

Лекция 10

Тема: Аналоговые интегральные микросхемы (Продолжение).

- 1) Схемы сдвига потенциала.
- 2) Каскодные схемы.
- 3) Выходные каскады.
- 4) Дифференциальные каскады.

СХЕМЫ СДВИГА ПОТЕНЦИАЛА

В аналоговых интегральных микросхемах напряжение с выхода предыдущего каскада передается на вход последующего без разделительных конденсаторов. При этом на вход последующего каскада поступает как переменное, так и постоянное напряжение. Для того чтобы получить необходимый режим работы последующего каскада по постоянному току, требуется, как правило, понизить постоянное напряжение, что достигается с помощью схемы сдвига потенциала. При этом величина переменного напряжения не должна существенно уменьшаться. На рис. 82, *a* представлена схема сдвига потенциала, широко применяемая в аналоговых интегральных микросхемах. Она состоит из транзистора, генератора стабильного тока I_0 и резистора R_0 . На входе схемы действует напряжение $u_{\text{вх}} = U_{\text{вх.0}} + U_{\text{вх.m}} \sin \omega t$, на выходе – $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых.0}} + U_{\text{вх.m}} \sin \omega t$; постоянное напряжение на выходе схемы определяется соотношением

$$U_{\text{вых.0}} = U_{\text{вх.0}} - I_0 R_0. \quad (47)$$

Изменяя R_0 , можно получить требуемое постоянное напряжение $U_{\text{вых.0}}$, определяющее режим работы последующего каскада. Переменное напряжение на выходе схемы равно

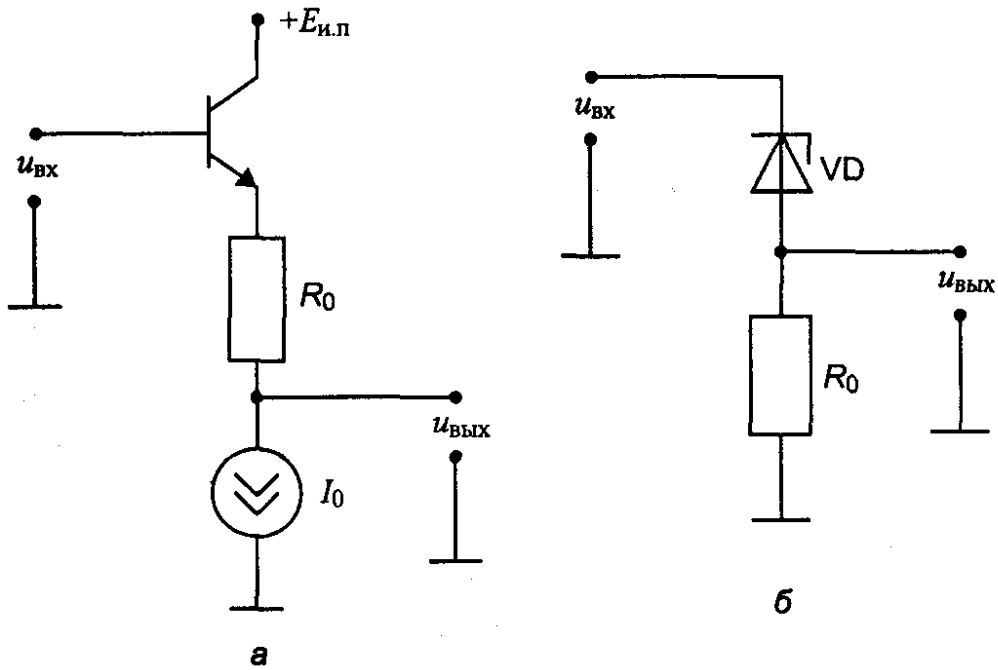


Рис. 82

$$U_{\text{ВЫХ.м}} = U_{\text{ВХ.м}} R_i / (R_i + R_0). \quad (48)$$

Здесь $U_{\text{ВХ.м}}$ и $U_{\text{ВЫХ.м}}$ – амплитуды входного и выходного напряжений соответственно;

R_i – внутреннее сопротивление ГСТ переменному току. Поскольку $R_i \gg R_0$, напряжение $U_{\text{ВХ.м}} \cong U_{\text{ВЫХ.м}}$.

