

Линейный RC-усилитель

Линейным усилителем называется электронное устройство, предназначенное для передачи энергии источника питания в соответствии с формой входного сигнала в нагрузку. Если усиливаемый сигнал передается через разделительный конденсатор, то такой усилитель называется *RC*-усилителем. Обобщенная схема линейного *RC*-усилителя показана на рис. 2.

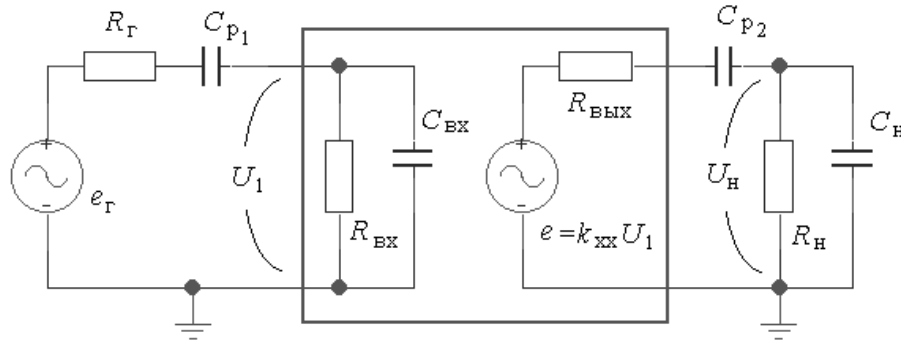


Рис. 2. Обобщенная схема линейного усилителя

Основными параметрами усилителя являются (см. рис. 2):

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

Основными характеристиками линейного усилителя являются:

- Амплитудная характеристика — зависимость амплитуды гармонического сигнала на выходе усилителя от амплитуды сигнала на его входе. Амплитудная характеристика определяет динамический диапазон входного сигнала;
- Амплитудно-частотная характеристика;
- Переходная характеристика.

Амплитудно-частотную характеристику можно получить из рассмотрения обобщенной схемы усилителя (рис. 2).

В области низких частот можно пренебречь влиянием входной емкости $C_{\text{вх}}$ и емкости нагрузки $C_{\text{н}}$, так как обычно эти емкости малы и их сопротивления велики. Тогда выражение для комплексной передаточной функции можно записать в таком виде:

$$K_u(j\omega) = \frac{K_o}{\left(1 - \frac{\omega_{\text{н1}}\omega_{\text{н2}}}{\omega^2}\right) - j\frac{\omega_{\text{н1}} + \omega_{\text{н2}}}{\omega}},$$

где $\omega_{\text{н1}} = [(R_r + R_{\text{вх}})C_{\text{p1}}]^{-1} = (\tau_{\text{н1}})^{-1}$ - нижняя граничная частота входной цепи усилителя,

$\omega_{\text{н2}} = [(R_{\text{вых}} + R_{\text{н}})C_{\text{p2}}]^{-1} = (\tau_{\text{н2}})^{-1}$ - нижняя граничная частота выходной цепи усилителя,

$K_o = K_{u\text{xx}} \xi_{\text{BX}} \xi_{\text{ВЫХ}}$ - коэффициент усиления в полосе пропускания,

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

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

Тогда выражение для АЧХ в области нижних частот запишется так:

$$K_u(\omega) = \frac{K_o}{\sqrt{1 + \frac{(\omega_{\text{H1}}\omega_{\text{H2}})^2}{\omega^4} + \frac{\omega_{\text{H1}}^2 + \omega_{\text{H2}}^2}{\omega^2}}}.$$

В двойном логарифмическом масштабе амплитудно-частотную характеристику в НЧ области наиболее просто составить из двух асимптот:

- в полосе пропускания ($f > f_{\text{H}}$) $K_u(f) = K_o$,
- на низких частотах ($f \ll f_{\text{H}}$) $K_u(f) \approx \frac{\omega^2}{\omega_1\omega_2}$, т.е. коэффициент

усиления пропорционален квадрату частоты. Таким образом, при увеличении частоты в 10 раз коэффициент усиления тоже увеличивается в 100 раз. А это эквивалентно наклону +40дБ на декаду для характеристики, построенной в двойном логарифмическом масштабе.

