

Принцип электронного усиления и классификация усилителей электрических сигналов

Для реализации подавляющего числа операций над аналоговыми сигналами необходимо выполнять функцию усиления сигнала. Усилитель – устройство, предназначенное для того, чтобы, используя энергию источника питания, увеличить мощность сигнала, поступающего на его вход (рис. 1).

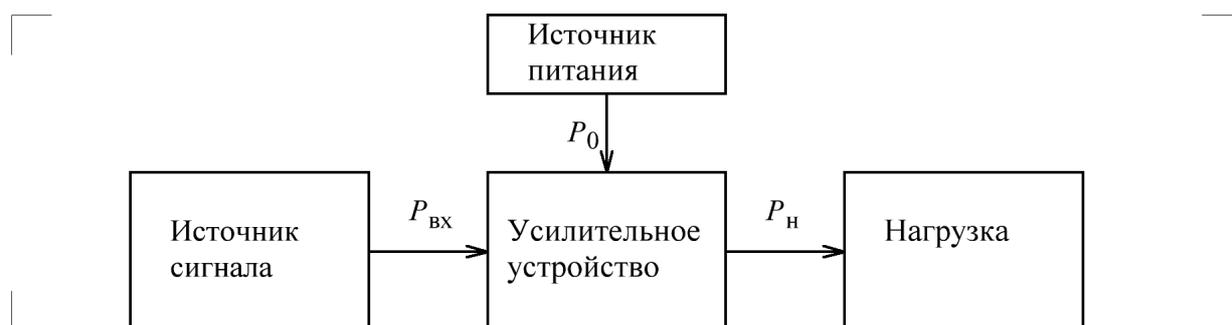


Рис. 1

При этом часто (но не всегда) требуется по возможности сохранить форму сигнала.

Источником сигнала может служить микрофон, антенна приемника, датчик физической величины и др. Нагрузка цепи – это любой получатель энергии сигнала (громкоговоритель, антенна, аналого-цифровой преобразователь и др).

Всякий источник энергии, в частности, источник сигнала можно представить в виде 2-полюсника, источником энергии в котором является генератор тока или напряжения, а электрические свойства определяются пассивным 2-полюсником, включенным последовательно с генератором напряжения или параллельно с генератором тока.

Потери энергии в пассивных 2-полюсниках отражают конечность энергии или мощности сигнала, которую источник способен передать во внешнюю цепь. Оба представления генераторов сигнала эквивалентны, выбор того или иного представления обусловлен удобством рассмотрения конкретной задачи.

Нагрузка схемы также представляется диссипативным 2-полюсником.

Во многих случаях внутренние пассивные 2-полюсники источников сигналов и цепи нагрузки можно считать линейными по отношению к токам и напряжениям схемы. В этом случае источник сигнала будем представлять в виде линейного электрического эквивалента из генератора тока или напряжения с конечным комплексным внутренним сопротивлением Z_c , а нагрузку – комплексным 2-полюсником Z_H (рис. 2а).

