

Лабораторная работа № 2 ДО

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ ЛИНЕЙНЫХ РС-УСИЛИТЕЛЕЙ

Теоретическая справка

Наиболее типичным представителем электронных устройств является усилитель. Назначение усилителя – формировать выходной сигнал, который представляет собой входной сигнал, умноженный на некоторую постоянную величину: $y(t) = Kx(t)$. Величину K называют коэффициентом усиления усилителя. Наиболее часто как входным, так и выходным сигналом являются напряжения. В этом случае усилитель называют усилителем напряжения. Основным параметром является коэффициент усиления по напряжению, который можно определить, измеряя действующее значение напряжения (далее – просто напряжения) на выходе при неизменной амплитуде входного синусоидального напряжения. Отношение напряжений при синусоидальной форме сигналов равно отношению амплитуд.

$$K_u = \frac{U_{m\text{ВЫХ}}}{U_{m\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}}$$

Если измерения проводится без подключения нагрузки к выходу усилителя (в режиме "холостого хода"), то коэффициент усиления в этом случае:

$$K_{u\text{ХХ}} = \left. \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} \right|_{\text{ХХ}}$$

Иногда входным и выходным сигналами считают входной и выходной токи, составляют отношение действующих значений токов (далее – просто токов), которое равно отношению амплитуд выходного и входного тока. В этом случае усилитель называют усилителем тока. Главным параметром усилителя тока является коэффициент усиления по току:

$$K_i = \frac{I_{\text{ВЫХ}}}{I_{\text{ВХ}}}.$$

В ряде случаев используются устройства, входным сигналом которых является ток, а выходным – напряжение (или наоборот, входным – напряжение, а выходным – ток). Такие устройства принято называть преобразователями напряжения в ток (или преобразователями тока в напряжение).

При анализе работы усилителя со стороны выхода применяют такой же подход, который используется при анализе работы активных двухполюсников. При неизменном значении входного напряжения (и, соответственно, входного тока) усилитель представляет собой активный двухполюсник (эквивалентный генератор) с параметрами напряжение холостого хода $U_{\text{ВЫХ ХХ}}$ и выходным сопротивлением $R_{\text{ВЫХ}}$. При этом напряжение холостого хода усилителя равно:

$$U_{\text{ВЫХ ХХ}} = K_{u\text{ХХ}} U_{\text{ВХ}}.$$

Выходное сопротивление, наряду с коэффициентом усиления и входным сопротивлением, является основным параметром усилителя.

Если усиливаемый сигнал передается через разделительный конденсатор, то такой усилитель называется RC -усилителем. Обобщенная схема линейного RC -усилителя показана на рис. 1.

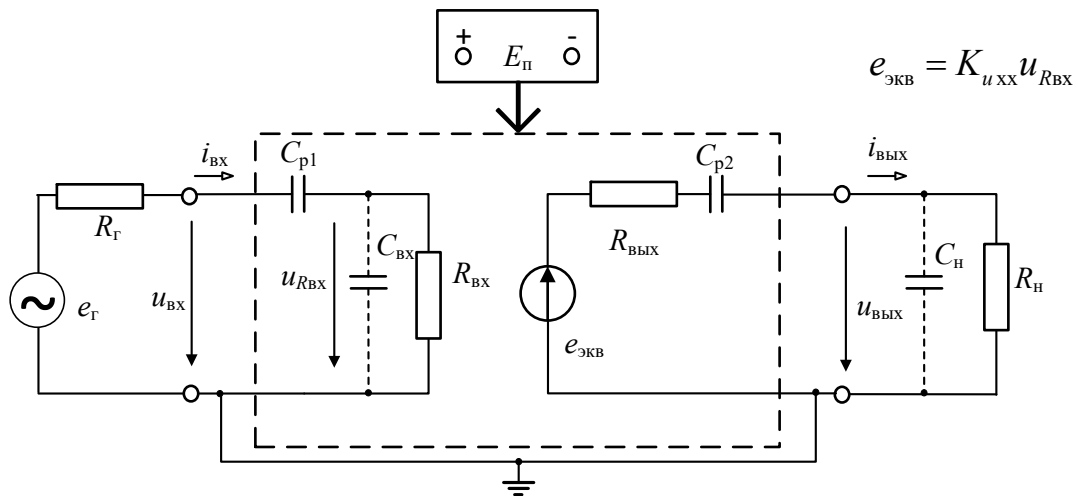


Рис. 1. Обобщенная схема линейного усилителя.