Кроме рассмотренной схемы в аналоговых интегральных микросхемах для сдвига потенциала находит применение схема, представленная на рис. 82, б. Она содержит стабилитрон с низким дифференциальным сопротивлением и резистор R_0 . Для этой схемы справедливы следующие соотношения:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}} - U_{\text{стаб}}, \quad (49)$$

$$U_{\text{вых.м}} = U_{\text{вх.м}} R_0 / (R_1 + R_0). \quad (50)$$

При $R_i \ll R_0$, выполняется условие $U_{\text{вых.м}} \cong U_{\text{вх.м}}$.

КАСКОДНЫЕ СХЕМЫ

Каскадные схемы отличаются от обычных усилительных схем тем, что усилительные каскады в них включены последовательно по постоянному току. Наибольшее распространение имеет комбинация, в которой первый каскад включен по схеме с ОЭ, а второй – по схеме с ОБ (рис. 83).

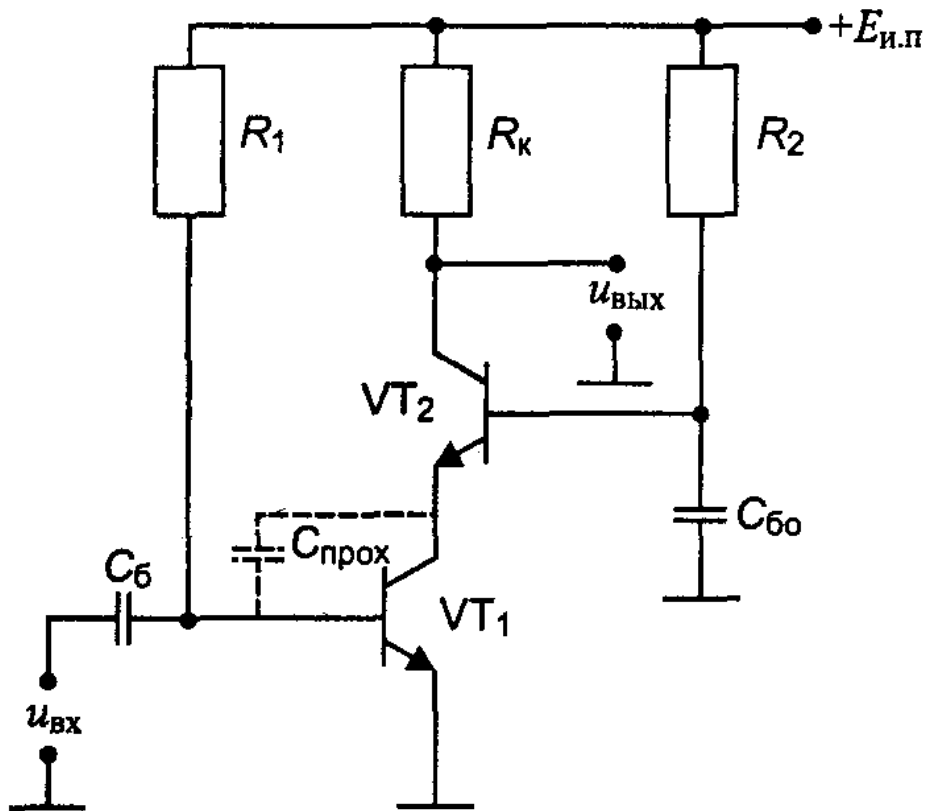


Рис. 83

Нагрузкой первого каскада является входное сопротивление второго, равное $h_{11\delta}$, поэтому

$$K_u^{(1)} = -\frac{h_{21\delta}}{h_{11\delta}} h_{11\delta} = -\frac{h_{21\delta}}{h_{11\delta}} \frac{h_{11\delta}}{h_{21\delta} + 1} = -\frac{h_{21\delta}}{h_{21\delta} + 1} < 1. \quad (51)$$

То есть первый каскад не дает усиления напряжения, поэтому входная емкость рассматриваемой каскодной схемы, определяемая соотношением $C_{\text{вх.экв}} = C_{\text{вх}} + (K_u + 1)C_{\text{прох}}$, возрастает незначительно.

