

### Лекция 3

1. Классификация усилителей
2. Характеристики усилителя
3. Усилитель на транзисторе
4. Особенности усиления биоэлектрических сигналов
5. Дифференциальный 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.

#### Классификация усилителей

1. По диапазону усиливаемых частот — усилители низких частот (УНЧ), усилители постоянного тока (УПТ), усилители высоких частот (УВЧ), избирательные усилители.
2. По функциональному назначению — усилители напряжения, тока, мощности.
3. По характеру усиливаемого сигнала — усилители непрерывных и импульсных сигналов.

#### Характеристики усилителей

**а) Входное сопротивление.**  $R_{вх}$  — сопротивление между его входными клеммами, которое можно найти по формуле

$$R_{вх} = U_{вх} / I_{вх}$$

**б) Коэффициент усиления.**

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

$$K = U_{вых} / U_{вх}$$

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  $U_{\text{MAX Вых}} = f(U_{\text{MAX Вх}})$ .

**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**

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

Рассмотрим принцип работы усилителя на транзисторе, зарисуем схему.

Составные части: резистор, транзистор, динамик, конденсатор и источник напряжения.

На базу мы подаем сигнал определенной частоты, на выходе хотим получить частоту с большей амплитудой.

*Если мы на базу пошлем определённое напряжение, замкнем цепь, лампочка включится, если мы пошлем маленькое напряжение, лампочка не включится. Подбирая сопротивление резистора, мы подбираем силу тока, при которой лампочка загорится.*

Как происходит усиленные, где берется звук в динамике?

*На базу подключен конденсатор, который пропускает переменный ток. Сопротивление на базе будет изменять амплитуду в определённом диапазоне, соответственно транзистор будет открываться и закрываться создавая свой усиленный сигнал.*

При подаче напряжения питания в схему, на базу транзистора через резистор **Rб** поступает небольшое отрицательное напряжение 0,1 — 0,2В, называемое **напряжением смещения**. Это напряжение **приоткрывает** транзистор, и через эмиттерный и коллекторный переходы начинает течь незначительный ток, который как бы переводит усилитель в дежурный режим, из которого он мгновенно выйдет, как только на входе появится входной сигнал.

**Запомните:** для работы транзистора в режиме усиления на его базу, относительно эмиттера, вместе с напряжением **входного сигнала** обязательно подается постоянное **напряжение смещения**, открывающее транзистор.

Пример выбора рабочей точки транзистора, работающего в усилителе класса А, показан на рисунке . На этом же рисунке показана кусочно-ломанная аппроксимация передаточной характеристики транзистора. Изгиб передаточной характеристики в верхней части вызван приближением к напряжению источника питания. Изгиб в нижней части характеристики вызывается насыщением транзистора. Рабочую точку в усилителе класса А выбирают обычно в районе половины питания транзистора. Исключение может составлять сильно нелинейная характеристика транзистора.

Если подать сигнал на вход1, то выходной сигнал у нас будет сниматься с резистора R1. Точно также при подаче сигнала на вход 2, выходной сигнал снимется с резистора R2. В результате мы получим разницу сигналов.

Дифференциальные усилители, специально предназначенные для медицинских целей, называют физиологическими усилителями; у них большое входное сопротивление по обоим входам и хорошее ослабление синфазного сигнала.

Различают два разных вида входных сигналов:

1. Синфазный сигнал—на базах обоих транзисторов действуют два напряжения, одинаковые по величине и совпадающие по фазе.

