенное для диагностических или лечебных измерений (медицинский термометр, электрокардиограф и др.).

***Медицинский аппарат*** — техническое устройство, позволяющее создавать энергетическое воздействие (часто дозированное) терапевтического, хирургического или бактерицидного свойства (аппарат УВЧ терапии, аппарат искусственной почки и др.), а также обеспечить сохранение определенного состава некоторых субстанций.

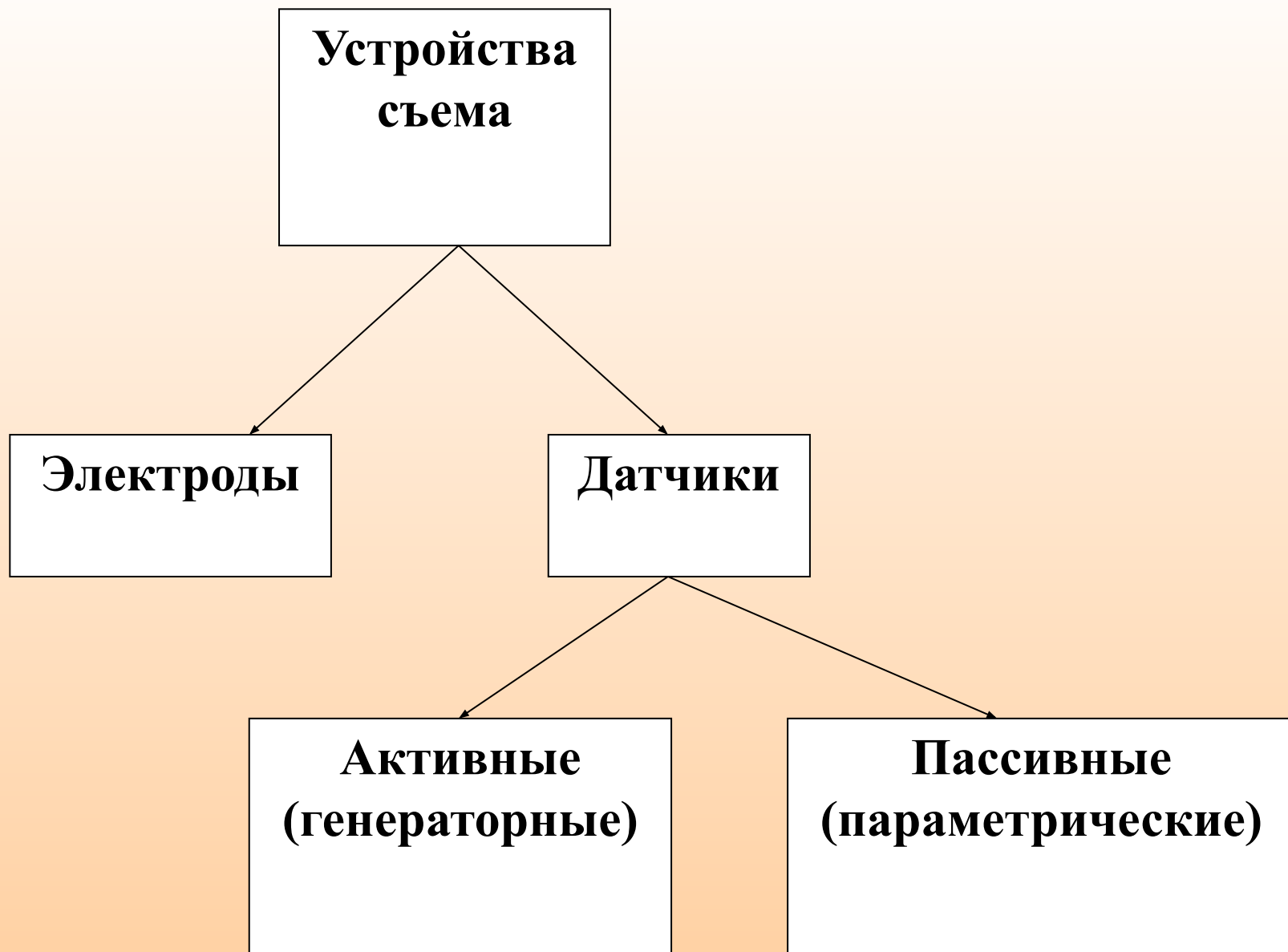
Основные группы приборов и аппаратов, используемые для медико-биологических целей:

- *Устройство для получения (съема), передачи и регистрации медико-биологической информации.* Большинство этих устройств содержит в своей схеме **усилитель** электрических сигналов.
- *Устройство, обеспечивающее дозирующее воздействие на организм различными физическими факторами с целью лечения.* С физической точки зрения эти устройства являются генераторами различных электрических сигналов.
- *Кибернетические электронные устройства.*

# Структурная схема съема, передачи и регистрации медико-биологической информации



где  $X$  — измеряемый параметр биологической системы,  
 $Y$  — величина, регистрируемая на выходе измерительным прибором



## 2. Принцип действия электродов

*Электроды* — это проводники специальной формы, соединяющие измерительную цепь с биологической системой.

К электродам предъявляются *требования*:

- они должны быстро фиксироваться и сниматься,
- иметь высокую стабильность электрических параметров,
- не искажать сигнал,
- не раздражать биологическую ткань и т. п.



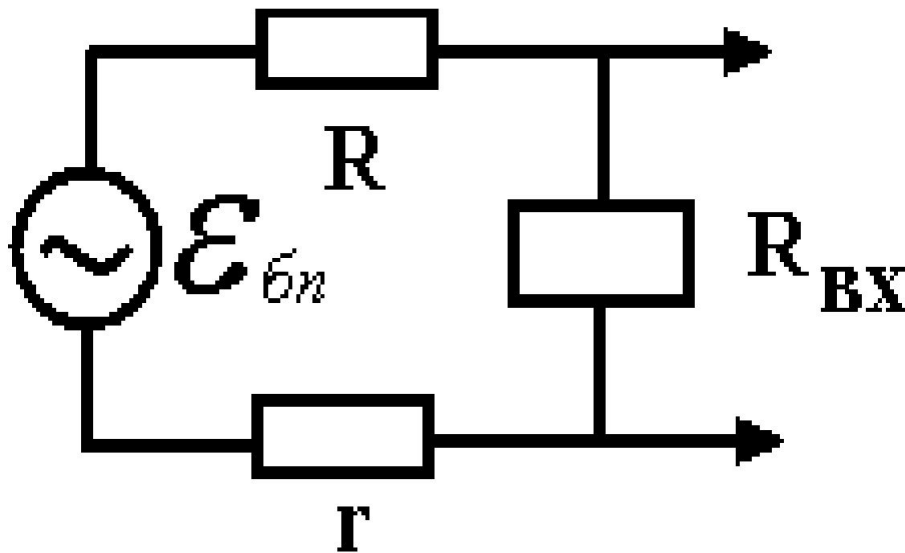


Рис. 1. Эквивалентная схема снятия биопотенциалов

$\mathcal{E}_{\text{бп}}$  — ЭДС источника биопотенциалов;

$r$  — сопротивление внутренних органов;

$R$  — сопротивление кожи и электродов;

$R_{\text{вх}}$  — входное сопротивление усилителя.

*Для уменьшения сопротивления контакта  
«электрод-кожа» можно :*

- использовать салфетки, смоченные физраствором;
- увеличить площадь электрода (истинная картина в этом случае может искажаться, так как электрод будет захватывать сразу несколько эквипотенциальных поверхностей).

## *Проблемы:*

1. возникновение гальванической ЭДС в месте контакта электрода с биологической системой.
2. электролитическая поляризация электродов, что приводит к выделению на электродах продуктов реакции при прохождении тока. В результате возникает встречная (по отношению к основной) ЭДС.