Второй каскад, включенный по схеме ОБ, дает усиление

$$K_u^2 = \frac{h_{21\delta}}{h_{11\delta}} R_{\text{к}} = \frac{\frac{h_{21\delta}}{h_{11\delta}} - 1}{\frac{h_{11\delta}}{h_{21\delta} - 1}} R_{\text{к}} = \frac{h_{21\delta}}{h_{11\delta}} R_{\text{к}}. \quad (52)$$

Результирующий коэффициент усиления

$$K_u = K_u^{(1)} K_u^{(2)} = -\frac{-h_{21\delta}^2}{(h_{21\delta} + 1)h_{11\delta}} R_{\text{к}} \cong -\frac{h_{21\delta}}{h_{11\delta}} R_{\text{к}}. \quad (53)$$

Таким образом, рассматриваемая каскодная схема дает такое же усиление, как и обычный каскад по схеме ОЭ, но при этом входная емкость каскада не возрастает.

Аналогичным образом создаются каскодные схемы ОИ-ОЗ на полевых транзисторах. Применяются также комбинации ОК-ОБ, обладающие высоким входным сопротивлением.

ВЫХОДНЫЕ КАСКАДЫ

Выходные каскады, как правило, работают на низкоомную нагрузку. Поэтому в качестве выходных каскадов обычно применяют эмиттерные повторители (схема с ОК), обладающие низким выходным сопротивлением. Выходные каскады, обеспечивающие необходимую мощность во внешней нагрузке, должны обладать высоким КПД, что достигается путем применения двухтактных схем (рис. 84, а). В этом случае через транзистор VT_2 протекает ток в положительные полупериоды входного напряжения, а через транзистор VT_1 , – в отрицательные. Вследствие того, что заметный ток транзистора появляется при $u_{\text{вх}} > 0,7 \text{ В}$, ток через нагрузку в течение некоторых промежутков времени не протекает, поэтому выходное напряжение при прохождении через нуль имеет ступеньки (рис. 84, б), то есть выходное напряжение не повторяет форму входного. Этот недостаток устраняется путем включения между базами транзисторов смещающих диодов (рис. 85, а), сдвигающих управляющие характеристики транзисторов на $0,7 \text{ В}$, в результате чего зависимость $i_{\text{вых}} = f(u_{\text{вх}})$ получается линейной (рис. 85, б).

Повышение КПД двухтактной схемы обусловлено тем, что при $u_{\text{вх}} = 0$ ток от источника питания не потребляется. Если же на базу транзистора подано синусоидальное напряжение, то ток через транзистор протекает только в течение половины периода. При этом импульсы тока высотой $I_{\text{эм}}$ можно разложить в ряд Фурье. Полагая, что $U_{\text{вых.м}} = E_{\text{ип}}$, можно рассчитать мощность, выделяемую в нагрузке:

$$P_{\text{вых}} = \frac{1}{2} U_{\text{вых.м}} I_{\text{эм}} = \frac{1}{2} E_{\text{ип}} I_{\text{эм}} \quad (54)$$

