

Режим насыщения в полевых транзисторах наступает при достаточно большом напряжении $u_{си} > U_{нас}$, где $U_{нас} = u_{зи} - U_{пор}$ – напряжение насыщения. В этом режиме ток стока практически перестает зависеть от напряжения $u_{си}$. Соответственно транзистор представляет собой генератор тока, управляемый напряжением $u_{зи}$ (см. рис. 4.5, в). В этом режиме полевые транзисторы используются в усилительных схемах. Насыщение роста тока стока при увеличении напряжения $u_{си}$ связано с насыщением дрейфовой скорости электронов в сильных электрических полях (см. выше - п. 1.5).

При значительных напряжениях $u_{си}$ необходимо учитывать увеличение потенциала канала от истока к стоку, которое вызывает соответствующее сужение канала от истока к стоку. При постоянном токе в канале и неизменной концентрации электронов, создающих этот ток, уменьшение площади поперечного сечения канала приводит к увеличению скорости дрейфового движения электронов. При напряжении $u_{си} = U_{нас}$ на границе канала со стоком происходит насыщение скорости электронов. При более высоких значениях напряжения $u_{си} > U_{нас}$ сечение, в котором происходит насыщение скорости, смещается в сторону истока, и на интервале между этим сечением и стоком электроны движутся со скоростью насыщения, в результате чего ток стока практически не изменяется (см. рис. 4.8, б). Слабый рост тока связан с тем, что при увеличении напряжения $u_{си}$ насыщение скорости происходит при большей площади поперечного сечения канала. Увеличение напряжения насыщения с ростом напряжения $u_{зи}$ объясняется тем, что при большем напряжении $u_{зи}$ канал оказывается шире, и насыщение скорости достигается при большем напряжении $u_{си} = U_{нас}$.

В учебной литературе (см., напр., [1,2]) насыщение роста тока стока связывается с эффектом отсечки канала на границе со стоком. Подобная трактовка требует ряда допущений, затрудняющих понимание физических процессов, протекающих в полевых транзисторах.

В режиме насыщения выражение для тока стока имеет вид

$$i_c = \frac{k}{2} (u_{зи} - U_{пор})^2. \quad (4.3)$$

В случае, когда требуется учесть слабое влияние напряжения $u_{си}$ на ток стока, в формулу (4.3) вносят уточняющую поправку

$$i_c = \frac{k}{2} (u_{зи} - U_{пор})^2 \left(1 + \frac{u_{си}}{U_A} \right), \quad (4.4)$$

где U_A - параметр, аналогичный напряжению Эрли биполярного транзистора.

Таким образом, работа полевого транзистора в режиме насыщения во многом аналогична работе биполярного транзистора в активном режиме. Вместе с тем отсутствие входного тока значительно упрощает построение различных схем на полевых транзисторах. На рис. 4.7, а приведена схема усилительного каскада на n-канальном полевом транзисторе с управляющим

переходом, включенном по схеме ОИ. В этой схеме для запирающего управляющего перехода используется дополнительный источник питания E_C .

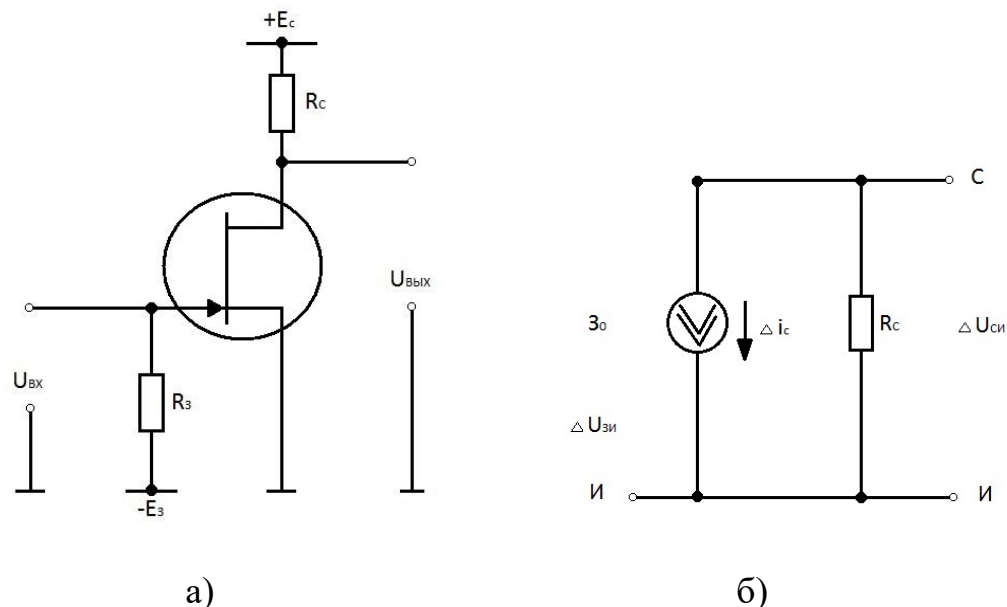


Рис. 4.7. Схема усилительного каскада на ПТУП (а) и малосигнальная эквивалентная схема каскада (б).

На рис. 4.7, б приведена малосигнальная эквивалентная схема усилительного каскада на полевом транзисторе. В малосигнальном режиме ток стока и напряжения на затворе и на стоке можно заменить их малыми приращениями. Тогда, записывая выражение для полного дифференциала тока стока, получаем

$$\Delta i_C = \frac{\partial i_C}{\partial u_{ЗИ}} \Delta u_{ЗИ} + \frac{\partial i_C}{\partial u_{СИ}} \Delta u_{СИ} = S \Delta u_{ЗИ} + \frac{\Delta u_{СИ}}{r_C} \quad (4.5)$$

где $S = \frac{\partial i_C}{\partial u_{ЗИ}} = k(u_{ЗИ} - U_{ПОР})$ - крутизна, а $r_C = \frac{\partial u_{СИ}}{\partial i_C}$ - выходное дифференциальное сопротивление транзистора. В дальнейшем ввиду слабого влияния напряжения $u_{СИ}$ на ток стока в режиме насыщения будем полагать $r_C = \infty$, тогда $\Delta i_C = S \Delta u_{ЗИ}$. Соответственно, коэффициент усиления по напряжению равен

$$K_U = \frac{\Delta u_{СИ}}{\Delta u_{ЗИ}} = -S R_C. \quad (4.6)$$

Знак минус отражает тот факт, что приращения напряжений $\Delta u_{зи}$ и $\Delta u_{си}$ имеют разные знаки. В случае усиления малых синусоидальных сигналов знак минус отражает **противофазность** входного и выходного напряжений. Отметим также, что **крутизна полевых транзисторов** существенно **ниже**, чем **биполярных**, и, соответственно, **коэффициент усиления по напряжению** у полевых транзисторов также **значительно ниже**, чем у биполярных. Что касается **коэффициента усиления по току**, то в силу малости входного тока (тока затвора) он оказывается **очень большим** и **значительно превосходит коэффициент усиления по току биполярного транзистора**. На низких частотах ток затвора принимают равным нулю (см. рис. 4.7, б). В этом случае коэффициент усиления по току **формально оказывается бесконечным** и не рассчитывается. Что касается **коэффициента усиления мощности** $K_P = K_I K_U$, то в связи с более низким коэффициентом усиления по напряжению полевых транзисторов, он **оказывается сравнимым** для полевых и биполярных транзисторов.