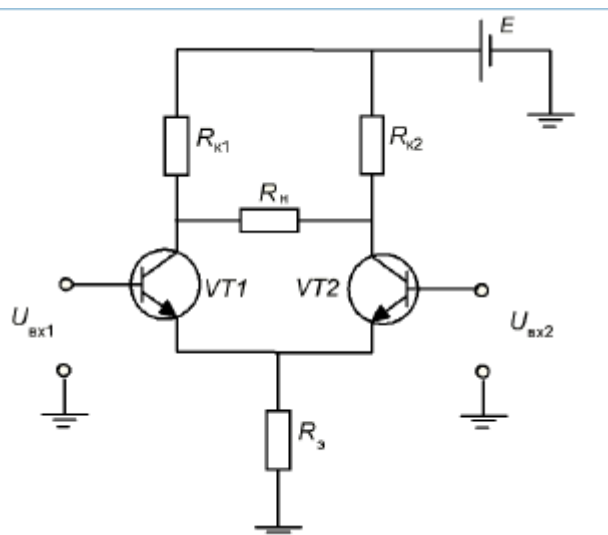
Дифференциальный сигнал на базы VT1 и VT2 подаются два одинаковых по величине, но противоположных по фазе сигнала:

$$U_{\text{ex1}} = \frac{e \partial \phi}{2}; \quad U_{\text{ex2}} = -\frac{e \partial \phi}{2}.$$

$$U_{\text{ex}} = U_{\text{ex1}} - U_{\text{ex2}}.$$

В аналоговой схемотехнике широкое распространение получили схемы с эмиттерно-связанными транзисторами. На таких транзисторах реализуются усилители, схемы перемножения сигналов, схемы регулировки усиления.

Дифференциальный усилитель (ДУ) имеет два входа и усиливает разность входных напряжений. Схема простейшего ДУ на биполярных транзисторах без цепей смещения приведена на рис. 1.



ДУ состоит из двух усилителей на транзисторах VT1 и VT2 с

коллекторными нагрузками  $R_{k1}$  и  $R_{k2}$ . Эмиттеры транзисторов подключены к общему резистору  $R_{\text{Э}}$ , то есть это эмиттерно-связанные транзисторы. Выходной сигнал снимается между коллекторами:

$$U_{\text{вых}} = U_{k1} - U_{k2} = (E - I_{k1} R_{k1}) - (E - I_{k2} R_{k2}) = -I_{k1} R_{k1} + I_{k2} R_{k2}$$

В ДУ используются полностью идентичные по характеристикам транзисторы (согласованные пары) и одинаковые резисторы  $R_k$ . В отсутствие сигнала ( $u_{\text{вх}}(t)=0$ ) для идеально подобранной пары транзисторов постоянные напряжения на входах транзисторов равны  $U_{\text{бэ}10} = U_{\text{бэ}20}$ , значит, равны коллекторные токи  $I_{k10} = I_{k20}$ .

При этом из (1) следует, что выходное напряжение схемы

$$U_{\text{вых}0} = 0.$$

Если на оба входа ДУ подать одинаковые сигналы  $u_{вх}(t)$  (синфазный входной сигнал), то напряжения на входах транзисторов будут изменяться на одинаковую величину, так как потенциалы эмиттеров транзисторов одинаковы. То есть,  $u_{бэ1}(t)=u_{бэ2}(t)$  и переменные составляющие коллекторных токов транзисторов тоже равны  $i_{к1}(t)=i_{к2}(t)$ . При этом из (1) выходное переменное напряжение  $u_{вых}(t)\approx 0$ .

Таким образом, ДУ практически не усиливает синфазный сигнал. Это свойство ДУ обеспечивает помехозащищенность схемы, так как помехи – синфазный сигнал. Это же свойство ослабляет и температурный дрейф токов в обеих ветвях схемы, так как он действует аналогично синфазному сигналу.

Если входной сигнал  $u_{вх}(t)$  подать между базами транзисторов (дифференциальный сигнал), то  $U_{бэ}$  одного из них (например  $VT1$ ) увеличится на  $u_{вх}(t)/2$ , а  $U_{бэ2}$  – уменьшится на  $u_{вх}(t)/2$ .

Один из примеров — это электрокардиограф (э.к.г.), применяемый в медицине для регистрации электрических импульсов, возникающих при работе сердца. Чтобы уловить эти импульсы, требуется разместить электроды на теле пациента.