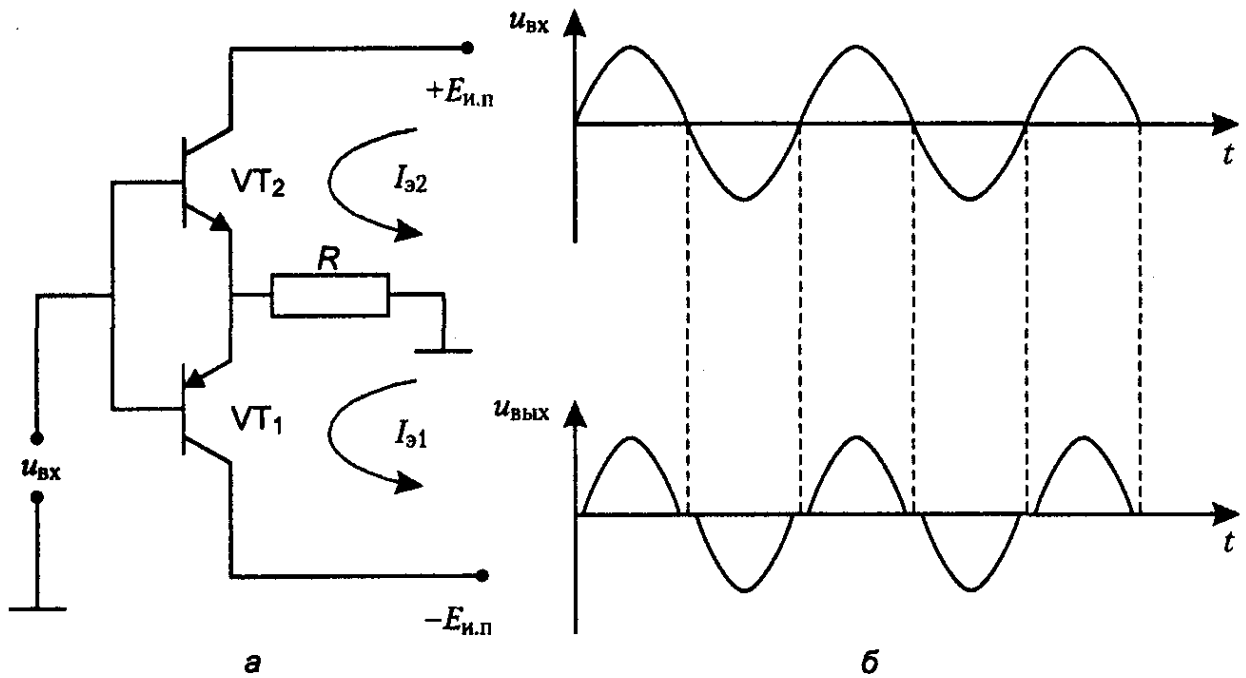


Рис. 84

Разложение импульсов тока в ряд Фурье позволяет определить постоянную составляющую тока, потребляемого от источника:

$$I = \frac{1}{\pi} I_{\text{эм}} \quad (55)$$

Поскольку в схеме работают два транзистора, потребляемый ток необходимо удвоить. Следовательно, от источника потребляется мощность

$$P_0 = 2IE_{\text{ип}} = \frac{2}{\pi} I_{\text{эм}} E_{\text{ип}} \quad (56)$$

Таким образом, КПД двухтактной схемы оказывается равным

$$\eta = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_0} = \frac{\pi}{4}, \quad (57)$$

то есть 78 %.