В обоих случаях возникновение ЭДС искажает снимаемый электродами полезный биоэлектрический сигнал.

## Виды электродов при физиотерапии

*Плоские электроды.* Такие электроды используются, например, при гальванизации, электрофорезе. К телу больного подводят постоянный ток с помощью двух электродов, каждый из которых состоит из свинцовой пластинки (или токопроводящей углеграфитовой ткани) и гидрофильной прокладки.

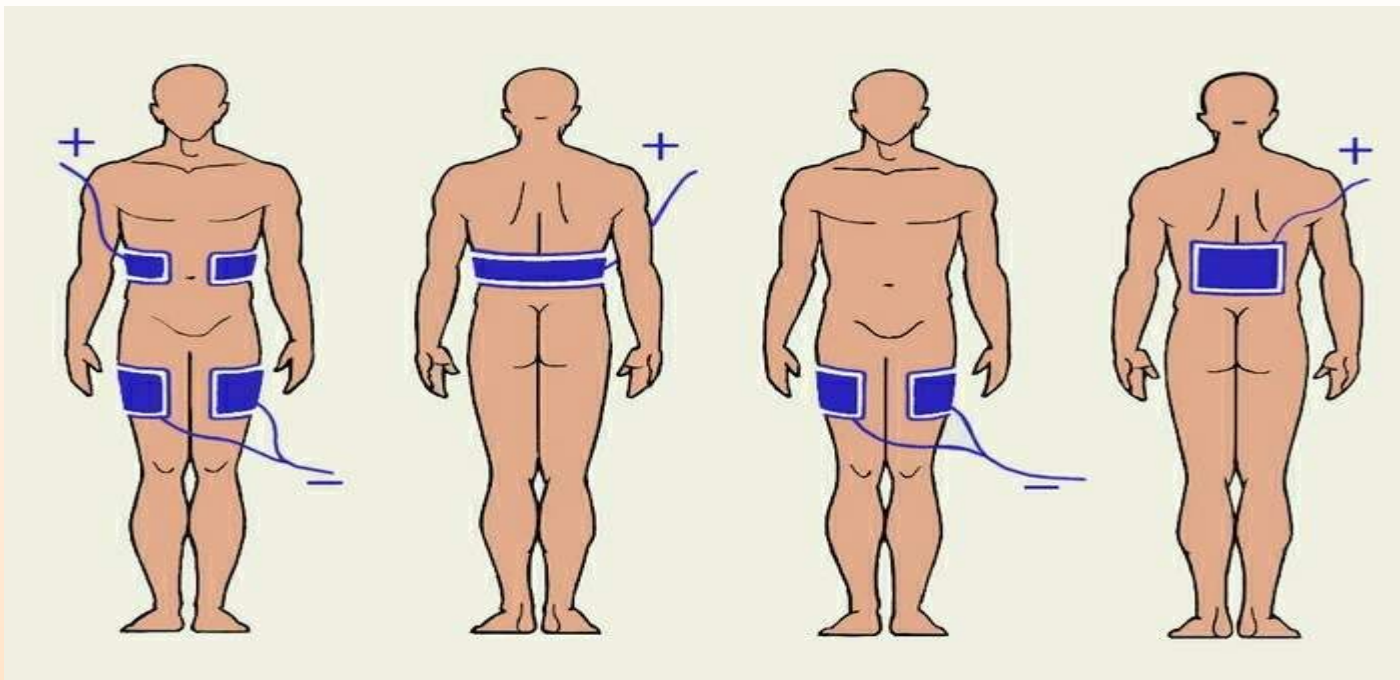


Рис. 2. Расположение плоских электродов при гальванизации

При **продольном** расположении электродов (на одной стороне тела) воздействию подвергаются поверхностно расположенные ткани. При **поперечном** расположении электродов (на противоположных участках тела) воздействию подвергаются глубоко расположенные органы и ткани.

*Вакуумные электроды.* Такие электроды используются в дарсонвализации. Воздух внутри стеклянных электродов баллонов имеет низкое давление (6,7-13,5 Па).

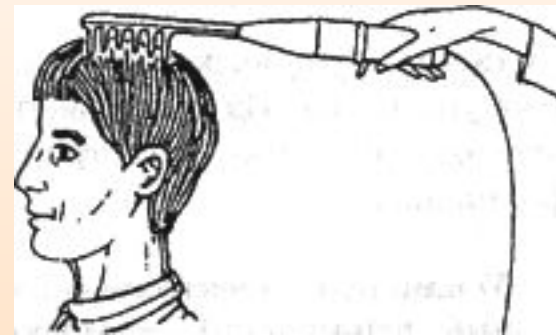


Рис. 3. Стеклянные вакуумные электроды (а), использование электродов при лечении волосистой части головы (б)

При **контактной методике** (непрерывный контакт электрода с кожей) действующим фактором является среднечастотный электрический ток.

При **дистанционной методике** (электрод удален от кожи) действующим фактором является искровой разряд. При обеих методиках вакуумные электроды перемещаются относительно кожи.

## Датчики медико-биологической информации

*Датчик* — устройство, преобразующее измеряемую или контролируемую величину в сигнал, удобный для передачи и регистрации. Преобразуемая величина  $X$  называется входной, а измеряемый сигнал  $\alpha$  — выходной величиной.

**Характеристика датчика** — функциональная зависимость выходной величины  $\alpha$  от входной  $X$  (описывается аналитически или графически).

Обычно стремятся иметь датчик с линейной характеристикой  $\alpha = kX$ , где  $k$  — постоянный коэффициент.

**Чувствительность датчика**  $S$  — отношение изменения выходной величины к соответствующему изменению входной величины:

$$S = \Delta\alpha / \Delta X.$$

**Предел датчика** — максимальное значение входной величины, которое может быть воспринято датчиком без искажения и без повреждения датчика.

**Порог датчика** — минимальное изменение входной величины, которое можно обнаружить датчиком.



## *Классы датчиков:*

### *генераторные и параметрические.*

*Генераторные датчики* — такие, которые под воздействием входного сигнала генерируют напряжение или ток (индукционные, пьезоэлектрические, фотоэлектрические и т.п.).

*Параметрические датчики* — такие, в которых под воздействием входного сигнала изменяется какой-либо параметр (тензометрические, емкостные, индуктивные, реостатные и т.п.).

Различают механические, акустические, температурные, оптические и другие датчики.

## *Параметрические датчики:*

*емкостные* состоят из конденсатора,

*индуктивные* содержат катушку индуктивности.

