

## Лекция № 9.

### **ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ (ДУ) НА БИПОЛЯРНЫХ И ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ**

#### План

1. Введение
2. Принцип действия, технические характеристики ДУ на биполярных транзисторах.
3. Особенности дифференциального и синфазного режимов в ДУ. ООС в ДУ.
4. Принцип действия, технические характеристики ДУ на полевых МОП-транзисторах.
5. ДУ в интегральной схемотехнике.
6. Теоретическое обобщение по теме.

#### **1. Введение**

Дифференциальный усилитель (ДУ) относится к разряду усилителей постоянного тока (УПТ). УПТ служат для усиления медленно меняющихся сигналов или сигналов, значение которых после изменения остается сколь угодно долго. Нижняя рабочая частота усилителя  $f_n = 0$ , а верхняя определяется назначением усилителя и условиями его работы.

УПТ широко применяются в измерительных устройствах, в системах автоматического регулирования, в различных стабилизаторах.

*Особенностью* УПТ является непосредственная (гальваническая) связь между каскадами. Это объясняется тем, что ни конденсатор, ни трансформатор не пропускают постоянную составляющую тока.

*Недостатком* УПТ является «дрейф нуля» – наличие сигнала на выходе при его отсутствии на входе. Любые медленные процессы, связанные с колебаниями температуры, напряжения питания, изменениями параметров всех активных и пассивных элементов схемы усилителя создают низкочастотные флуктуации практически на всех элементах схемы, в результате которых на

выходе и появляется какой-то уровень напряжения и его, в дальнейшем, трудно отличить от полезного сигнала. Самым эффективным методом борьбы с «*дрейфом нуля*» является использование *дифференциального усилителя*, структурная схема которого приведена на рис.9.1, а электрическая принципиальная — на рис.9.2.

Один из входов ДУ снабжён символом «О» (на рис.9.1 это  $U_{\text{вх1}}$ ), это означает, что вход инвертирующий, то есть фаза входного сигнала на выходе изменяется на противоположную. Второй вход ( $U_{\text{вх2}}$ ) неинвертирующий (без символа): фаза сигнала на выходе совпадает с фазой входного сигнала.

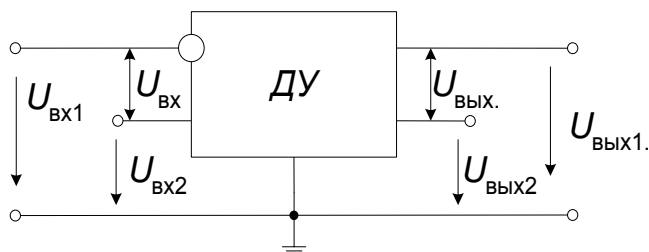


Рис.9.1.

Сигнал, который на рис.9.1 обозначен как « $U_{\text{вх}}$ », называется *дифференциальным*. Следовательно, *дифференциальный сигнал — это сигнал, который действует на входе ДУ и который равен разности сигналов, поступающих на входы*

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}}.$$

## *2. Принцип действия, технические характеристики ДУ на биполярных транзисторах.*

В основе ДУ лежит схема балансного усилителя, в которую заложен принцип сбалансированного моста (рис.9.2).

ДУ усиливает разницу между двумя сигналами, поступающими на базы транзисторов VT1 и VT2. Фактически ДУ представляет собой два совмещён-

ных каскада усиления. Выходное напряжение снимается между коллекторами  $VT1$  и  $VT2$ .

Схема, представленная на рис.9.2, называется симметричным ДУ: схема усиливает разницу сигналов  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$ , а на выходе снимается разница напряжений  $U_{вых1}$  и  $U_{вых2}$ . Если на входы ДУ поступают сигналы, совпадающие по фазе, то токи, протекающие через  $VT1$  и  $VT2$ , в идеально симметричной схеме одинаковы и равны

