

Глава 5. УСИЛИТЕЛИ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

5.1. ПРИНЦИП УСИЛЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Назначение и классификация усилителей. Усилители переменного напряжения являются наиболее распространенным типом электронных усилителей на дискретных элементах. Связь усилителя с источником входных сигналов и нагрузкой, а также между отдельными каскадами в многокаскадных усилителях переменного напряжения в большинстве случаев осуществляется через разделительные RC-цепи и реже — с помощью трансформаторов. При таких связях усиливается и передается в нагрузку только переменная составляющая сигнала, несущая полезную информацию. Лишь в интегральных усилителях ввиду сложности изготовления катушек индуктивности и конденсаторов большой емкости применяются гальванические связи, пропускающие как переменные, так и постоянные составляющие усиливаемого сигнала. Общими требованиями, предъявляемыми к цепям межкаскадных связей, являются минимальные потери усиления, минимальные вносимые искажения, достаточная электрическая прочность.

Среди усилителей переменного напряжения видное место занимают усилители низкой частоты (УНЧ), усиливающие электрические колебания в диапазоне частот от единиц герц до десятков килогерц. УНЧ,

работающие в диапазоне частот 16 Гц...20 кГц, называют *усилителями звуковой частоты (УЗЧ)*.

УНЧ применяются в радиоприемных и радиотрансляционных устройствах, системах автоматического регулирования и телеметрии и др.

Напряжение на входе УНЧ может изменяться в широких пределах: от долей микровольта до нескольких вольт. Значения напряжений усиленных электрических колебаний могут быть от десятых долей вольта до сотен вольт, а их мощность — от нескольких милливатт до сотен ватт и киловатт. Для получения такого усиления напряжения и мощности УНЧ должен быть, как правило, многокаскадным. Первые каскады образуют предварительный усилитель, который осуществляет в основном усиление напряжения. Такие усилители называют усилителями напряжения низкой частоты (УННЧ). Основное требование, предъявляемое к УННЧ — это получение максимального коэффициента усиления напряжения при минимальных искажениях усиливаемых электрических колебаний.

По принципу построения усилительные каскады могут быть одноктактными и двухтактными.

Усилители напряжения низкой частоты могут быть выполнены на электронно-управляемых лампах, биполярных или полевых транзисторах. В последнее время очень часто используются УННЧ на интегральных микросхемах.

В качестве нагрузок в УННЧ могут использоваться резисторы, трансформаторы, обмотки электродвигателей, динамические головки громкоговорителей и др.

Из транзисторных УННЧ наибольшее применение получили усилители с общим истоком (ОИ) и общим эмиттером (ОЭ). Это связано с тем, что такие усилители обеспечивают получение большого коэффициента усиления при сравнительно высоком входном сопротивлении. Для уменьшения частотной зависимости технических показателей в транзисторных УННЧ в качестве нагрузок обычно используют резисторы.

Работа усилителя. Схема простейшего усилителя на полевом транзисторе, включенном по схеме с ОИ и резистивной нагрузкой R_c , показана на рис. 5.1, а.

Источник с ЭДС $e_{\text{вх}}$ создает на входе усилителя (рис. 5.1, б) на зажимах 1 — 1 переменное напряжение $u_{\text{вх}}$, изменяющееся по закону $u_{\text{вх}} = U_{\text{м вх}} \sin \omega t$.

При неработающем источнике $e_{\text{вх}}$ ($u_{\text{вх}} = 0$) усилитель находится в режиме покоя (интервал времени $0 \dots t_i$),