Основными параметрами усилителя являются (см. рис. 1):

- входное сопротивление усилителя $R_{вх}$;
- входная емкость усилителя $C_{вх}$;
- коэффициент усиления напряжения в режиме холостого хода K_{uXX} ;
- выходное сопротивление усилителя $R_{вых}$.

К основным характеристикам линейного усилителя относятся **амплитудная, амплитудно-частотная и временная**.

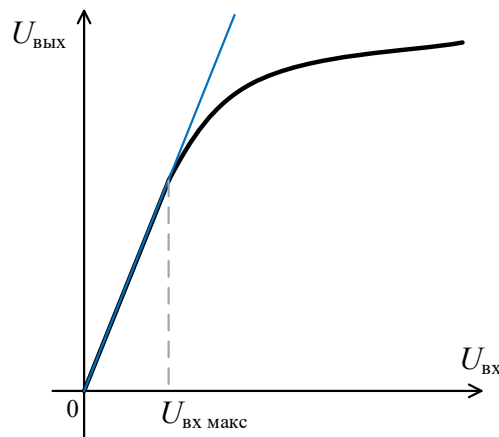


Рис. 2. Амплитудная характеристика усилителя.

Амплитудная характеристика — зависимость амплитуды (или действующего значения напряжения, далее — просто напряжения) гармонического сигнала на выходе усилителя от амплитуды (напряжения) сигнала на его входе (рис. 2). По амплитудной характеристике определяется динамический диапазон входного сигнала $U_{вх\ макс}$. В пределах динамического диапазона ($U_{вх} < U_{вх\ макс}$) усилитель работает в линейном режиме, т.е. $U_{вых} = K_{uXX} U_{вх}$. При больших амплитудах входного сигнала выходной сигнал ограничивается, что связано с нелинейностью

вольтамперных характеристик биполярных или полевых транзисторов, являющихся основой всех усилителей.

Амплитудно-частотная (рис. 3) и временная характеристики (рис. 4) усилителя экспериментально снимаются только при его работе **в линейном режиме**. Математические выражения можно получить из рассмотрения обобщенной схемы усилителя для разных диапазонов частот.

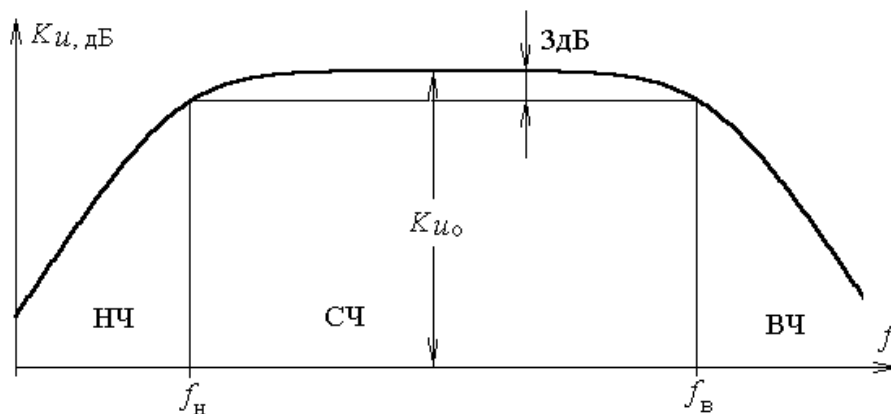


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика.

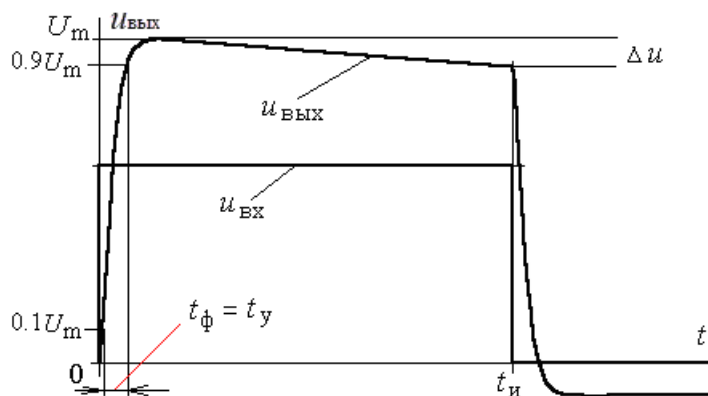


Рис. 4. Временная характеристика усилителя.