$$I_{к1} = I_{к2} = \frac{I_0}{2}$$

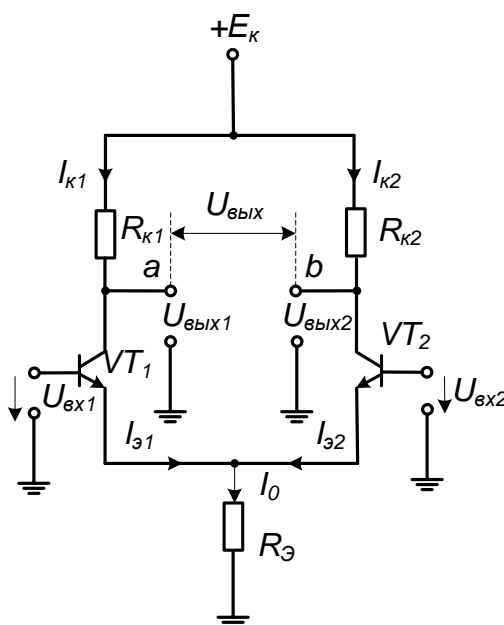


Рис.9.2

Схема ДУ на рис.9.2 напоминает схему переключателя тока (ПТ), но в ПТ транзисторы открывались поочерёдно, а в схеме ДУ транзисторы, работая в активном режиме, открыты всё время.

Ток в цепи резистора  $R_E$  должен быть строго постоянным. В дальнейшем анализ работы ДУ покажет, что в цепи эмиттеров целесообразнее использовать не резистор, а генератор стабильного тока (ГСТ), у которого очень большое внутреннее сопротивление.

При отсутствии входного сигнала потенциалы коллекторов будут одинаковы, и выходное напряжение будет равно нулю.

Если токи будут изменяться одинаково и одновременно в обеих ветвях схемы, то и в этом случае, если ДУ идеально симметричен, выходное напряжение будет равно нулю.

В зависимости от характера входного сигнала будет формироваться выходное напряжение. Различают два разных вида входных сигналов:

**1. Синфазный сигнал** – на базах обоих транзисторов действуют два напряжения, одинаковые по величине и совпадающие по фазе. Потенциалы баз транзисторов меняются одинаково, что вызовет одинаковые по величине изменения потенциалов коллекторов. Если схема ДУ абсолютно симметрична ( $R_{к1} = R_{к2}$ ), то напряжение на выходе ДУ будет равно нулю («дрейф нуля» отсутствует). В реальном ДУ любые изменения температуры, напряжения питания, появление помех, старение элементов приводят к появлению синфазного сигнала. Только при идеально симметричной схеме ДУ не произойдёт изменения напряжения на выходе в режиме дифференциального сигнала при наличии синфазного сигнала, и «дрейф нуля» на выходе полностью будет отсутствовать.

**2. Дифференциальный сигнал** – на базы  $VT1$  и  $VT2$  подаются два одинаковых по величине, но противоположных по фазе сигнала:

$$U_{ex1} = \frac{e_{диф}}{2}; \quad U_{ex2} = -\frac{e_{диф}}{2}.$$

Возрастание потенциала базы одного транзистора сопровождается одновременным уменьшением базы другого.

Таким образом, под воздействием входного дифференциального сигнала базовые токи транзисторов получают приращения  $\pm \Delta i_b$ : приращения тока  $i_{b1}$  будет положительным, а  $i_{b2}$  — отрицательным. Следовательно, происходят приращения токов коллектора и эмиттера ( $\pm \Delta i_k, \pm \Delta i_e$ ). В результате происходит одновременное возрастание потенциала коллектора одного транзистора ( $VT_2$ ) и уменьшение потенциала коллектора другого транзистора ( $VT_1$ ).

В этом случае:

$$U_{вых1} = E_k - (I_{к1} + \Delta I_{к1}) R_{к1} = E_k - (0,5I_0 + \Delta I_{к1}) R_{к1};$$

$$U_{\text{вых}2} = E_K - (I_{K2} - \Delta I_{K2}) R_{K2} = E_K - (0,5I_0 - \Delta I_{K2}) R_{K2}.$$

Выходное напряжение ДУ является разностью потенциалов между коллекторами транзисторов ( $U_{\text{вых}2} - U_{\text{вых}1}$ ), поэтому, при таком характере сигналов на входе, на выходе сигнал оказывается равным  $2|\Delta U_K|$ .