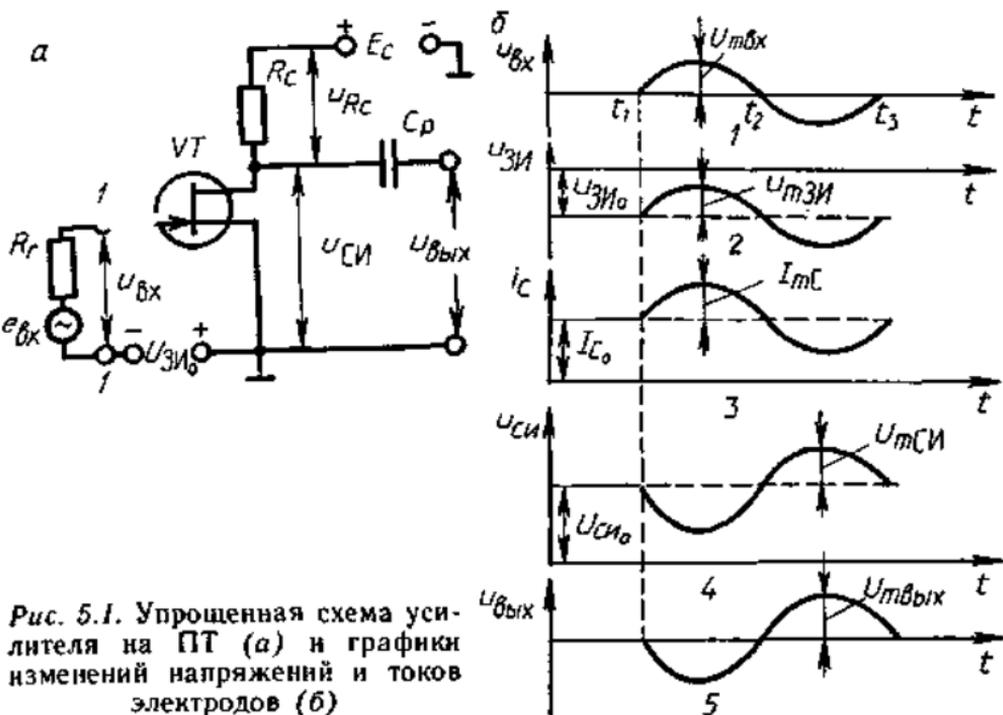


Рис. 5.1. Упрощенная схема усилителя на ПТ (а) и графики изменений напряжений и токов электродов (б)

который характеризуется постоянными напряжениями затвора $U_{СИ0}$ и сет. $U_{СИ0}$ и током I_{c0} . Ток покоя I_{c0} протекает через резистор нагрузки R_c и создает на его сопротивлении напряжение $U_{RC} = I_{c0}R_c$, поэтому

$$U_{СИ0} = E_c - I_{c0}R_c. \quad (5.1)$$

В момент времени t_1 включается источник переменного напряжения и напряжение затвора начинает изменяться по закону

$$U_{СИ} = E_c - I_{c0}R_c.$$

Режим работы активного элемента, при котором хотя бы один из его параметров изменяется во времени, называется динамическим. Следовательно, с момента времени t_1 ПТ и усилитель в целом из режима покоя (статического режима) переходят в динамический режим.

Во время положительного полупериода входного напряжения (интервал $t_1...t_2$) напряжение затвора становится менее отрицательным. Это вызывает увеличение тока стока и падения напряжения на резисторе R_c . Напряжение $U_{СИ}$ в соответствии с выражением (5.1) уменьшается.

Во время отрицательного полупериода входного напряжения (интервал $t_2...t_3$) напряжение затвора становится более отрицательным, чем в режиме покоя. Это приводит

к уменьшению тока стока, падения напряжения на резисторе R_c и увеличению напряжения $U_{сн}$.

Таким образом, под действием переменной составляющей напряжения затвора $U_{мзи} \sin \omega t$ ток стока, напряжение стока и напряжение на нагрузке преобразуются из постоянных, какими они были в режиме покоя, в пульсирующие, содержащие постоянные и переменные составляющие:

$$i_c = I_{c0} + I_{mc} \sin \omega t;$$

$$u_{R_c} = i_c R_c = I_{c0} R_c + I_{mc} R_c \sin \omega t = U_{R_{c0}} + U_{mR_c} \sin \omega t;$$

$$\begin{aligned} u_{сн} &= E_c - u_{R_c} = E_c - U_{R_{c0}} - U_{mR_c} \sin \omega t = \\ &= U_{сн0} - U_{mR_c} \sin \omega t. \end{aligned}$$

Из последнего уравнения видно, что изменение напряжения на резисторе R_c численно равно изменению напряжения стока, т. е. $U_{mR_c} = U_{mсн}$. Поэтому последнее уравнение можно записать в виде

$$u_{сн} = U_{сн0} - U_{mсн} \sin \omega t.$$

Знак «минус» в этом выражении означает противофазность переменных составляющих напряжений стока и затвора.