В области средних частот или в полосе усиления ($f_H \leq f \leq f_B$) коэффициент усиления напряжения постоянен и равен:

$$K_{u0} = K_{uXX} \xi_{BX} \xi_{ВЫХ},$$

где $\xi_{BX} = \frac{R_{BX}}{R_{BX} + R_{\Gamma}}$ - коэффициент деления сигнала на входе усилителя,

$\xi_{ВЫХ} = \frac{R_H}{R_H + R_{ВЫХ}}$ - коэффициент деления сигнала на выходе усилителя.

В области низких частот $f \ll f_H$ (для временной характеристики в области больших времен $t \gg \tau_B$) можно пренебречь влиянием входной емкости C_{BX} и емкости нагрузки C_H , так как обычно эти емкости малы и следовательно их реактивные сопротивления велики. Тогда эквивалентная схема усилителя

превращается в два последовательно включенных высокочастотных фильтра с постоянными времени $\tau_{н1} = (R_{г} + R_{вх})C_{p1}$ и $\tau_{н2} = (R_{вых} + R_{н})C_{p2}$. Входной сигнал в виде прямоугольный импульса длительностью $t_{и\text{ вх}}$ на выходе усилителя будет усилен и искажен. Из-за разделительных конденсаторов будет иметь место спад плоской вершины Δu (рис. 4). С учетом того, что действуют две RC -цепи можно записать, что относительный спад плоской вершины равен

$$\delta u = \frac{\Delta u}{U_m} \approx \delta u_1 + \delta u_2 = \frac{t_{и}}{\tau_{н1}} + \frac{t_{и}}{\tau_{н2}} = \frac{t_{и}}{\tau_{н}},$$

где $\tau_{н}$ – постоянная времени усилителя в области нижних частот. Откуда получаем

$$\tau_{н} \approx \left(\frac{1}{\tau_{н1}} + \frac{1}{\tau_{н2}} \right)^{-1}.$$

Для амплитудно-частотной характеристики постоянная $\tau_{н}$ определяет нижнюю граничную частоту усилителя:

$$f_{н} = \frac{1}{2\pi\tau_{н}} = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{1}{\tau_{н1}} + \frac{1}{\tau_{н2}} \right).$$

В области высоких частот $f \gg f_{в}$ (а для импульсной характеристики в области малых времен $t \ll \tau_{н}$) можно пренебречь сопротивлением разделительных конденсаторов C_{p1} и C_{p2} , так как их емкости велики и следовательно на высоких частотах их реактивные сопротивления малы. Тогда входная и выходная цепи превращаются в низкочастотные RC -фильтры с постоянными времени $\tau_{в1} = (R_{г} \parallel R_{вх})C_{вх}$ и $\tau_{в2} = (R_{н} \parallel R_{вых})C_{н}$. На высокой частоте надо учитывать и свойства самого усилителя – его можно считать инерционным звеном первого порядка с постоянной времени τ_{yc} . Тогда можно получить:

$$\tau_{в} = \sqrt{\tau_{в1}^2 + \tau_{в2}^2 + \tau_{yc}^2}.$$

Верхняя граничная частота усилителя определяется через постоянную времени $\tau_{в}$ следующим образом:

$$f_{в} = \frac{1}{2\pi\tau_{в}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\tau_{в1}^2 + \tau_{в2}^2 + \tau_{yc}^2}}.$$

Связь между временными параметрами усилителя и его частотными параметрами.

1. Время установления усилителя t_y экспериментально определяется через длительность фронта выходного импульса $t_{ф}$, измеряемого по уровням 10%...90% (см. рис. 8). Время установления t_y связано с верхней граничной частотой усилителя $f_{в}$ с помощью следующей формулы: $t_y = \frac{0,35}{f_{в}}$.

2. Относительный спад плоской вершины равен $\delta u = \frac{\Delta u}{U_m}$ и связан с нижней граничной частотой $f_{н}$ и длительностью входного сигнала $t_{и}$ усилителя следующей формулой: $\delta u = 2\pi f_{н} t_{и}$.

Литература

1. **Электротехника и электроника:** Учебник для вузов. В 3-х кн. Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники/ Г.П. Гаев, В.Г. Герасимов, О.М. Князьков и др.; Под ред. проф. В.Г. Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
2. **Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И.** Аналоговая и цифровая электроника (Полный курс): Учебник для вузов /Под ред. О.П.Глудкина. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000.
3. **Белодедов М. В., Абулкасимов М. М.** Электроника : учебное пособие / М. В. Белодедов, М. М. Абулкасимов. — Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 143 с.: ил. с.30–40.