Таким образом, сигналы, действующие на входах, можно представить как сумму двух сигналов — *дифференциального и синфазного*.

$$U_{\text{вх}1} = U_{\text{синф}} + \frac{U_{\text{диф}}}{2}; \quad U_{\text{вх}2} = U_{\text{синф}} - \frac{U_{\text{диф}}}{2}.$$

*Рабочим режимом для ДУ является режим дифференциального сигнала, и из уравнений, приведённых выше, имеем:*

для дифференциального сигнала

$$U_{\text{диф}} = U_{\text{вх}2} - U_{\text{вх}1} \quad (9.1)$$

для синфазного сигнала

$$U_{\text{синф}} = \frac{U_{\text{вх}1} + U_{\text{вх}2}}{2} \quad (9.2)$$

Важными параметрами для ДУ являются:

### 1. *Коэффициент усиления дифференциального сигнала*

$$K_{\text{диф}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{диф}}}.$$

Схема замещения входных цепей ДУ *для дифференциального сигнала* показана на рис.9.3.

Напряжения, действующие на входах:

$$U_{\text{вх}1} = \frac{e_{\text{диф}}}{2}; \quad U_{\text{вх}2} = -\frac{e_{\text{диф}}}{2}.$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа имеем

$$I_{\text{э}1} + I_{\text{э}2} = I_0.$$

В случае полной симметрии схемы ДУ токи эмиттеров  $VT_1$  и  $VT_2$  будут равны  $I_{\text{э}1} = -I_{\text{э}2} = \frac{e_{\text{диф}}}{r_{\text{э}}}$ , где  $r_{\text{э}}$  — сопротивление эмиттерного перехода.

Ток эмиттера и ток коллектора связаны статическим коэффициентом передачи « $\alpha$ ». Напряжения на выходе каждого плеча схемы:

$$U_{вых1} = -I_{к1} R_{к1} = -\alpha I_{э1} R_{к1} = -\alpha \frac{e \partial \varphi}{2 r_{э1}} R_{к1}, \text{ где}$$

$$I_{э} = \frac{e \partial \varphi}{2 r_{э}}.$$

$$U_{вых2} = I_{к2} R_{к2} = \alpha I_{э2} R_{к2} = \alpha \frac{e \partial \varphi}{2 r_{э2}} R_{к2}.$$

Напряжение на выходе ДУ (в точках «аб» на рис.9.2).

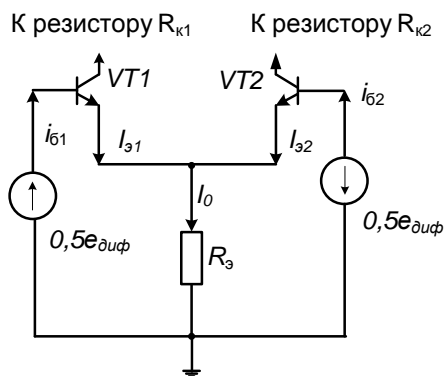


Рис.9.3.

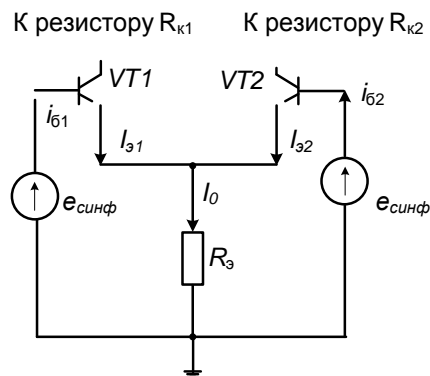


Рис.9.4.

*И, окончательно, коэффициент усиления дифференциального сигнала в схеме ДУ будет равен*

$$K_{диф} = \frac{U_{вых}}{U_{диф}} = \alpha \frac{R_{к}}{r_{э}}.$$

Чем меньше сопротивление эмиттерного перехода, тем больше коэффициент усиления дифференциального сигнала.

## 2. Коэффициент усиления синфазного сигнала

$$K_{\text{синф}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{синф}}}.$$

Схема замещения входных цепей ДУ *для синфазного сигнала* дана на рис.9.4.

Для левой и правой ветви схемы будет справедливо уравнение

$$I_{\text{э}} = \frac{e_{\text{синф}}}{r_{\text{э}} + 2R_{\text{э}}} \approx \frac{e_{\text{синф}}}{2R_{\text{э}}}.$$

Сопротивлением эмиттерного перехода мы пренебрегли, так как по сравнению с сопротивлением резистора  $R_{\text{э}}$  оно мало.