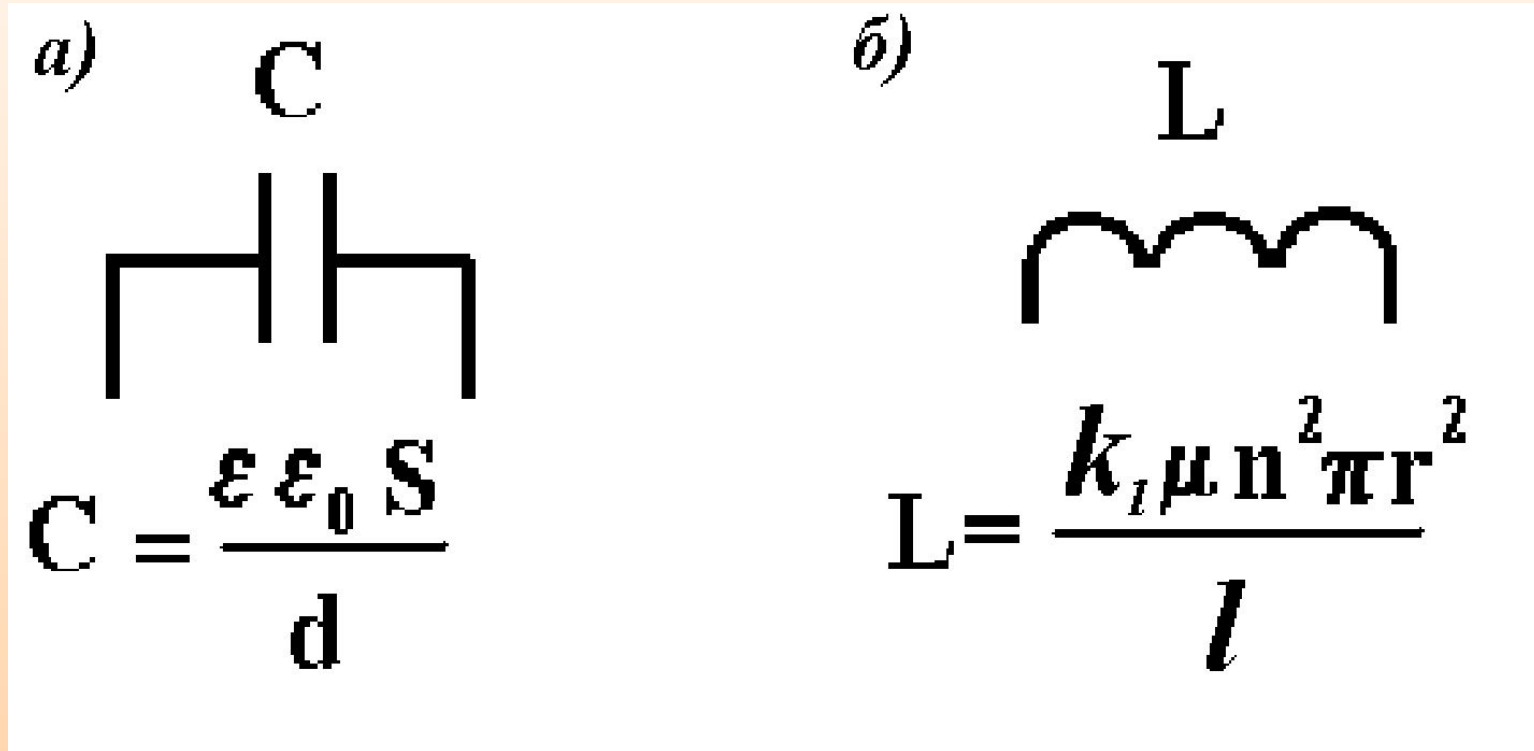
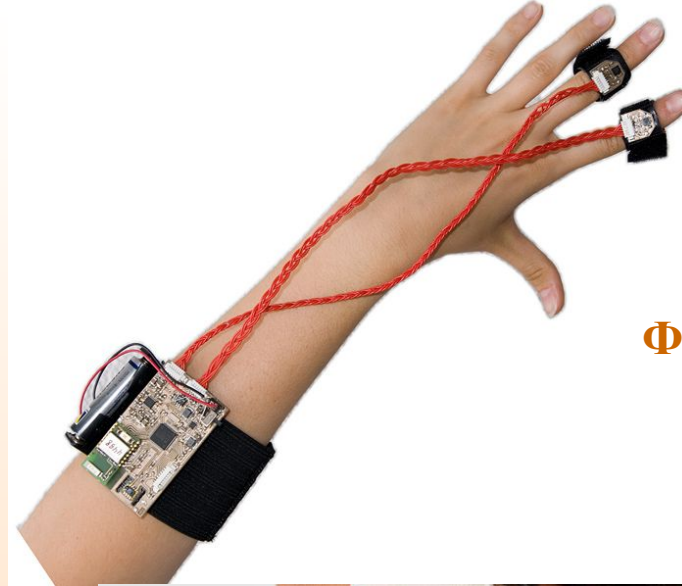


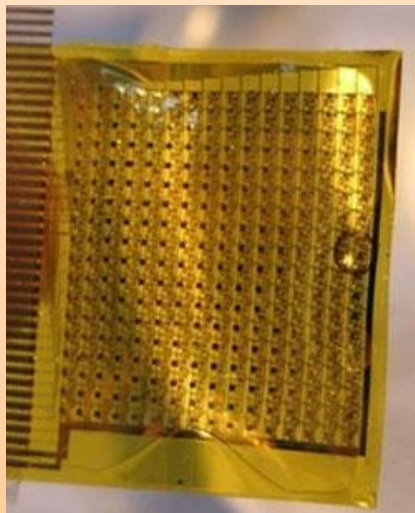
Рис. 4. Емкость  $C$  плоского конденсатора (а) и индуктивность  $L$  катушки индуктивности (б)



**Ультразвуковые датчики**



**Фотодатчики**



**Гибкие датчики  
для сердца**



*Синхронизирующий датчик*

**Датчики давления**

## 3. Усилитель

**Усилитель** электрических сигналов (*электронный усилитель*) — устройство, увеличивающее **амплитуду** этих сигналов без изменения их формы за счет постороннего источника электрической энергии.

Усилители могут создаваться на основе различных элементов (транзисторы, триоды и др.), однако в общих чертах их можно представить одинаково. Они имеют **вход**, на который подается усиливаемый электрический сигнал, и **выход**, с которого снимается усиленный сигнал (рис. 5).