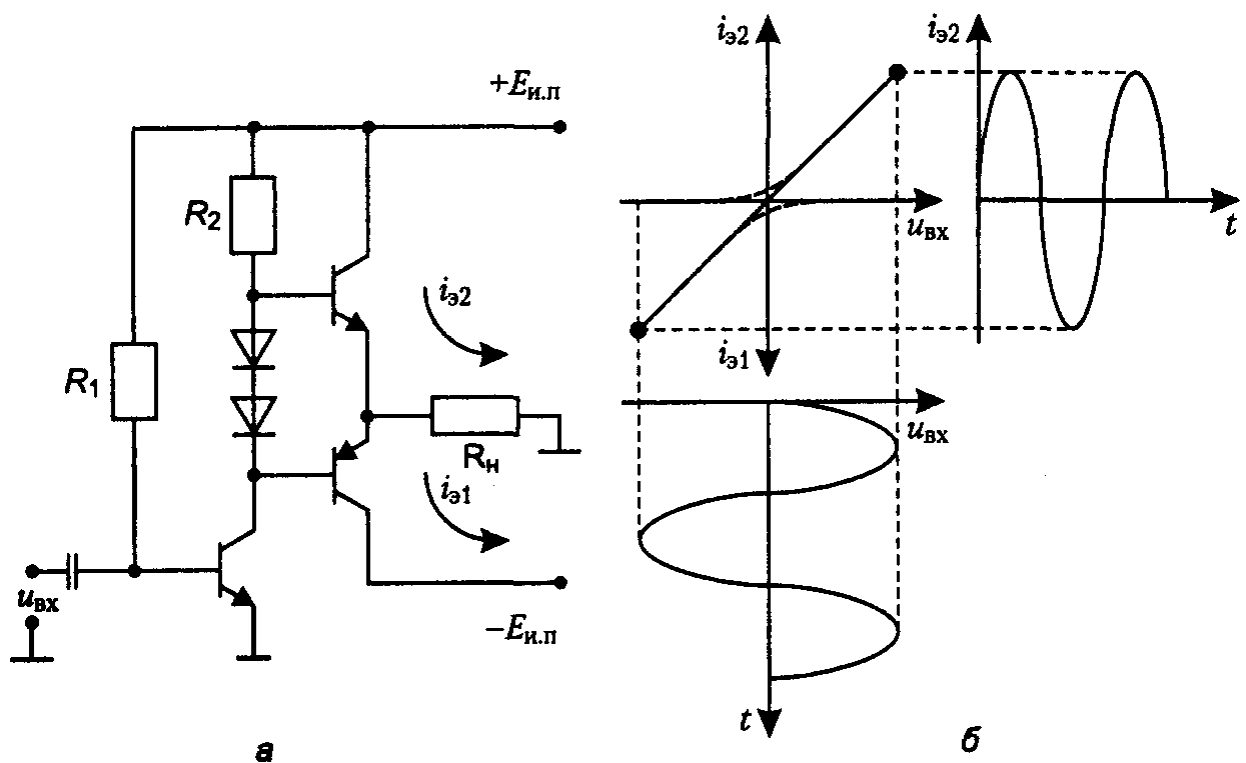


Рис. 85

Транзисторы типов $n-p-n$ и $p-n-p$, входящие в двухтактную схему, должны обладать одинаковыми параметрами. Вместе с тем, известно, что транзисторы $p-n-p$ имеют более низкий коэффициент передачи тока (3 по сравнению с транзисторами $n-p-n$). Поэтому в некоторых случаях вместо транзистора VT_2 типа $p-n-p$ используют составной транзистор типа $p-n-p$ с токоотводящим резистором.

В некоторых схемах применяется защита двухтактного выходного каскада от перегрузок. С этой целью в базовые цепи выходных транзисторов включают токозащитные транзисторы (рис. 86). Если ток, потребляемый нагрузкой, превышает допустимое значение, то возрастают напряжения на резисторах R_1 и R_2 и отпираются транзисторы VT_3 и VT_4 , что ведет к уменьшению токов базы транзисторов VT_1 и VT_2 и, как следствие, к уменьшению тока, отдаваемого в нагрузку.