В режиме синфазного сигнала при полной симметрии схемы выходные напряжения  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$  будут равны

$$U_{\text{вых1}} = U_{\text{вых2}} = -\alpha \frac{R_{\text{к}}}{2R_{\text{э}}} e_{\text{синф}}.$$

И, окончательно, коэффициент усиления синфазного сигнала в схеме ДУ будет равен

$$K_{\text{синф1}} = K_{\text{синф2}} = \frac{U_{\text{вых}}}{e_{\text{синф}}} = -\alpha \frac{R_{\text{к}}}{2R_{\text{э}}}.$$

Из этого уравнения ясно, что чем больше сопротивление резистора  $R_{\text{э}}$ , тем меньше коэффициент усиления синфазного сигнала.

**3. Коэффициент ослабления синфазного сигнала.** Пожалуй, это главный параметр ДУ, *потому что синфазный сигнал — это сигнал помех.*

Коэффициент ослабления синфазного сигнала показывает во сколько раз коэффициент усиления дифференциального сигнала больше коэффициента синфазного сигнала

$$K_{\text{осл}} = \frac{K_{\text{диф}}}{K_{\text{синф}}},$$

$$K_{\text{осл}} = \frac{K_{\text{диф}}}{K_{\text{синф}}} = \frac{R_{\text{э}}}{r_{\text{э}}}.$$

В случае идеального симметричного усилителя уровень синфазного сигнала на выходе равен нулю. Но в реальных схемах ДУ «*дрейф нуля*» всегда имеет место, так как добиться полной симметрии плеч невозможно. *Диффе-*

*ренциальные усилители*, схемы которых можно отнести к усилителям *самого высокого качества*, имеют *коэффициент подавления синфазного сигнала около  $10^4 \dots 10^5$* . Коэффициент подавления синфазного сигнала выражают обычно в децибелах.

**4. Входное сопротивление ДУ в режиме дифференциального сигнала** равняется удвоенному входному сопротивлению каждого плеча

$$r_{вх.диф} = 2[(\beta + 1)r_{э} + r_{б}]$$

Если  $\beta = 50$ ,  $r_{б} = 150$  Ом;  $r_{э} = 30$  Ом.

Тогда  $r_{вх} = 3,36$  кОм.

*Сопротивление  $r_{э}$  обратно пропорционально току покоя  $I_{эп}$ , поэтому, для увеличения входного сопротивления целесообразно использовать ДУ в режиме малых токов — в микрорежиме.* Кроме того, целесообразно использовать транзисторы с высоким « $\beta$ » (например, составные транзисторы, рис.9.5).

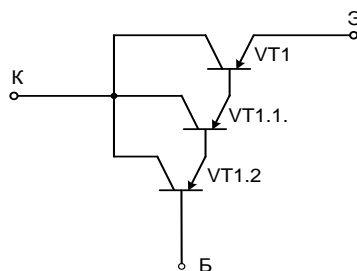


Рис.9.5.

Коэффициент передачи тока базы такой схемы равен произведению коэффициентов трёх транзисторов  $\beta_{общ} = \beta_1 \beta_2 \beta_3$

*Например:*

$$I_{э} = 50 \text{ мкА}, \beta = 1500, r_{б} = 150 \text{ Ом}; r_{э} = \frac{\varphi_t}{I_{э}} = 0,5 \text{ кОм}$$

Тогда,  $r_{вх} \approx 1,5$  Мом

Применение составного транзистора, кроме увеличения входного сопротивления, вызывает уменьшение входного тока, что немаловажно при использовании схемы ДУ в интегральном исполнении.



5. *Входное сопротивление для синфазной составляющей сигнала* определяется сопротивлением цепи эмиттера  $R_э$ .

$$r_{вх.синф} = (\beta + 1) R_э$$

Так как сопротивлением цепи эмиттера  $R_э$  намного *больше* сопротивления  $r_э$ , то

$$r_{вх.синф} \gg r_{вх.диф}$$

**Вывод.** Входные сопротивления ДУ зависят от параметров транзистора, от сопротивления генератора стабильного тока.

### 3. Особенности дифференциального и синфазного режимов в схеме ДУ. ООС в ДУ.

Важной особенностью ДУ является тот факт, что режим его работы при усилении дифференциального и синфазного сигналов различен:

1. *Если на входе ДУ действует дифференциальный сигнал*, то возрастание тока через один из транзисторов (рис.9.2) сопровождается уменьшением тока через другой, в результате ток через резистор  $R_э$  остается неизменным. Следовательно, в режиме дифференциального сигнала ООС отсутствует и резистор  $R_э$  не влияет на коэффициент усиления ДУ в целом.

