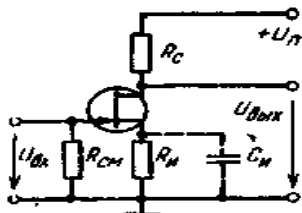


Билет №19

1. Простейшие усилители на МДП транзисторах

При построении аналоговых усилителей на полевых транзисторах наибольшее распространение получила схема каскада с общим истоком. При этом в ней, как правило, применяются либо полевые транзисторы с управляющим р-п-переходом, либо МДП-транзисторы со встроенным каналом.

Типовая схема усилителя на МДП транзисторе со встроенным каналом:



В этой схеме, изменяя напряжение источника смещения $E_{см}$, можно обеспечить работу в любом из классов усиления. Однако наиболее часто эта схема используется в режиме класса А при построении входных каскадов усилителей. Объясняется это следующими преимуществами полевого транзистора перед биполярным:

- большее входное сопротивление, что упрощает его согласование с высокоомным источником сигнала;
- как правило, меньший коэффициент шума, что делает его более предпочтительным при усилении слабых сигналов;
- большая собственная температурная стабильность режимов покоя.

Вместе с тем каскады на полевых транзисторах обычно обеспечивают получение меньшего коэффициента усиления по напряжению.

Для задания режима по постоянному току на практике широко используется введение в каскад последовательной ООС по току нагрузки. Особенностью схемы является подключение параллельно входным выводам каскада дополнительного резистора $R_{см}$. Этот резистор обеспечивает гальваническую связь затвора с общей шиной, что необходимо для замыкания цепи смещения. Кроме этого он стабилизирует входное сопротивление каскада. Сопротивление этого резистора $R_{см}$ выбирается меньше собственного входного сопротивления транзистора.

Схема замещения каскада по постоянному току:

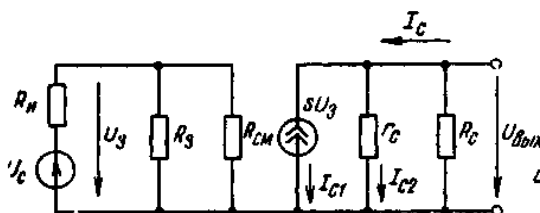
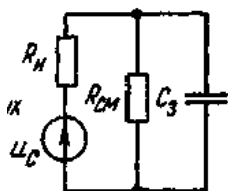


Схема замещения каскада по переменному току:



Определим коэффициент усиления каскада по напряжению. Согласно приведенной схеме замещения для тока стока можно записать следующее выражение:

$$I_c = sU_3 + U_{вых}/r_c,$$

где r_c — дифференциальное выходное сопротивление транзистора.

Для расчета r_c при работе транзистора на пологой части его передаточной характеристики можно воспользоваться выражением:

$$r_c = dU_c/dI_c = r_{c1} I_{c1}/I_c,$$

где r_{c1} — дифференциальное сопротивление для тока I_{c1} .

В этом случае для выходного напряжения каскада можно записать выражение:

$$U_{вых} = I_c R_c = R_c (sU_3 + U_{вых}/r_c)$$

Учитывая, что каскад является инвертирующим, т. е. увеличение тока стока приводит к уменьшению выходного напряжения, для модуля коэффициента усиления каскада можно записать:

$$K_{U\kappa} = U_{вых}/U_3 = r_c R_c s U_3 / (r_c + R_c) U_3 = r_c R_c s / (r_c + R_c)$$

Обычно в каскадах выполняется условие $r_c \gg R_c$. Тогда предыдущее выражение примет более простой вид:

$$K_{U\kappa} = s R_c$$

Для определения входного и выходного сопротивлений каскада можно записать выражения:

$$R_{вх} = R_{см} R_3 / (R_{вх} + R_3) \approx R_{см}$$

$$R_{вых} = R_c r_c / (R_c + r_c) \approx R_c.$$

Задание смещения рабочей точки введением резистора $R_{и}$ уменьшает коэффициент усиления каскада. Для коэффициента передачи цепи ООС можно записать:

$$b_{ОС} = U_{ОС}/U_{вых} = I_c R_{и} / I_c R_c = R_{и} / R_c.$$

Тогда, используя основное выражение для усилителя с цепью ООС, получим:

$$K_{U\kappa\text{ ООС}} = K_{U0} / (1 + K_{U0} b_{ОС}) = s R_c / (1 + s R_c R_{и} / R_c) = s R_c / (1 + s R_{и})$$

При расчете каскада требуемое сопротивление $R_{и}$ легко найти по заданному току $I_{сп}$. Для этого по передаточной характеристике транзистора, задавшись $I_c = I_{сп}$, находят требуемое напряжение $U_{зи\text{ п}}$. Так как ток затвора практически равен нулю, то падение напряжения на резисторе $R_{см}$ отсутствует и требуемое сопротивление резистора $R_{и}$ можно найти из выражения:

$$R_{и} = U_{зи\text{ п}} / I_{сп}$$

Частотные свойства каскада полностью определяются собственными свойствами прибора. При этом основную роль в их формировании играет входная емкость транзистора $C_{вх}$. Емкость этого конденсатора при заданной минимальной частоте входного сигнала может быть рассчитана из условия:

$$1/C_{и} \omega_{н} \ll R_{и}$$

С учетом найденного выше коэффициента усиления передаточная функция всего каскада будет иметь вид:

$$K_{U\kappa}(p) = K_{с} s R_c / (T p + 1), \quad (6.33)$$

где $K_{с} = R_{см} / (R_{и} + R_{см})$ — коэффициент передачи входного делителя по постоянному току; $T = C_{вх} R_{и} R_{см} / (R_{и} + R_{см})$ — постоянная времени входной цепи; $C_{вх} = C_{зп} (1 + K_{У0})$ — эквивалентная входная емкость транзистора.