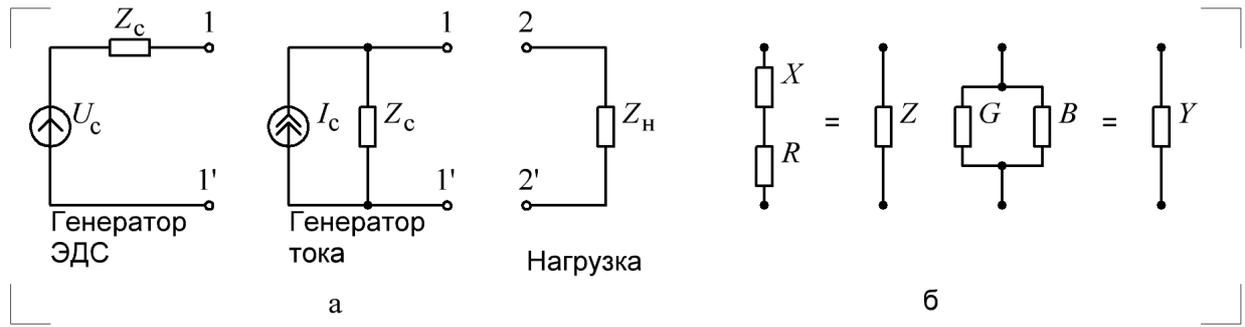


Рис. 2

Произвольный линейный 2-полюсник (в том числе Z_c и Z_n) полностью описывается частотной зависимостью комплексного импеданса (сопротивления), чаще всего представляемого в виде мнимой и вещественной частей $Z(jf) = R(f) + jX(f)$, или комплексного адмитанса (проводимости) $Y(jf) = G(f) + jB(f)$ (рис. 2б).

Заметим, что хотя нагрузка цепи в общем виде также может быть представлена комплексным сопротивлением, энергия (мощность) сигнала выделяется только на вещественной части сопротивления нагрузки.

Сигнал в наиболее общем виде представляется зависимостью тока или напряжения от времени $i_c(t)$ или $u_c(t)$. При анализе линейных цепей широко используется метод комплексных амплитуд. В этом случае сигнал предполагается гармоническим и описывается своей комплексной амплитудой $\tilde{U} = U_m \exp(j\varphi)$, где U_m – амплитуда и φ – фаза вещественного гармонического сигнала $u(t) = U_m \cos(2\pi ft + \varphi)$, являющегося вещественной частью сопоставленного с ним комплексного сигнала $\tilde{u}(t) = \tilde{U} \exp(j2\pi ft)$. На рис. 2а комплексные амплитуды напряжения и тока для простоты обозначены U_c и I_c .

Для явного указания вида сигнала во временной области будем использовать и другие обозначения источников (рис. 3а), тип источника (генератор тока или генератор ЭДС) указывать буквенным обозначением, например U_c и I_c , считая их комплексными амплитудами гармонических сигналов (рис. 3б).

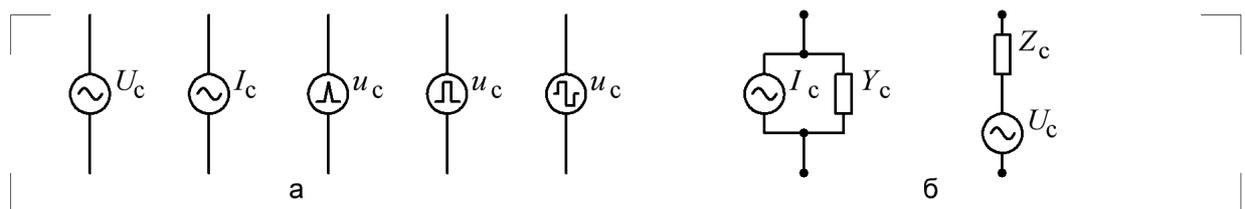


Рис. 3

Конечная активная составляющая внутреннего сопротивления источника

(генератора сигнала) R_c или G_c (рис. 2а) отражает тот факт, что при коротком замыкании первого источника ток имеет конечную величину, а при холостом ходе на выходных зажимах второго источника напряжение ограничено.

Процесс передачи энергии от источника во внешнюю цепь, являющуюся для него нагрузкой, связан с потерями энергии, рассеивающейся на внутреннем сопротивлении источника. Для случая вещественных сопротивлений источника и нагрузки это иллюстрируется рис. 4.