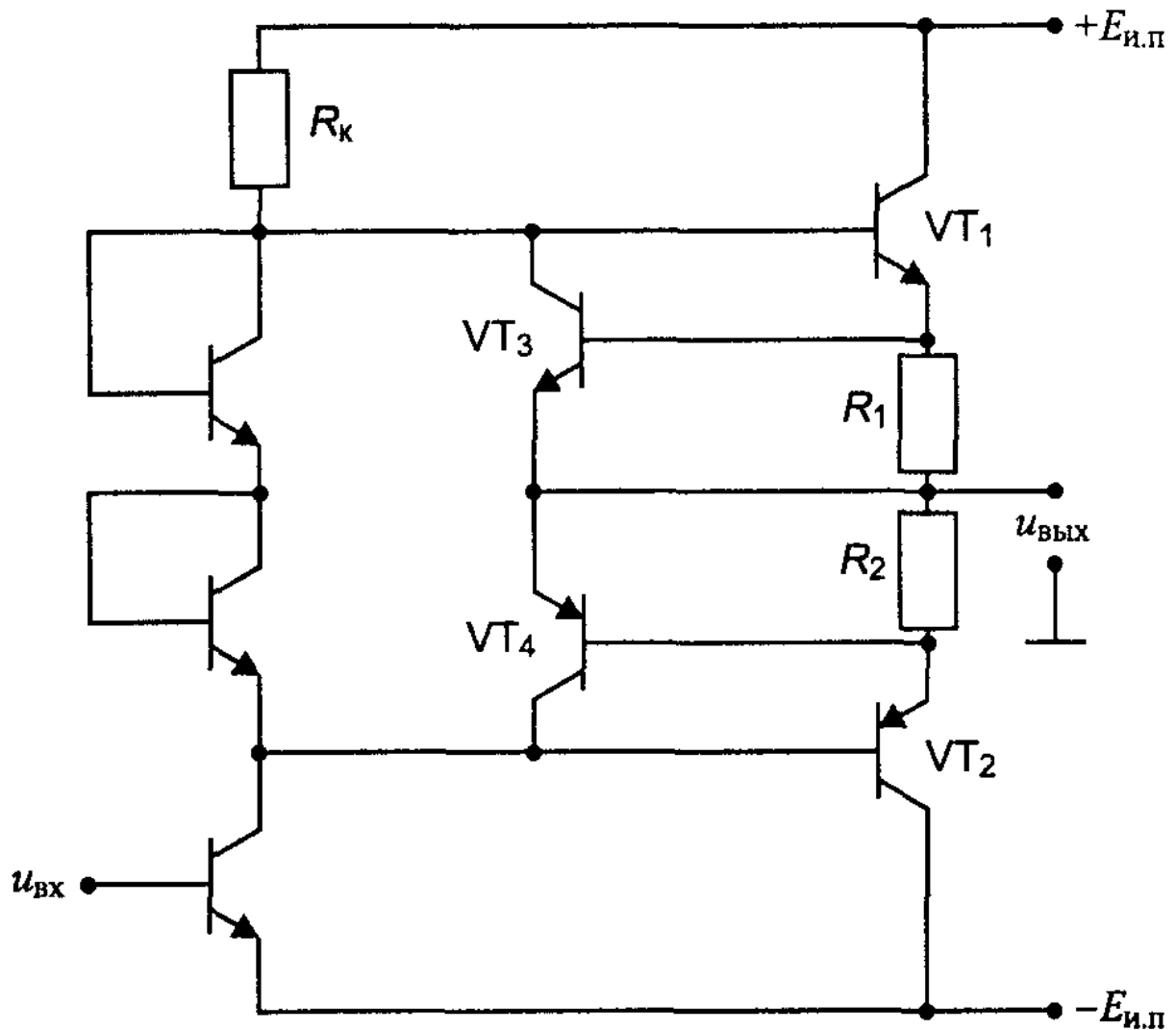


Рис. 86

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ КАСКАДЫ

Дифференциальный каскад (ДК) представляет собой мостовую схему, в плечах которой включены идентичные элементы (рис. 87).