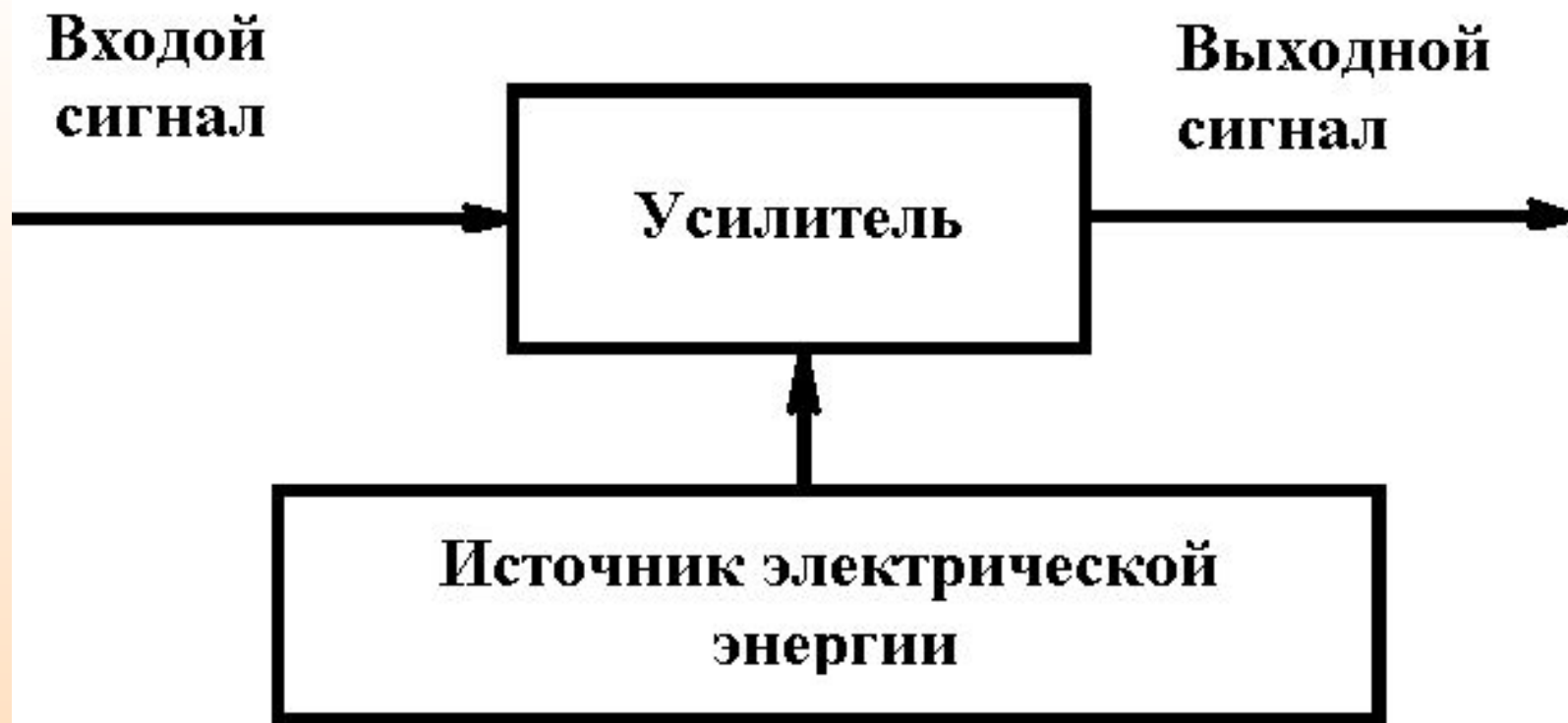
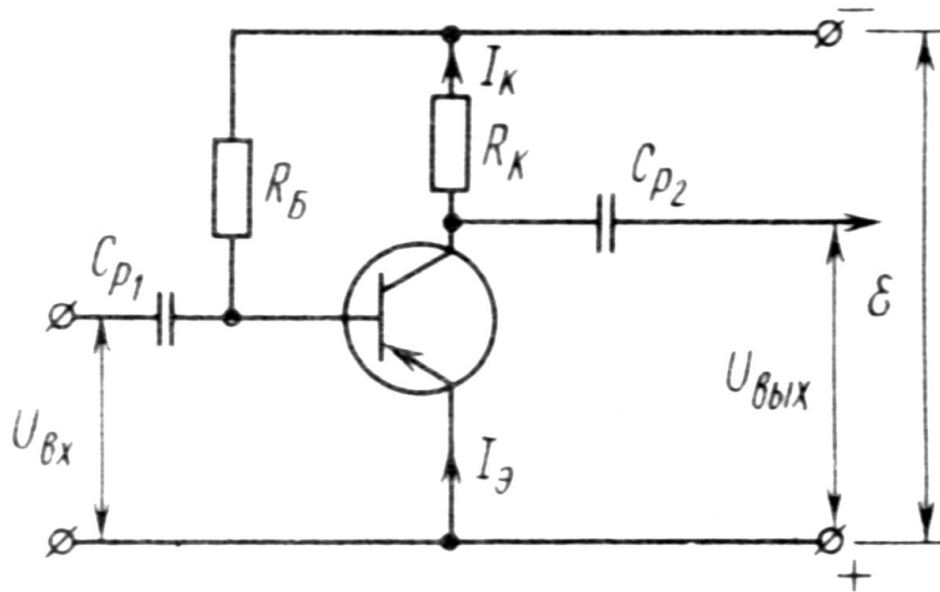


Рис. 5. Схема усиления сигнала

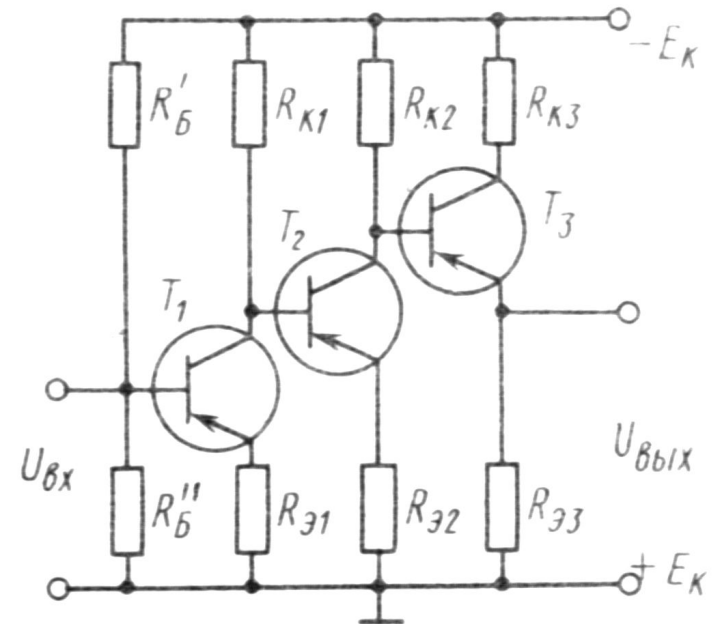
В зависимости от целей усилителя классифицируются по

- напряжению,
- силе тока,
- мощности.



**Усилитель однокаскадный**

**Усилитель многокаскадный**



# Характеристики усилителя

*а) Входное сопротивление.*  $R_{\text{ВХ}}$  —

сопротивление между его входными клеммами, которое можно найти по формуле

$$R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}} / I_{\text{ВХ}}$$

*б) Коэффициент усиления.*

*Коэффициент усиления* усилителя равен отношению сигнала на выходе усилителя к значению сигнала на входе:

$$K = U_{\text{ВЫХ}} / U_{\text{ВХ}}$$

Коэффициент усиления усилителя из нескольких каскадов равен произведению коэффициентов усиления усилителей всех используемых каскадов:

$$K_{\text{ОБЩ}} = K_1 K_2 K_3 \dots$$

*в) Амплитудная характеристика усилителя* — это зависимость максимального значения выходного сигнала от максимального значения входного.

Для рассматриваемого усилителя по напряжению амплитудная характеристика представляется зависимостью  $U_{\text{МАХ Вых}} = f(U_{\text{МАХ Вх}})$ .



Для неизменности формы сигнала коэффициент усиления должен быть одинаков в пределах изменения входного сигнала.

Для этого необходимо использовать усилитель с *линейной* амплитудной зависимостью:

$$U_{\text{MAX Вых}} = K \cdot U_{\text{MAX Вх}}$$

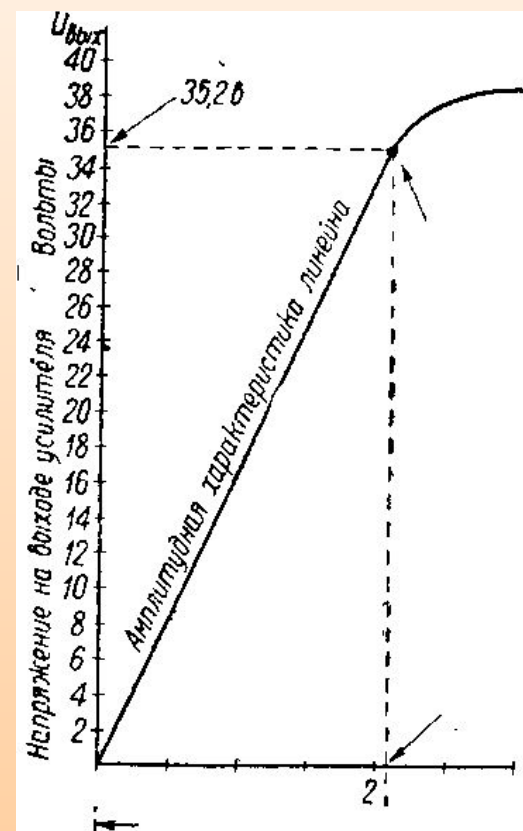
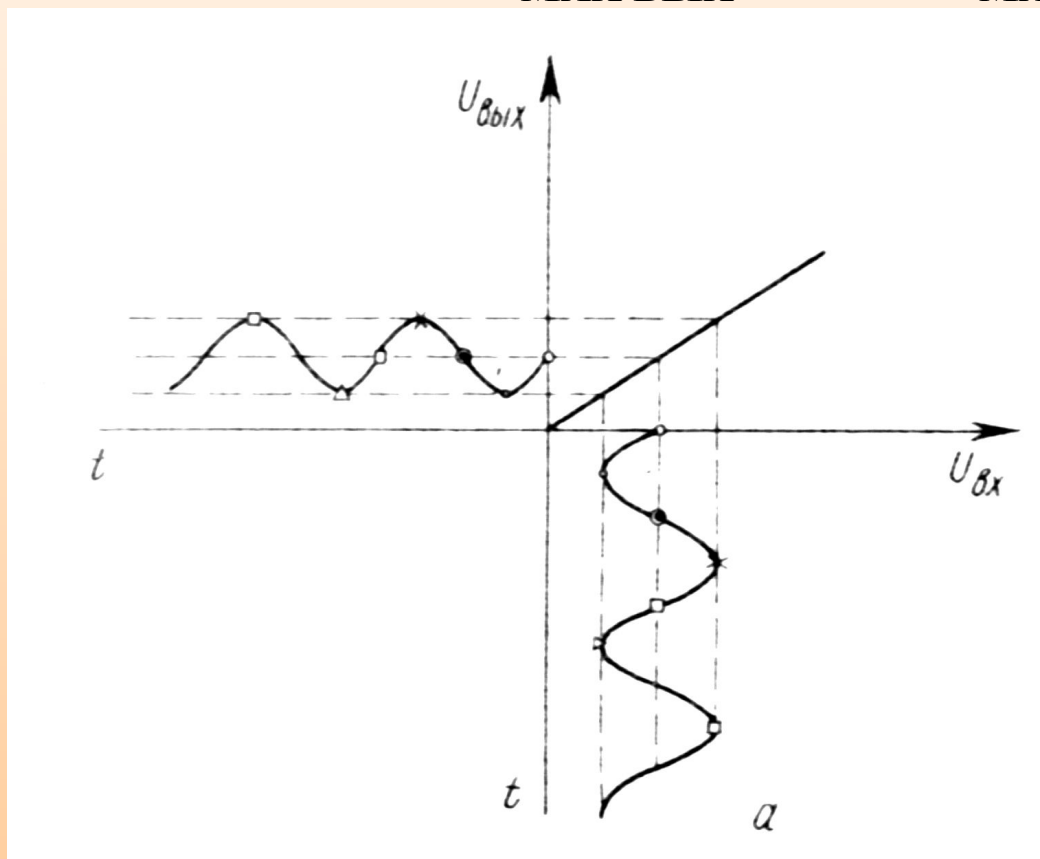


Рис. 6. Амплитудная характеристика усилителя

г) **Частотная характеристика.** В том случае, когда усиливаемый сигнал несинусоидальный, его можно разложить на отдельные гармоники, характеризующиеся соответствующей частотой. Коэффициент усиления для каждой гармоники может оказаться разным. Поэтому необходимо учитывать частотную характеристику усилителя.

**Частотная характеристика усилителя** — это зависимость коэффициента усиления от частоты сигнала:  $K = f(\nu)$ .

Для того чтобы несинусоидальный сигнал был усилен без искажения, нужно, чтобы коэффициент усиления не зависел от частоты, то есть  $K(\nu) = \text{const}$ . В общем случае это условие не выполняется, что приводит к искажениям формы сигнала, которые называются **частотными**.

$$0,7 K_{\max} \approx \frac{K_{\max}}{\sqrt{2}}$$

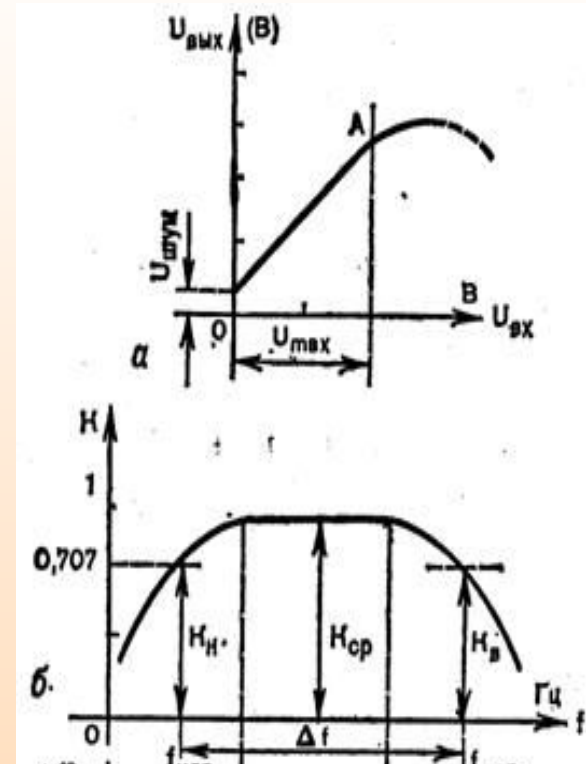
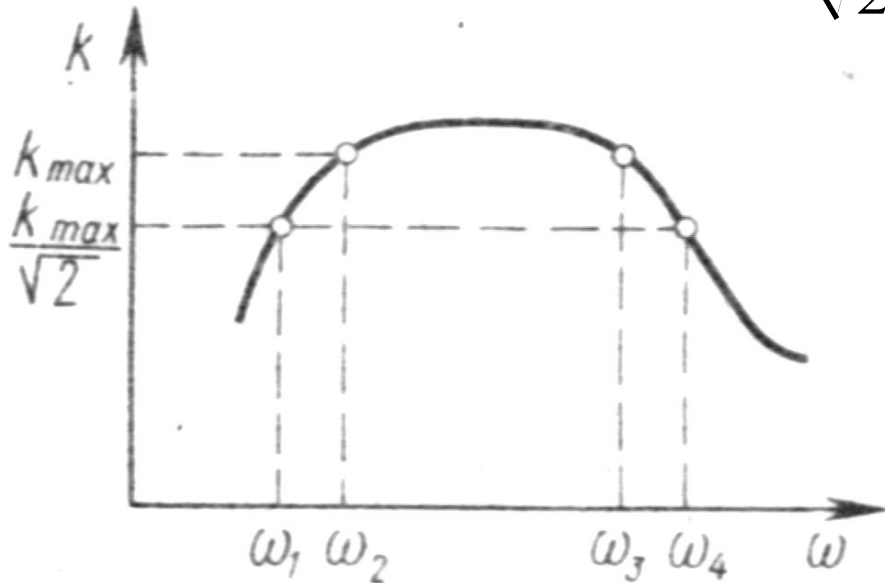


Рис. 7. Частотная характеристика усилителя

**Полосой пропускания** усилителя называется интервал частот, в котором коэффициент усиления постоянен.

# Особенности усиления биоэлектрических сигналов

Специфика усилителей биопотенциалов определяется *особенностями*

*биопотенциалов:*

- выходное сопротивление биологической системы совместно с сопротивлением электродов, как правило, высокое;
- биопотенциалы — медленно изменяющиеся сигналы;
- биопотенциалы — слабые сигналы.

# Особенности биоусилителей:

- Коэффициент усиления составляет  $10^6 - 10^8$ ;
- Коэффициент дискриминации  $10^5 - 10^6$ ;
- Все биоусилители – низкочастотные;
- Высокое входное и низкое выходное сопротивление.