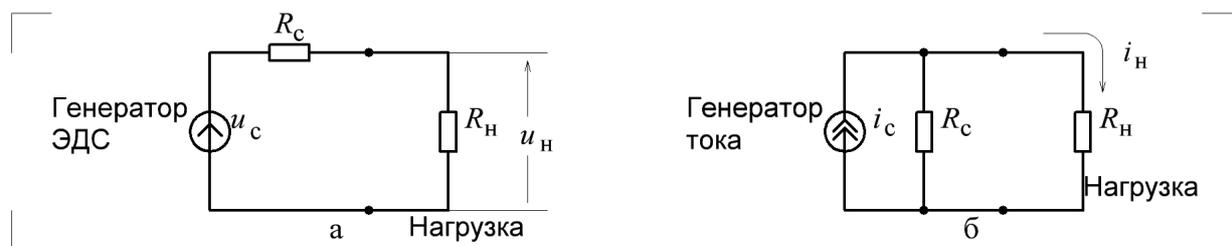


Рис. 4

Для схемы рис. 4а $u_H = u_c R_H / (R_c + R_H)$, а мощность $p_H = u_c^2 R_H / (R_c + R_H)^2$. Для схемы рис. 4б $i_H = i_c R_c / (R_c + R_H)$ и $p_H = i_c^2 R_c^2 R_H / (R_c + R_H)^2$.

Условия передачи от источника в нагрузку максимальной мощности сформулированы в теореме о максимальной мощности, которая утверждает, что при заданном внутреннем сопротивлении источника сигнала максимальная мощность выделится в нагрузке при условии $Z_H = Z_T^*$ (комплексно сопряженное согласование).

Заметим, что обратная задача поиска оптимального значения импеданса источника при заданном импедансе нагрузки не имеет смысла – максимальная мощность выделится в нагрузке при $Z_T = 0$, когда потери энергии отсутствуют.

Источник сигнала характеризуется номинальной или "располагаемой" мощностью, которую источник способен передать в согласованную с ним нагрузку. Можно показать, что при гармоническом сигнале источника располагаемая мощность равна $P_{нр} = U_c^2 / (4 R_c)$ или $P_{нр} = I_c^2 / (4 G_c)$, где U_c , и I_c – действующие значения сигнального напряжения и тока.

Для обеспечения большого усиления усилители строят многокаскадными. Схемы, подобные рис. 4, описывают передачу энергии как от источника на вход усилителя, с выхода усилителя в нагрузку, так и между каскадами усиления.

Для некоторого промежуточного каскада источником сигнала является выходная цепь предыдущего, а нагрузкой – входная цепь следующего (рис. 5).

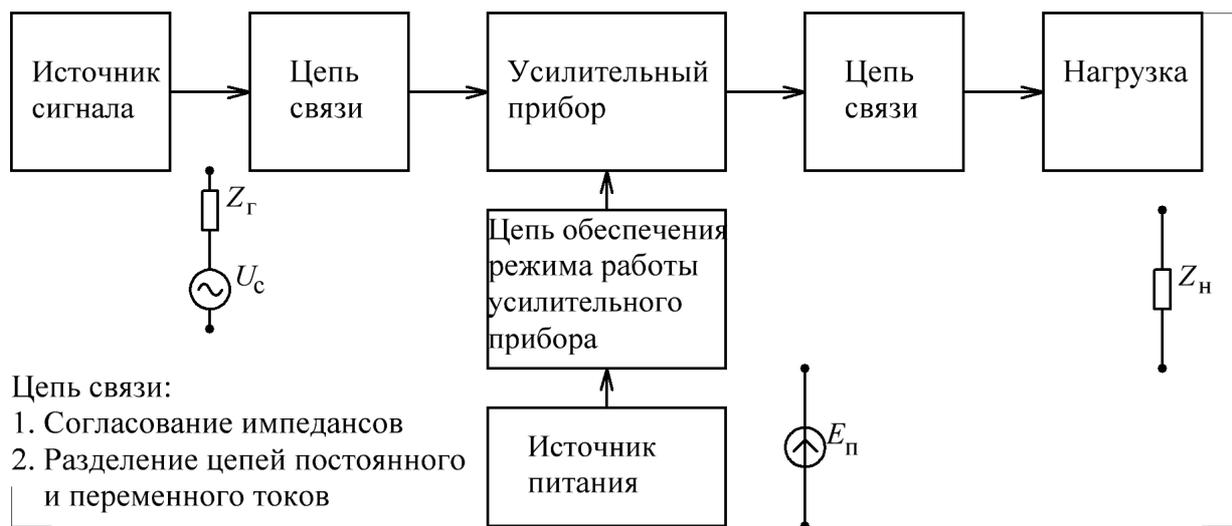


Рис. 5

Цепи связи служат для передачи энергии с наименьшими потерями.