В аналоговых интегральных микросхемах вследствие того, что все элементы создаются в едином технологическом процессе, практически обеспечивается идентичность резисторов и транзисторов. ДК питается от двухполярного источника питания $E_{\text{ип}}$ с заземленной средней точкой, что позволяет подавать сигналы непосредственно на базы транзисторов. Если входы транзисторов заземлены, то токи транзисторов одинаковы, и вследствие идентичности резисторов $R_{к1}$, и $R_{к2}$ напряжение на дифференциальном выходе $U_{\text{вых.д}}$ между коллекторами будет равно нулю. Если на входы схемы поданы сигналы одинаковые по величине и фазе, называемые синфазными, то токи обоих транзисторов будут изменяться на одинаковую величину, соответственно будут изменяться напряжения $U_{\text{вых1}}$ и $U_{\text{вых2}}$, а напряжение $U_{\text{вых.д}}$ по-прежнему будет сохраняться равным нулю. Если на входы схемы поданы одинаковые по величине, но сдвинутые по фазе на 180° сигналы, называемые дифференциальными, то возрастание тока в одном плече будет сопровождаться уменьшением тока в противоположном, вследствие чего появится напряжение на дифференциальном выходе. Таким образом, схема в идеальном случае реагирует на дифференциальный сигнал и не реагирует на синфазный. Изменение температуры, паразитные наводки, старение элементов, флуктуации параметров транзисторов можно рассматривать как синфазные входные воздействия. Следовательно, ДК обладает очень высокой устойчивостью работы и малочувствителен к помехам.

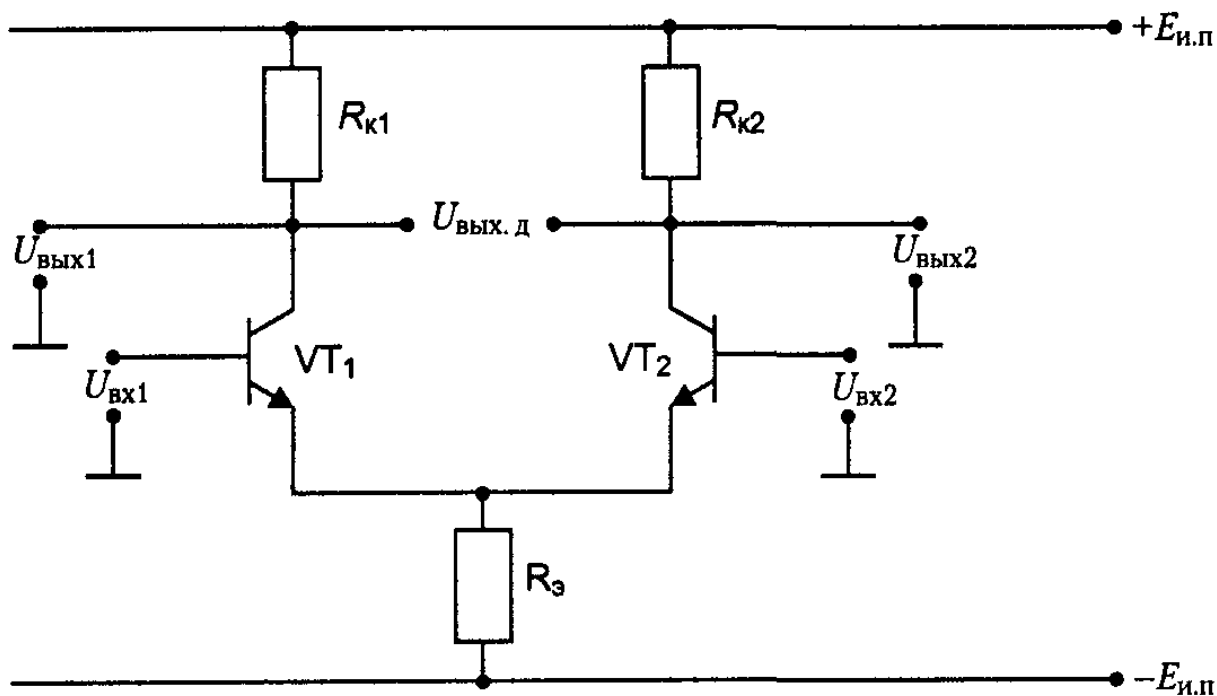


Рис. 87