2. *Если на входе действует синфазный сигнал*, то на резисторе ( $R_э$ ) в цепи эмиттеров VT1 и VT2 по переменной составляющей создается падение напряжения:

$$I_{э1} + I_{э2} = 2I_{э};$$

$$U_{э} = 2I_{э} R_э.$$

Это напряжение является напряжением отрицательной обратной связи, то есть *усиление синфазного сигнала происходит при наличии отрицательной обратной связи и чем она глубже, тем меньше коэффициент усиления синфазного сигнала.*

Таким образом, *важной особенностью ДУ является тот факт, что он усиливает дифференциальный (рабочий) сигнал, а синфазный ослабляет.*

*Чем глубже ООС, тем сильнее ослабляется синфазный сигнал.*

Увеличить ООС можно увеличением сопротивления резистора  $R_э$ .

*К сожалению*, увеличение  $R_э$  не всегда целесообразно: увеличивается мощность, рассеиваемая на нем, увеличивается падение напряжения на эмиттерах транзисторов, а в интегральном исполнении схемы ДУ степень интеграции интегральной схемы снижается: активные элементы занимают много места на кристалле ИС.

С учетом названных недостатков в современных схемах ДУ используют дифференциальное сопротивление дополняющего транзистора  $VT_3$  (рис.9.6). В пределах пологого участка вольтамперных характеристик биполярного транзистора большим изменениям напряжения соответствуют незначительные изменения тока, что говорит о большом дифференциальном сопротивлении дополняющего транзистора  $VT_3$ , ток базы которого задается с помощью резистора  $R_{65}$ . Следовательно, схему на транзисторе  $VT_3$  можно рассматривать как генератор тока, сопротивление которого очень большое.

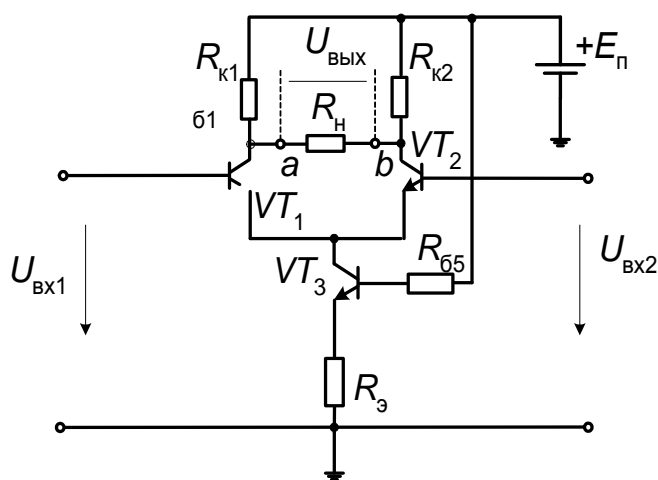


Рис.9.6

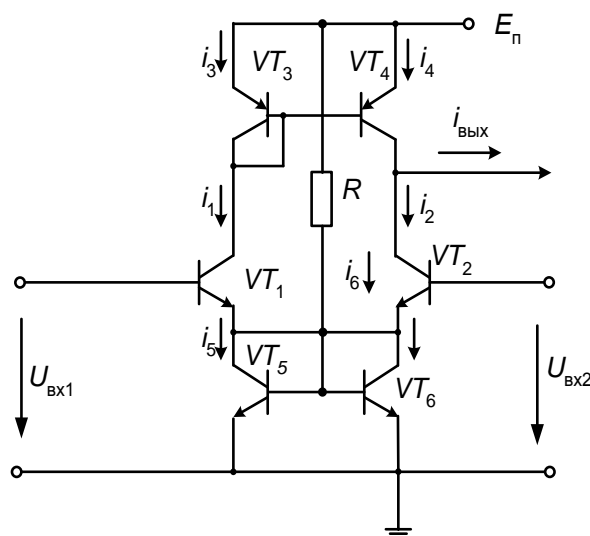


Рис.9.7.