В общем виде усилительный тракт можно представить следующим образом (рис. 6).

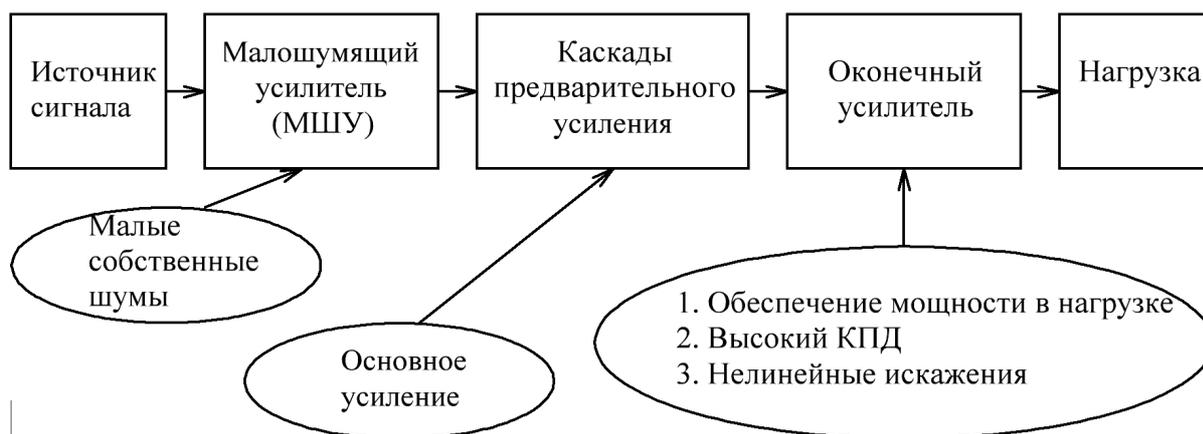


Рис. 6

На основании этого представления усилительные каскады можно подразделить на

- малошумящие усилители (МШУ);
- каскады предварительного усиления;
- оконечные каскады.

МШУ предназначены для усиления очень слабых сигналов с минимумом собственных шумов. Каскады предварительного усиления обеспечивают основное усиление тракта. Задача оконечного каскада – обеспечение в нагрузке требуемой мощности.

В зависимости от полосы частот используемых сигналов усилители делятся на следующие классы (рис. 7):

- усилители постоянного тока (УПТ);
- узкополосные (резонансные) усилители (РУ);
- широкополосные усилители (ШПУ).

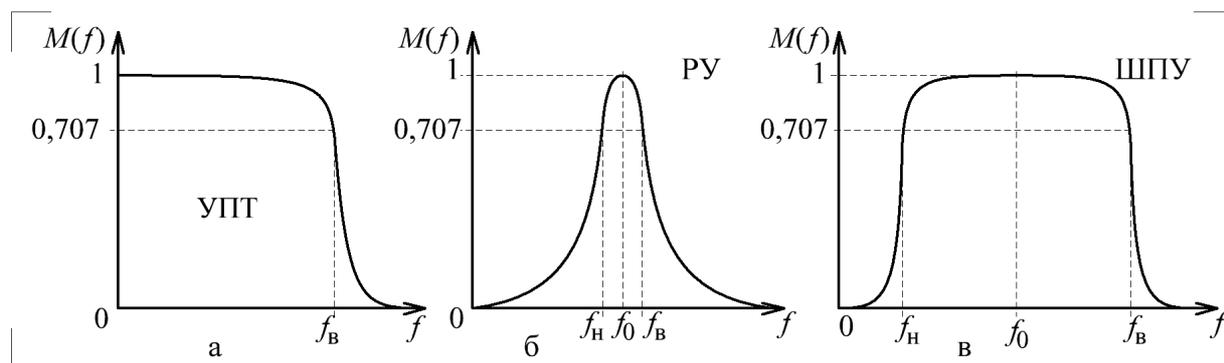


Рис. 7

На рис. 7 представлены модули нормированных к максимальному значению амплитудно-частотных характеристик усилителей.