Но любой, кому довелось когда-либо коснуться пальцем входа аудиоусилителя или осциллографа, знает, что на теле человека наводятся 50-герцовый переменный сигнал от сети, а также разного рода помехи от бытовых электрических приборов. Вот почему следует ожидать, что совсем маленькие сигналы, идущие от сердца, величиной всего лишь в несколько милливольт, утонут бы в этом фоне и наведенных помехах. Дифференциальный усилитель позволяет решить эту проблему.

На рис. схематически показано, как можно применять дифференциальный усилитель в подобного рода случаях. Разность потенциалов между двумя электродами представляет собой полезный сигнал, а большой по величине фон действует на обоих электродах и потому является синфазным сигналом. Дифференциальный усилитель усиливает полезный сигнал и ослабляет фон, который наводится на теле, а также на соединительных проводах.

### **Входные цепи усилителей биопотенциалов**

Электрофизиологические сигналы при различных методах регистрации биопотенциалов измеряются с помощью электродов, расположенных определенным

образом на поверхности тела (или введенных внутрь организма) в соответствии с некоторой системой отведений. Источники возбуждения для разных методов различны, разнообразна форма и параметры регистрируемых потенциалов, различны параметры сигналов, передающих диагностическую информацию о состоянии организма. Опыт проведения исследований позволяет установить, что двойные амплитуды потенциалов живых объектов лежат в пределах от 5 мкВ до 120 мВ, диапазон частот от КГ<sup>4</sup> до 10<sup>3</sup> Гц и выше. При клинических наблюдениях, контроле за состоянием и в ряде исследований эти диапазоны ограничиваются значениями параметров некоторых биологических сигналов (табл. 2.1). Однако есть ряд общих особенностей этих источников возбуждения, которые и определяют специфику регистрации биопотенциалов.

Таблица 2.1 Характеристики электрических сигналов для различных электрофизиологических методов (в узком смысле)

Параме тр	ЭКГ	ЭЭГ	ЭМГ	ЭО Г	КГР
Ампли туда, мВ	0,1...5, 0	0,02 ...0,3	0,01 ...1,0	0,02 ...2	1...1 00
Полоса частот, Гц	0,01... 2000	0,1... 2000	1...1 0000	0... 30	0,05 ...10

*Примечание.* Обозначено: ЭКГ — электрокардиография; ЭЭГ — электроэнцефалография; ЭМГ — электромиография; ЭОГ — электроокулография; КГР — кожно-гальваническая реакция.

Основной особенностью биологических источников электрических потенциалов является нестабильность межэлектродного сопротивления, включающего переходные сопротивления систем «кожа — электролит - электрод». Межэлектродное сопротивление соответствует внутреннему сопротивлению источника возбуждения  $R_{ir}$ , в процессе длительного исследования изменяющемуся в пределах  $10^3 \dots 10^6$  Ом, что определяет минимально допустимое значение входного сопротивления усилителя.

При оценке особенностей источника биопотенциалов необходимо также учитывать;

- нестабильность внутреннего сопротивления за счет изменения сопротивлений переходов «кожа - электрод»; при этом приходится считаться с большими значениями межэлектродных сопротивлений, их разбалансом в определенной системе отведений;

- образование на переходах «кожа - электрод» напряжений поляризации, создающих на входе усилителя напряжения смещения, которые могут достигать величин  $\pm 300$  мВ; такое напряжение может вызвать насыщение усилителя;

- медленный дрейф напряжения поляризации и резкие его изменения при смещениях электродов, вызванных движениями пациента; скачки напряжений создают трудно устранимые электрические помехи;

- наличие напряжений помех, попадающих на входы УБП синфазно и противофазно; помехи могут быть биологического (биопотенциалы других, не исследуемых в конкретный момент органов и мышц) и физического (наведенные на объект напряжения от неэкранированных участков сетевой проводки, сетевых шнуров и других приборов) происхождения;

- наличие импульсных помех при воздействии на объект терапевтических аппаратов, как, например, в электрокардиографических исследованиях при использовании кардиостимуляторов или дефибрилляторов.

Перечисленные особенности источника возбуждения в значительной степени определяют построение усилителя биопотенциалов, особенно их входных цепей. [3]