В этом случае коэффициент ослабления синфазного сигнала

$$K_{осл} = \frac{K_{диф}}{K_{синф}} = \frac{r_э}{r_э}.$$

Таким образом, за счёт сопротивления генератора удаётся значительно ослабить действие синфазного сигнала.

В современных схемах ДУ в качестве нагрузки в коллекторных цепях и источника тока в эмиттерных цепях используются *токовые зеркала*. В качестве примера схемы ДУ с генератором тока в виде токового зеркала приведена схема на рис.9.7. *Анализа схемы на рис.9.7. не дано: схема приведена только в качестве примера. О токовых зеркалах смотри в лекции 7.*

#### 4. Принцип действия, технические характеристики ДУ на полевых МОП-транзисторах.

На рис.9.8. представлена схема ДУ на МОП-транзисторах с индуцированным  $n$ -каналом. Основное отличие режимов входных цепей ДУ на биполярных и полевых МОП-транзисторах является то, что входные цепи МОП-транзисторов не потребляют токов.

Подробный анализ работы схемы ДУ был проделан на примере схемы ДУ на биполярных транзисторах, поэтому в данном случае остановимся только на особенностях работы ДУ с использованием полевых транзисторов.

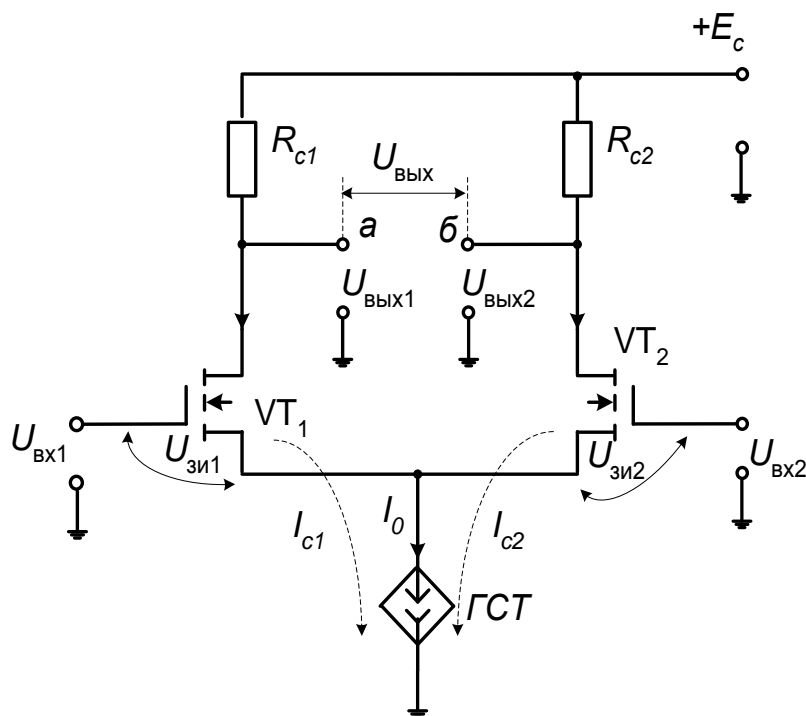


Рис.9.8.

Схемы замещения входных цепей для дифференциального и синфазного сигналов даны на рис. 9.9 и 9.10 соответственно.

1. Рабочая точка для обоих транзисторов задаётся генератором стабильного тока. В современных разработках схем ДУ в качестве ГСТ используются «*токовые зеркала*» (рис.9.7).

*Примечание. Информацию о токовых зеркалах смотрите в лекции 7.*

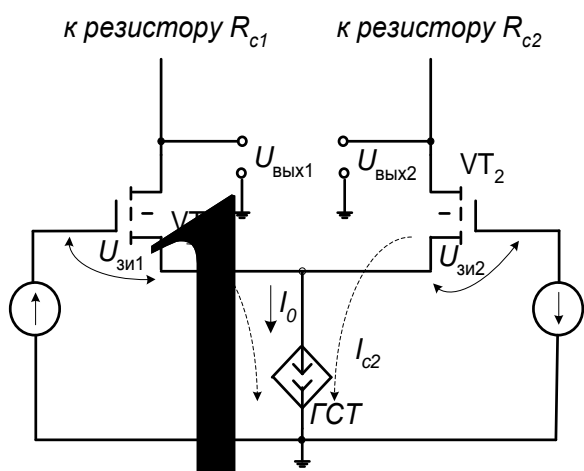


Рис.9.9.