Так как $U_{mR_c} = I_{mc} R_c = U_{mсн}$, то при соответствующем выборе сопротивления резистора R_c можно получить $U_{mсн} > U_{мзи}$, т. е. усиление входного напряжения.

Усиленное переменное напряжение поступает на выход усилителя через разделительный конденсатор C_p . Емкость этого конденсатора должна быть достаточно большой, чтобы на его сопротивлении падала лишь незначительная часть переменной составляющей напряжения $U_{сн}$. При этом можно считать, что $U_{нвых} = U_{мсн}$.

Схема простейшего усилителя на биполярном транзисторе, включенном с ОЭ, показана на рис. 5.2, а, а принцип его работы иллюстрируется графиками, приведенными на рис. 5.2, б.

Усилители, приведенные на рис. 5.1, а и 5.2, а, называются инвертирующими, так как у них фаза выходного напряжения противоположна фазе входного напряжения.

В рассмотренных усилителях выходные напряжения создаются переменными составляющими токов стока и коллектора, значительно превышающими по амплитуде входные токи — токи затвора и базы. Поэтому усиление

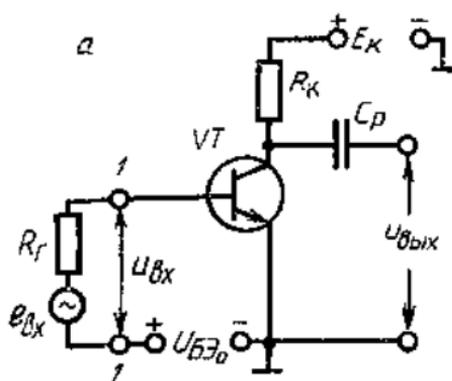


Рис. 5.2. Упрощенная схема усилителя на БТ (а) и графики изменений напряжений и токов электродов (б)

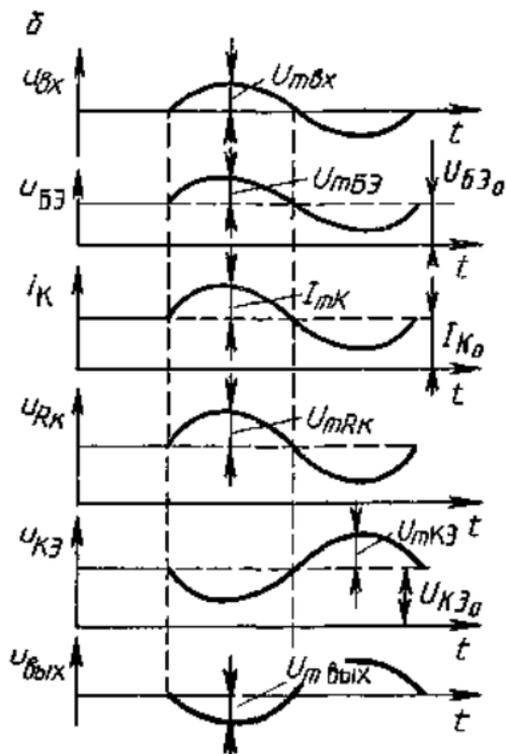
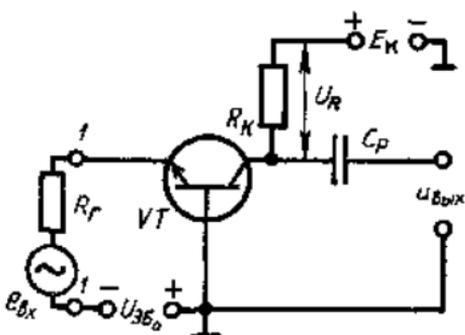


Рис. 5.3. Упрощенная схема усилителя на БТ с общей базой



напряжения происходит при одновременном усилении мощности.

Усилитель можно выполнить на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общей базой (рис. 5.3). Физические процессы в таком усилителе ничем не отличаются от физических процессов в усилителе на БТ с ОЭ. С помощью графиков, отображающих изменения напряжений и токов при действии на входе усилителя переменного напряжения, можно убедиться в том, что выходное напряжение в усилителе на БТ с ОБ совпадает по фазе с входным. Такой усилитель называют неинвертирующим.