# Электростимуляторы, генераторы

*Генераторы* — устройства, которые преобразуют энергию источников постоянного напряжения в энергию электромагнитных колебаний различной формы.

## **Классификация генераторов:**

- по форме сигнала: генератор гармонических колебаний и генератор колебаний специальной формы (импульсные колебания);
- по частоте сигналов;
- по мощности;
- по принципу работы (генератор с самовозбуждением и генератор с внешним возбуждением).

Генераторы *гармонических колебаний* работают на транзисторах или трехэлектродных лампах. Общие принципы функционирования их основаны на принципах работы автоколебательных систем.

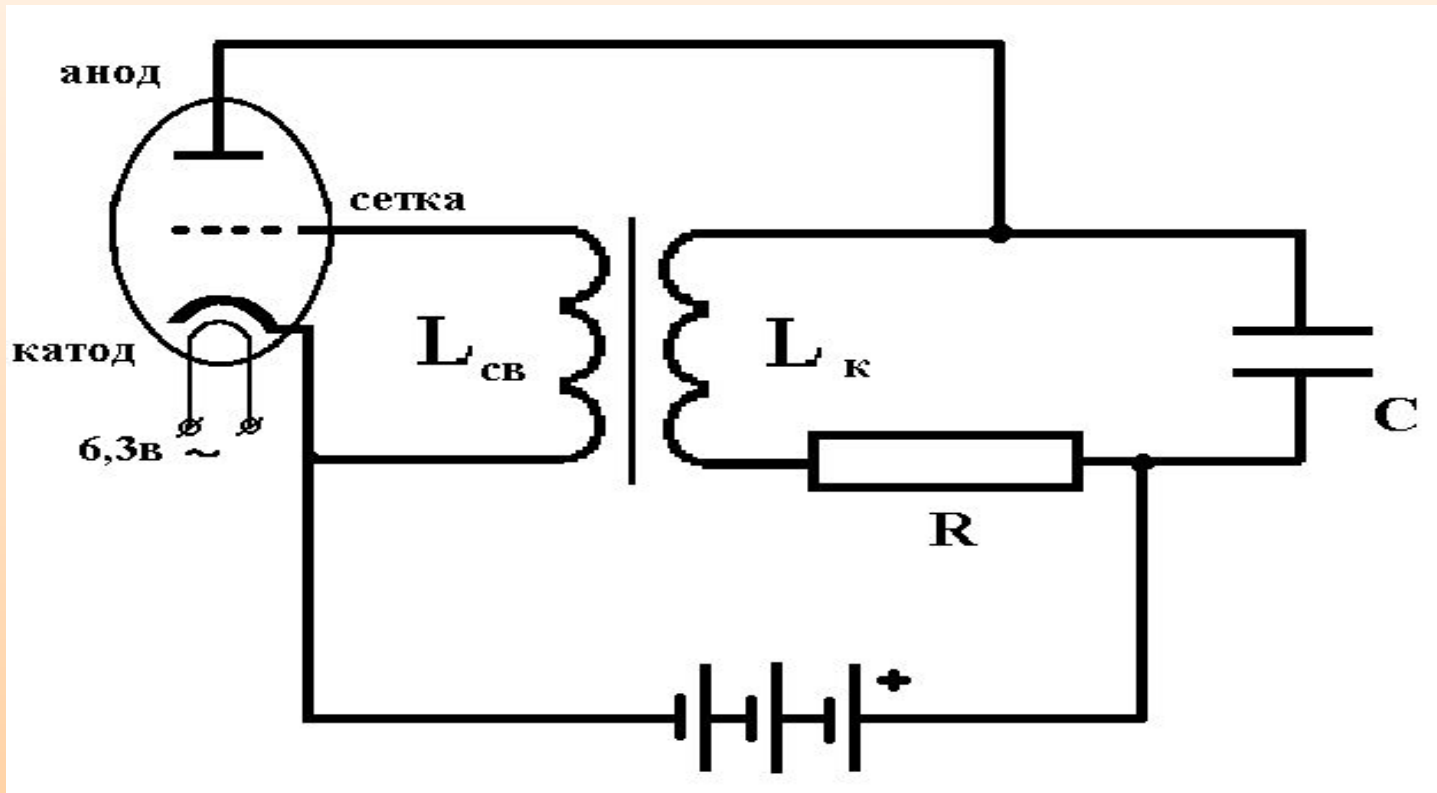


Рис. 9. Схема генератора гармонических колебаний.

*Релаксационные колебания* — электромагнитные колебания несинусоидальной формы.

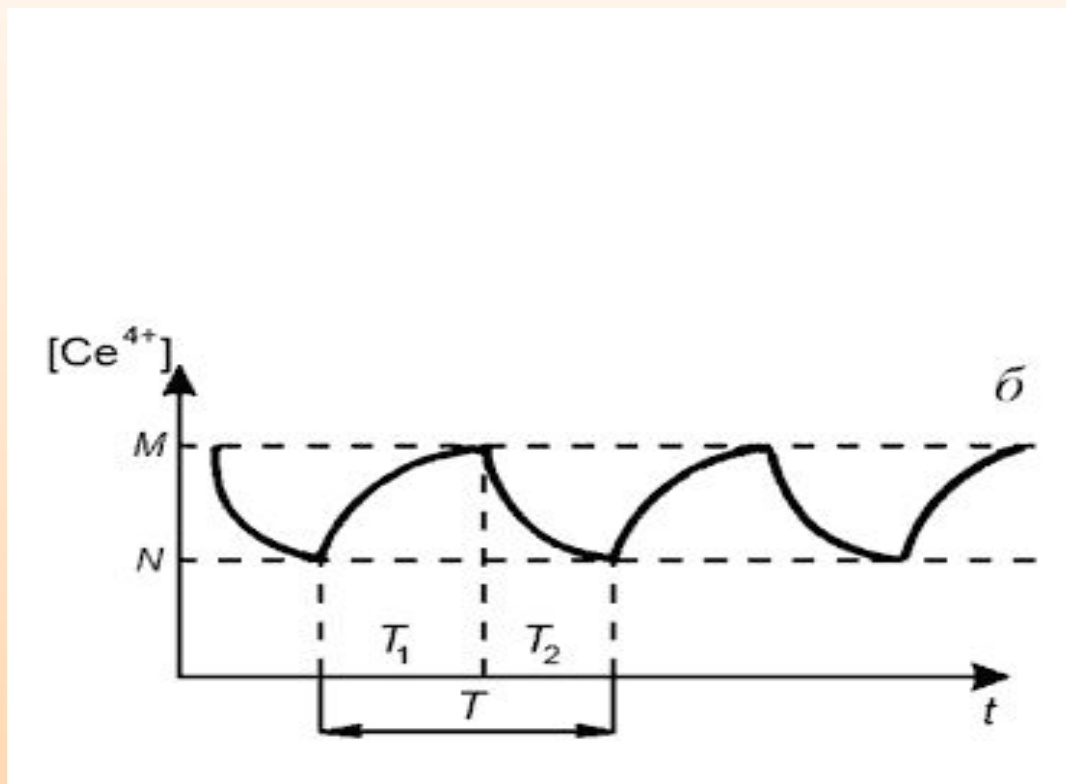


Рис. 10. Пример релаксационных колебаний



Генераторы релаксационных колебаний используются в: *амплипульстерапии, флюктуоризации, аппарате «Электросон», диадинамотерапии, электростимуляции.*

*Амплипульстерапия* — генератор соответствующего аппарата создает синусоидальные токи на частоте 5000 Гц, модулированные по амплитуде низкой частотой в пределах 10-150 Гц (аппараты «Стимул»).