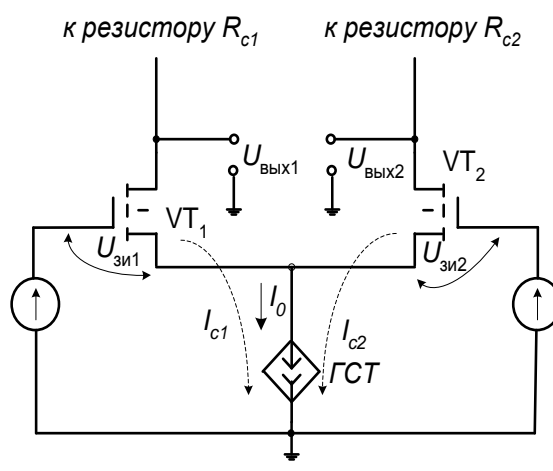


Рис.9.10

2. В соответствии с первым законом Кирхгофа  $I_{c1} + I_{c2} = I_0$ .

Считаем схему ДУ (рис.9.8) симметричной:  $R_{c1} = R_{c2}$ ;  $I_{c1} = I_{c2} = 0,5 I_0$ ;  $U_{зи1} = U_{вх1}$ ;  $U_{зи2} = U_{вх2}$ ;  $U_{зи1} = U_{зи2}$ .

3. Выходные напряжения:

$$U_{вых1} = E_c - I_{c1} R_{c1};$$

$$U_{вых2} = E_c - I_{c2} R_{c2}.$$

Так как схема ДУ симметрична, то усиления синфазного сигнала не происходит: при действии синфазного сигнала напряжения на обоих входах изменяются на одну и ту же величину, при этом токи в каждой ветви схемы остаются без изменения. Следовательно, выходные напряжения также останутся без изменения:

Таким образом, полное подавление синфазного сигнала происходит в том случае, если ток генератора стабильного тока делится поровну между левой и правой ветвями схемы ДУ.

4. Если на входе ДУ дифференциальный сигнал получил приращение  $\pm \Delta U_{\text{зи}}$ , то и токи  $I_{c1}$  и  $I_{c2}$  изменятся:

$$I_{c1} = 0,5 I_0 + \Delta I_{c1};$$

$$I_{c2} = 0,5 I_0 - \Delta I_{c2}.$$

Сумма же этих токов остаётся неизменной и равняется току ГСТ ( $I_0$ )

$$I_{c1} + I_{c2} = I_0.$$

Те же переменные произойдут и с напряжениями на выходе  $U_{\text{вых1}}$  и  $U_{\text{вых2}}$ :

$$U_{\text{вых1}} = E_c - (0,5 I_0 + \Delta I_{c1}) R_{c1};$$

$$U_{\text{вых2}} = E_c - (0,5 I_0 - \Delta I_{c2}) R_{c2}.$$

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых2}} - U_{\text{вых1}}.$$

Таким образом, схема ДУ усиливает только дифференциальные составляющие сигнала.

*Коэффициент усиления дифференциального сигнала (рис.9.9).*

Переменные составляющие тока стока

$$i_{c1} = -i_{c2} = S \frac{e_{\text{диф}}}{2}.$$

Коэффициент усиления по напряжению каждого плеча схемы ДУ

$$U_{\text{вых1}} = i_{c1} R_c = -S R_c \frac{e_{\text{диф}}}{2},$$

$$U_{\text{вых2}} = i_{c2} R_c = -S R_c \frac{e_{\text{диф}}}{2}.$$

Коэффициент усиления ДУ

$$K = 2 S R_c \frac{e_{\text{диф}}}{2} = S R_c.$$

*Коэффициент усиления синфазного сигнала*

При действии синфазного сигнала оба входа ДУ оказываются под одним потенциалом ( $U_{\text{зи1}} = U_{\text{зи2}}$ ). Токи  $i_{c1}$  и  $i_{c2}$  равны и имеют одно направление  $i_{c1} = i_{c2} = 2 S U_{\text{зи}}$ .