УПТ характеризуются способностью усиливать сигналы с частотами вплоть до нулевой, т. е. сигналы, изменяющиеся крайне медленно: сигналы датчиков температуры, освещенности и т. д.

Различие между РУ и ШПУ в значительной степени условно и определяется относительной полосой пропускания устройства $\Delta f / f_0 = (f_B - f_H) / f_0$. Для РУ характерны $\Delta f / f_0 < 0,05$, а для ШПУ – $\Delta f / f_0 > 0,5$.

Возвращаясь к рис. 1 и конкретизируя схему с точки зрения теории электрических цепей получим представление, показанное на рис. 8.

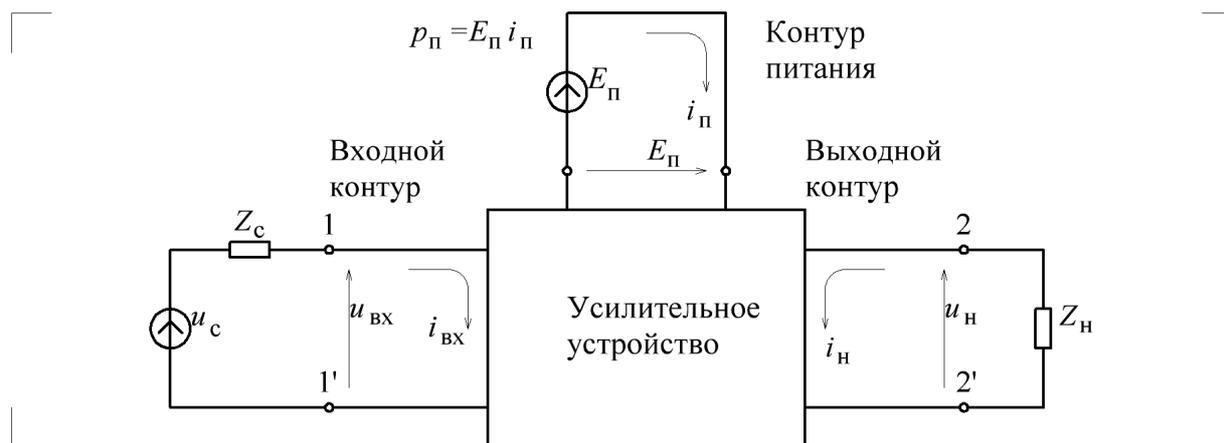


Рис. 8

Как следует из рис. 8, в схеме типового по построению усилительного каскада присутствуют три замкнутых контура, один из которых выступает в роли выходного контура, или контура нагрузки, второй – входного или контура управления. Третий контур относится к цепи питания и характеризует затраты

мощности источника питания.

Процесс усиления можно трактовать как процесс воссоздания мощной копии сигнала источника и с точки зрения теории цепей описывать зависимыми источниками. В теории цепей рассматривается 4 вида идеальных зависимых источников (рис. 9).