*Флюктуоризация* — генератор соответствующего аппарата создает синусоидальный ток малой силы и небольшого напряжения, беспорядочно меняющегося по амплитуде и частоте в пределах 100-2000 Гц. Использование таких токов уменьшает вероятность привыкания тканей к раздражителю (аппараты снятия боли — АСБ).

*Электросон* — генератор соответствующего аппарата создает импульсный ток низкой частоты и малой силы с импульсами прямоугольной формы (аппараты «Электросон»).

*Диадинамотерапия* — генератор соответствующего аппарата создает ток с импульсами полусинусоидальной формы (аппарат «Тонус»).

*Электростимуляция* — генератор соответствующего прибора создает импульсные токи (в частности, импульсы экспоненциальной формы) для восстановления функции нервно-мышечного аппарата человека (аппараты АСМ)



Аппарат для  
амплипульстерапии



Аппарат Рефтон



Аппарат Электросон



Аппарат УВЧ

# Аппараты «Электросон», «Электронаркоз»



**Регистрирующие  
устройства**

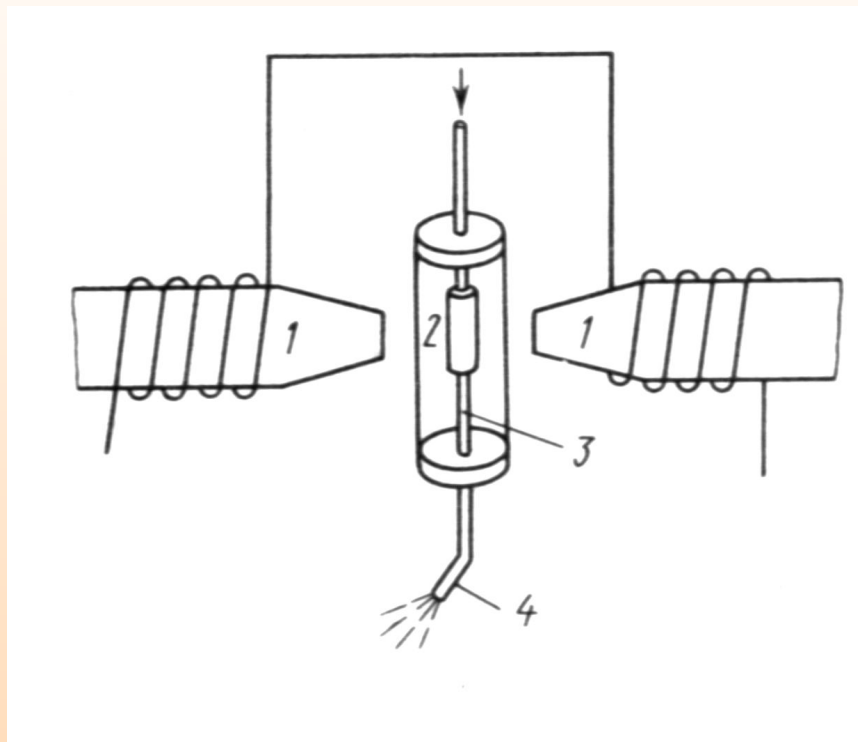
```
graph TD; A[Регистрирующие устройства] --> B[Аналоговые]; A --> C[Дискретные]; A --> D[Комбинированные];
```

**Аналоговые**

**Дискретные**

**Комбинированные**

# Аналоговые



**Рис.1. Схема струйного самописца**

- 1 – электромагнит, через обмотки которого проходит регистрируемый биопотенциал;  
2 – постоянный магнит; 3 – стеклянный капилляр;  
4 – сопло капилляра.

- **Дискретные** – все виды счетчиков
- **Комбинированные** – электронно-лучевая трубка

# НАДЕЖНОСТЬ МЕДИЦИНСКОЙ АППАРАТУРЫ

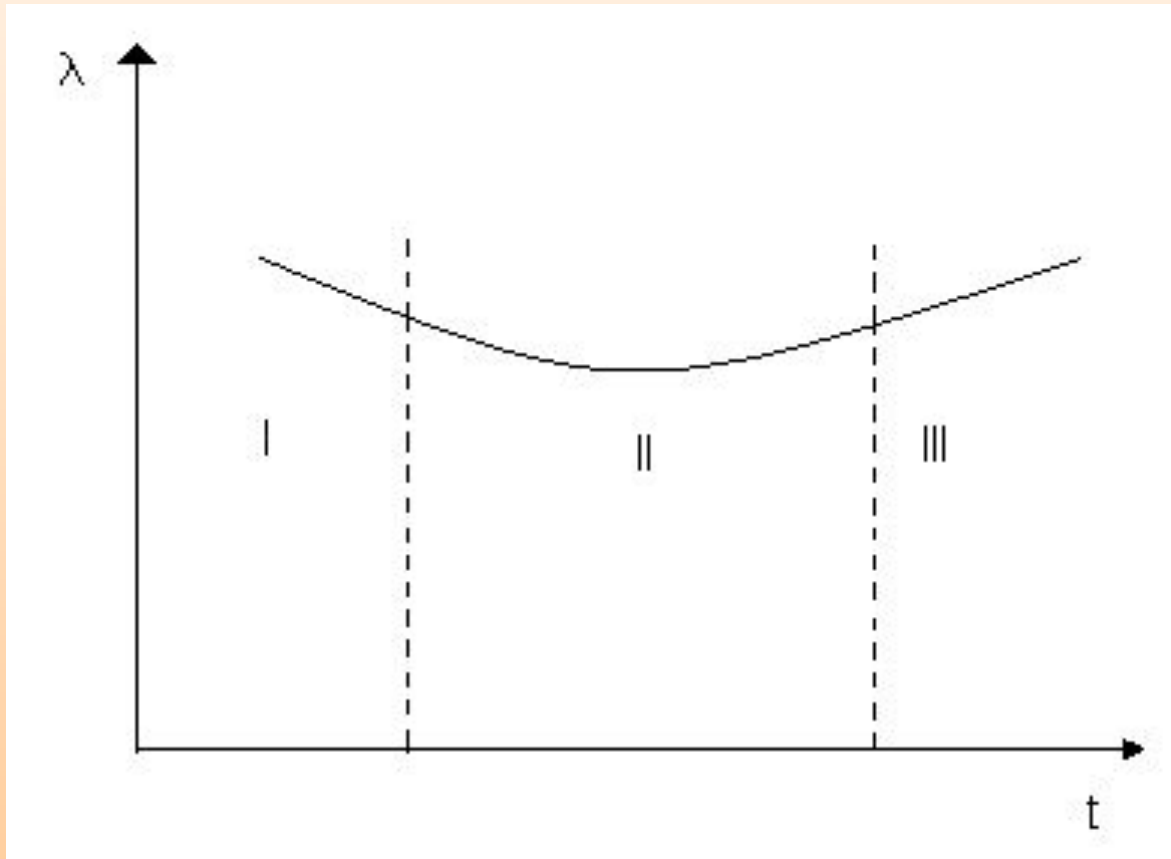
- **Надежность** – это способность изделия не отказывать в работе в заданных условиях эксплуатации и сохранять свою работоспособность в течение заданного интервала времени.
- **Вероятность безотказной работы** – это отношение числа  $N(t)$  работающих (не испортившихся) за время  $t$  изделий к общему числу  $N_0$  испытывавшихся изделий:

$$P(t) = \frac{N(t)}{N_0}$$



- **Интенсивность отказов** – это отношение числа отказов  $dN$  к произведению времени  $dt$  на общее число работающих элементов:

$$\lambda(t) = \frac{dN}{Ndt}$$



# Классификация медицинской аппаратуры по возможным последствиям отказов в процессе эксплуатации

- **A** – изделия, отказ которых представляет непосредственную опасность для жизни пациента или персонала. Вероятность безотказной работы изделий этого класса должна быть не менее 0,99 между планово-предупредительными техническими обслуживаниями (ремонт, поверка). К изделиям класса **A** относятся приборы для наблюдения за жизненно важными функциями больного (аппараты искусственного дыхания, кровообращения и т.п.);