Нижнюю граничную частоту усилителя, определяемую по уровню 0,7, можно рассчитать по следующей формуле:

$$\omega_{\text{Hгр}} = 0,7 \sqrt{\omega_{\text{H1}}^2 + \omega_{\text{H2}}^2 + \sqrt{\omega_{\text{H1}}^4 + \omega_{\text{H2}}^4 + 6\omega_{\text{H1}}^2\omega_{\text{H2}}^2}}$$

Реальный RC-усилитель имеет большее число RC-звеньев. В этом случае **значение граничной частоты обычно завышают**:

$$\omega_{\text{Hгр}} = \omega_{\text{H1}} + \omega_{\text{H2}} + \dots$$

В области высоких частот можно пренебречь сопротивлением разделительных конденсаторов C_{p1} и C_{p2} , так как их емкости велики. Тогда выражение для комплексной передаточной функции можно записать в таком виде:

$$K_u(j\omega) = \frac{K_o}{(1 - \omega^2\tau_{\text{B1}}\tau_{\text{B2}}) + j\omega(\tau_{\text{B1}} + \tau_{\text{B2}})},$$

где $\tau_{\text{B1}} = (R_{\Gamma} \parallel R_{\text{BX}})C_{\text{BX}} = \frac{1}{\omega_{\text{B1}}}$ - постоянная времени входной цепи усилителя,

$\tau_{\text{B2}} = (R_{\text{H}} \parallel R_{\text{ВЫХ}})C_{\text{H}} = \frac{1}{\omega_{\text{B2}}}$ - постоянная времени выходной цепи.

Выражение для амплитудно-частотной характеристики будет таким:

$$K_u(\omega) = \frac{K_o}{\sqrt{1 + \omega^4\tau_{\text{B1}}^2\tau_{\text{B2}}^2 + \omega^2(\tau_{\text{B1}}^2 + \tau_{\text{B2}}^2)}}.$$

Амплитудно-частотную характеристику в двойном логарифмическом масштабе наиболее просто составить из двух асимптот:

- в полосе пропускания ($f < f_{в\ гр}$) $K_u(f) = K_o$,
- на высоких частотах ($f \gg f_{в\ гр}$) $K_u(f) \approx \frac{\omega_{в1}\omega_{в2}}{\omega^2}$, то есть коэффициент усиления обратно пропорционален квадрату частоты. Таким образом, при увеличении частоты в 10 раз коэффициент усиления уменьшается в 100 раз. А это эквивалентно наклону -40дБ на декаду для характеристики, построенной в двойном логарифмическом масштабе.

Верхнюю граничную частоту усилителя, определяемую по уровню 0,7, можно рассчитать по следующей формуле:

$$\omega_{в\ гр} = 0,7 \sqrt{\sqrt{\omega_{в1}^4 + \omega_{в2}^4 + 6\omega_{в1}^2\omega_{в2}^2} - (\omega_{в1}^2 + \omega_{в2}^2)}$$

Реальный усилитель включает в себя несколько каскадов. Поэтому число реактивных элементов, снижающих усиление на высоких частотах, возрастает. В лабораторном макете, например, сам усилитель (на рис. 2 обведен прямоугольником) можно считать инерционным звеном первого порядка с постоянной времени τ_y . Расчет в этом случае еще более усложняется, и обычно значение верхней граничной частоты занижают и считают:

$$\omega_{в\ гр} = \left(\sqrt{\tau_{в1}^2 + \tau_{в2}^2 + \tau_y^2} \right)^{-1}.$$

Связь между импульсными параметрами усилителя и его частотными параметрами определяется следующим образом:

- время установления усилителя t_y экспериментально определяется фронтом выходного импульса t_ϕ , измеряемого по уровням 0,1...0,9, а вычисляется так:

$$t_y = \frac{0,35}{f_{в\ гр}};$$

- спад плоской вершины связан с длительностью входного сигнала $t_{и}$ и нижней граничной частотой $f_{н\ гр}$ следующим образом:

$$\delta u = 2\pi f_{н\ гр} t_{и}.$$