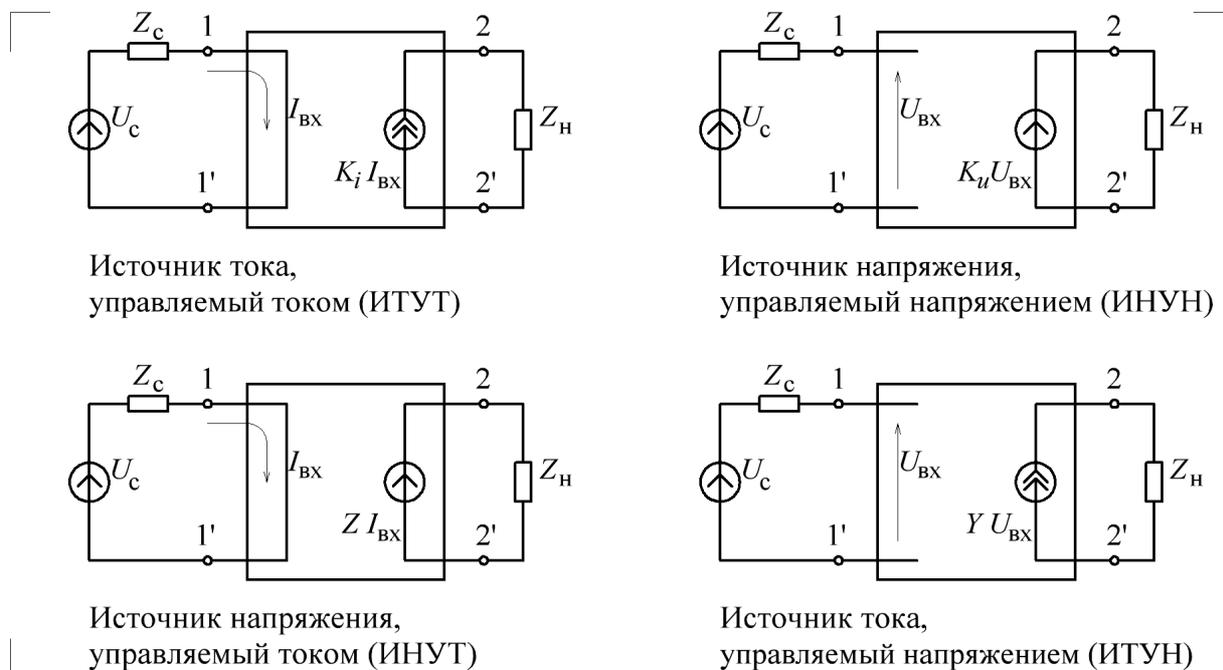


Рис. 9

Здесь токи и напряжения представлены своими комплексными амплитудами.

Исходя из размерностей входной и выходной электрических величин коэффициент пропорциональности между входом и выходом может не иметь размерности, иметь размерность сопротивления или проводимости. По такому критерию усилительные схемы могут подразделяться на

- усилители тока;
- усилители напряжения;
- трансимпедансные усилители.

Несмотря на то, что схемы зависимых источников (рис. 9) наглядно демонстрируют процесс усиления сигнала, они не могут точно описать работу реальной схемы, поскольку не потребляют мощность от источника сигнала и не имеют потерь в выходной цепи зависимого источника.

Для учета этих потерь вводятся эквивалентные входные и выходные сопротивления, для случая источника напряжения, управляемого напряжением показанные на рис. 10.

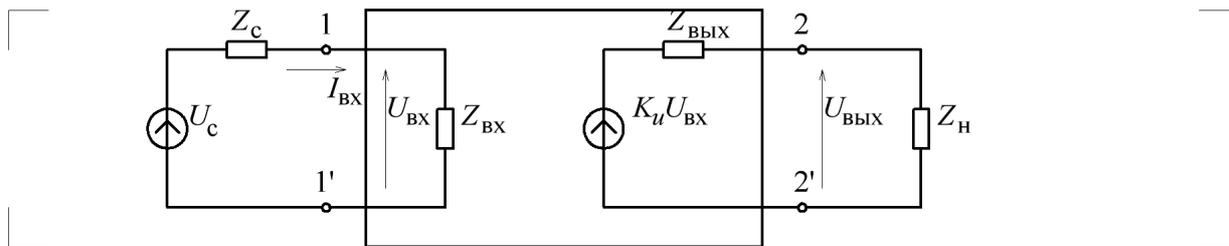


Рис. 10

Как видно под действием источника сигнала на входе 4-полюсника реализуется напряжение $U_{\text{ВХ}}$, отличающееся от U_c , а на нагрузке выделяется напряжение $U_{\text{ВЫХ}}$, не равное $K_u U_{\text{ВХ}}$.