- **Б** – изделия, отказ которых вызывает искажения информации о состоянии больного или окружающей среды, не приводящее к непосредственной опасности для жизни пациента или персонала. Вероятность безотказной работы изделий этого класса должна быть не менее 0,8. К изделиям класса Б относятся системы, следящие за больным, аппараты для стимуляции сердечной деятельности и др.;
- **В** – изделия, отказ которых снижает эффективность или задерживает лечебно-диагностический процесс, либо повышает нагрузку на медицинский или обслуживающий персонал. К этому классу относится большая часть диагностической и физиотерапевтической аппаратуры, инструментарий и др.
- **Г**– изделия, не содержащие отказоспособных частей.

# Интервалы частот электромагнитных волн

<b>Низкие (НЧ)</b>	<b>До 20 Гц</b>
<b>Звуковые (ЗЧ)</b>	<b>20 Гц – 20 кГц</b>
<b>Ультразвуковые (УЗЧ)</b>	<b>20 кГц – 200 кГц</b>
<b>Высокие (ВЧ)</b>	<b>200 кГц- 30 МГц</b>
<b>Ультравысокие (УВЧ)</b>	<b>30 – 300 МГц</b>
<b>Сверхвысокие (СВЧ)</b>	<b>300 МГц – 300 ГГц</b>
<b>Крайне высокие (КВЧ)</b>	<b>Свыше 300 ГГц</b>

# Порог ощутимого тока

минимальная сила тока, раздражающее действие которого ощущает человек.

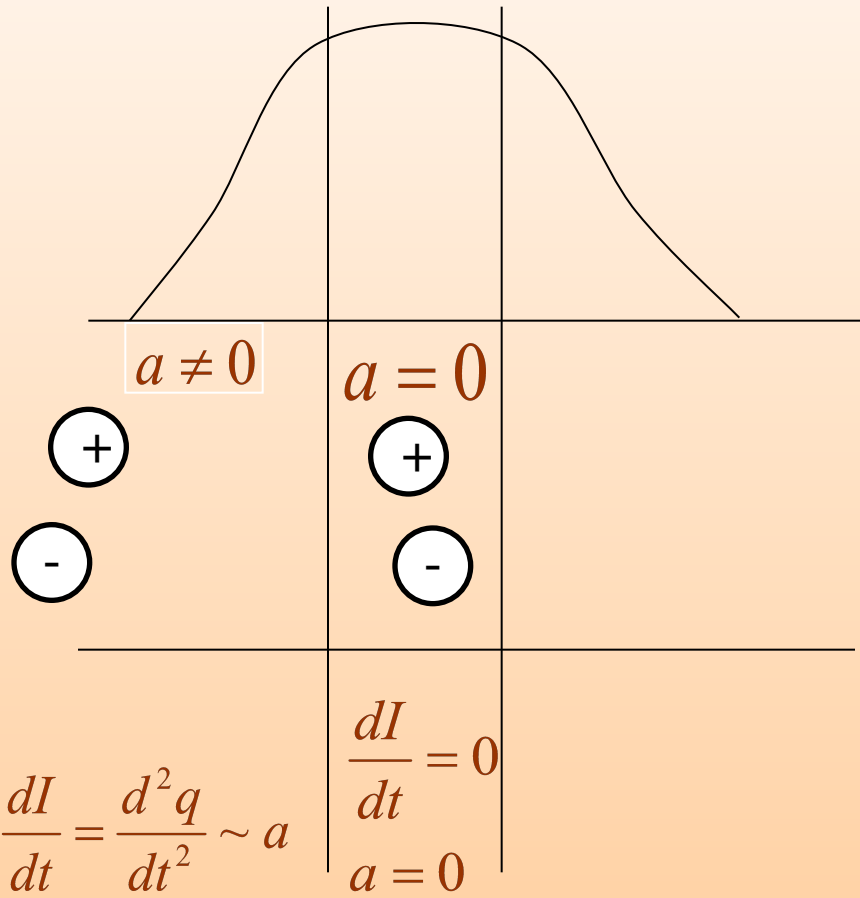
У мужчин для участка «предплечье-кисть» на частоте 50 Гц эта величина составляет приблизительно 1 мА. У детей и женщин пороговые значения обычно меньше.

# Порог неотпускающего тока

минимальная сила тока, вызывающая такое сгибание сустава, при котором человек не может самостоятельно освободиться от проводника.

Для мужчин эта величина составляет 10-15 мА. Превышение порога губительно для человека (паралич дыхательных мышц, фибрилляция сердца).

# Биофизическое действие НИЗКОЧАСТОТНЫХ ТОКОВ И ПОЛЕЙ



Раздражающее  
действие тока  
обусловлено  
ускорением при  
перемещении ионов  
ТКАНЕВЫХ  
ЭЛЕКТРОЛИТОВ

# Действие переменного и импульсного токов НЧ

Действие, которое оказывают на организм переменный или импульсный ток, зависит от *частоты, максимальной силы тока и формы его импульсов.*

Первичное действие – поляризация тканей  
Как и постоянный ток, оказывает *раздражающее* действие.



# Действие высокочастотного (ВЧ) тока

Основным первичным эффектом для ВЧ тока является *тепловое воздействие*.

При частотах *более 500 кГц* смещение ионов, вызванное переменным током, становится соизмеримым с их смещением в результате *молекулярно-теплого движения*, поэтому ток или электромагнитная волна не вызывает раздражающего действия.

# Аппарат для электрохирургии



# Разрез электроскальпелем



# Импульсная магнитотерапия «Алимп-1»



# Действие ВЧ магнитного поля Индуктотермия



Аппарат для индуктотермии ИКВ 4





# Заключение:

Рассмотрены:

1. Основные этапы получения медико-биологической информации и средства, необходимые для их реализации: устройства съема (электроды датчика), усилитель, регистрирующие устройства.
2. Вопросы безопасности и надежности медицинской аппаратуры.
3. Применение в медицине аппаратов и приборов, использующих НЧ и ВЧ токи и поля.

# Тест-контроль:

Устройство, преобразующее измеряемую или контролируемую величину в сигнал, удобный для передачи, дальнейшего преобразования и регистрации, называется:

1. датчиком
2. электродом
3. генератором
4. усилителем.



# ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика: учебник. -М.: Дрофа, 2007.-
- Федорова В.Н. Краткий курс медицинской и биологической физики с элементами реабилитологии: учебное пособие. -М.: Физматлит, 2005.-
- Антонов В.Ф. Физика и биофизика. Курс лекций: учебное пособие.-М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006.-
- Руководство к лабораторным работам по медицинской и биологической физике для самост. работы студентов /сост. О.Д. Барцева и др. Красноярск: Литера-принт, 2009.-
- Сборник задач по медицинской и биологической физике: учебное пособие для самост. работы студентов / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМА, 2007.-
- Физика. Физические методы исследования в биологии и медицине: метод. указания к внеаудит. работе студентов по спец. – педиатрия / сост. О.П.Квашнина и др. -Красноярск: тип.КрасГМУ, 2009.-
- Ресурсы интернет
- Электронная медицинская библиотека. Т.4. Физика и биофизика.- М.: Русский врач, 2004.