$U_{\text{зи}} = e_{\text{синф}} - i_c r_{\Gamma} = e_{\text{синф}} - 2 S U_{\text{зи}} r_{\Gamma}$ , отсюда определим напряжение  $U_{\text{зи}}$

$U_{зи} = \frac{e_{сиф}}{1 + 2Sr_2} \approx \frac{e_{сиф}}{2Sr_Г}$ , где  $r_Г$  — сопротивление генератора стабильного тока (ГСТ).

Выходные напряжения в режиме синфазного сигнала

$$U_{вых1} = U_{вых2} = SR_c U_{зи} \approx \frac{R_c}{2r_Г} e_{сиф}.$$

*Определим коэффициент усиления синфазного сигнала с несимметричного выхода*

$$K_{сиф} = \frac{R_{c1}}{2r_Г}.$$

Сопротивление генератора тока гораздо больше сопротивления резистора  $R_c$ , следовательно, коэффициент усиления синфазного сигнала мал.

В случае, если сигнал снимаем с симметричного выхода при идеальной симметрии, то

$$U_{вых} = U_{вых1} - U_{вых2} = 0.$$

*Коэффициент ослабления синфазного сигнала (рис.10)*

$$K_{осл} = \frac{K_{диф}}{K_{сиф}} = \frac{Sr_Г}{2}.$$

В идеально симметричном ДУ коэффициент ослабления синфазного сигнала равен бесконечности.

Входное сопротивление ДУ, выполненного на полевых МОП-транзисторах значительно больше, чем у ДУ на биполярных транзисторах

## **5. ДУ в интегральной схемотехнике.**

Дифференциальные усилители на биполярных и полевых транзисторах являются важными функциональными узлами аналоговых интегральных схем: все элементы ДУ в интегральном исполнении расположены в непосредственной близости друг к другу, что обеспечивает идентичность их параметров.

## **6. Теоретическое обобщение по теме.**

Если у ДУ на биполярных транзисторах главная составляющая напряжения  $U_{см}$  обусловлена разбросом тепловых токов эмиттера, то у ДУ на МОП-транзисторах главная составляющая напряжения  $U_{см}$  обусловлена разбросом пороговых напряжений и удельной крутизны. Причём дело не только в зависимости параметров от геометрии и электрофизических свойств кристалла,

но и от состояния поверхности кристалла, которое контролировать весьма не просто. Поэтому значения напряжения  $U_{см}$  у ДУ на МОП-транзисторах получаются больше, чем у биполярных ДУ.

### *Контрольные вопросы*

1. Какая разница между симметричным и несимметричным ДУ?
2. Какие недостатки несимметричных схем ДУ Вы знаете?
3. Какие преимущества имеет ДУ перед обычным каскадом усилителя?
4. С какой целью схема ДУ усложняется заменой обычного резистора в цепи эмиттеров генератором стабильного тока (ГСТ)?
5. Оцените падение напряжения по постоянной составляющей тока на внутреннем сопротивлении транзистора в схеме ГСТ.
6. Дифференциальное сопротивление транзистора в схеме ГСТ составляет примерно около 10 МОм. Объясните, почему считают нерациональной замену сложной схемы ГСТ на обычный резистор того же номинала?
7. Почему в схеме ДУ режимы при усилении дифференциального и синфазного сигналов принципиально отличаются?
8. Как будет зависеть коэффициент усиления синфазного сигнала от величины сопротивления  $R_3$ , включенного в схему ДУ (рис.3.2) вместо ГСТ.
9. На крутом или пологом участке ВАХ работает транзистор  $VT_3$  в ГСТ? (рис.3.5)?
10. Зависит ли дифференциальное сопротивление  $VT_3$  (рис.3.5) от положения его рабочей точки (РТ) на ВАХ?
11. Какими элементами схемы задаются РТ на ВАХ всех транзисторов в схеме ДУ?
12. В режиме дифференциального или синфазного сигнала в схеме ДУ действует отрицательная обратная связь (ООС)?
13. Для какого режима действие ООС играет благоприятную роль?
14. От каких факторов зависит величина коэффициента подавления синфазного сигнала?
15. Где применяются схемы несимметричных ДУ?