2. Операционные усилители. Основные параметры и характеристики ОУ.

Общие сведения и характеристики.

В настоящее время разработано большое число АИС (аналоговых интегральных схем) как общего, так и специального назначения: АИС усилителей постоянного тока (операционных усилителей), схем сравнения (компараторов), источников питания (непрерывных стабилизаторов напряжения). Специализированные АИС, предназначенные для построения бытовой аппаратуры: для звуковоспроизводящей и радиоприемной аппаратуры, и аппаратуры магнитной записи. Основой большинства из них является схемотехника дифференциального усилителя постоянного тока. Дифференциальный усилитель в настоящее время является основным схемотехническим

элементом современной интегральной аналоговой электроники и наиболее массовым типом АИС.

Операционный усилитель (ОУ) — унифицированный многокаскадный усилитель постоянного тока, удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам (на практике ни одно из перечисленных требований не может быть удовлетворено полностью):

- коэффициент усиления по напряжению K_U стремится к бесконечности ($K_U \rightarrow \infty$);
- входное сопротивление стремится к бесконечности ($R_{\hat{A}\hat{O}} \rightarrow \infty$);
- выходное сопротивление стремится к нулю ($R_{\hat{A}\hat{O}\hat{O}} \rightarrow 0$);
- если входное напряжение равно нулю, то выходное напряжение также равно нулю ($U_{\hat{A}\hat{O}} = 0 \rightarrow U_{\hat{A}\hat{O}\hat{O}} = 0$);
- бесконечная полоса усиливаемых частот ($f_{\hat{A}} \rightarrow \infty$).

Достоверность допущений об идеальности свойств в каждом конкретном случае подтверждается сопоставлением реальных параметров ОУ и требований к разрабатываемым электронным средствам (ЭС). Так, если требуется разработать усилитель с коэф.усил. 10, то стандартный ОУ с коэф.усил. 25000 можно рассматривать как идеальный. История названия ОУ связана с использованием в аналоговой вычислительной технике для реализации математических операций: суммирования, интегрирования и др. В настоящее время эти функции составляют лишь малую часть списка возможных применений ОУ.

Являясь идеальным усилительным элементом, ОУ составляет основу всей аналоговой электроники в результате достижений микроэлектроники, позволившей реализовать сложную структуру ОУ в интегральном исполнении на одном кристалле и наладить массовый выпуск. Все это позволяет рассматривать ОУ в качестве простейшего элемента электронных схем подобно диоду, транзистору и т. п.

Основные параметры операционных усилителей.

Коэффициент усиления по напряжению

$$\hat{E}_{U0} = \frac{\Delta U_{\hat{A}\hat{O}\hat{O}}}{\Delta U_{\hat{A}\hat{O}}} \text{ характеризует способность ОУ}$$

усилить подаваемый на его входы дифференциальный сигнал. Типовое значение до $10^5 \dots 10^6$ или 100...120 дБ.

Входное напряжение смещения — это напряжение, обусловленное неидентичностью напряжений эмиттерных переходов транзисторов входного дифференциального усилителя. Наличие этого напряжения приводит к нарушению условия

$U_{\hat{A}\hat{O}} = 0 \rightarrow U_{\hat{A}\hat{O}\hat{O}} = 0$. Численно определяется как напряжение, которое необходимо приложить ко входу усилителя, чтобы его выходное напряжение было равно нулю. Иногда это напряжение называют напряжением сдвига нуля (U_{CM}). Типовое значение этого напряжения единицы — десятки милливольт.

Входной ток I_{BX} (входной ток смещения) — ток, протекающий во входных выводах ОУ и необходимый для обеспечения требуемого режима работы его транзисторов по постоянному току. Типовое значение этого тока единицы микроампер — сотни наноампер.

Разность входных токов ΔI_{BX} (ток сдвига). Природа этого тока кроется, в основном, в неодинаковости коэффициентов передачи тока $h_{21Э}$ транзисторов входного

каскада ОУ. Численно он равен модулю разности входных токов усилителя $\Delta I = |I_{\hat{A}\hat{O}1} - I_{\hat{A}\hat{O}2}|$. Типовое значение параметра — от единиц микроампер до единиц и десятых долей наноампера.

Входное сопротивление R_{BX} . Различают

дифференциальное $R_{BX\text{диф}}$ и синфазное $R_{BX\text{син}}$. $R_{BX\text{диф}}$ определяется как сопротивление между входами усилителя, а $R_{BX\text{син}}$ — как сопротивление между объединенными входными выводами и нулевой шиной.

Повышают входное сопротивление дифференц. усилителя снижением базовых токов покоя транзисторов VT1 и VT2 (см. рис. 7.3) до малых значений (единицы наноампер), но это ухудшает работу дифференц. усилителя из-за уменьшения его динамического диапазона (выраженного в децибелах отношения максимального сигнала к минимальному). Для предотвращения этого в качестве VT1 и VT2 применяют супербета транзисторы, отличающиеся большими коэффициентами усиления по току (единицы тысяч) за счет использования в них предельно тонкой базы. Однако применение таких транзисторов усложняет задачу стабилизации дифференциального усилителя. Поэтому в ряде случаев повышение входного сопротивления ОУ достигается использованием в его входном канале полевых транзисторов. Типовое значение входного сопротивления — сотни килоом.

Выходное сопротивление $R_{вых}$ — это сопротивление усилителя, рассматриваемого как эквивалентный генератор.

Типовое значение выходного сопротивления — сотни ом. **Коэффициент подавления синфазного сигнала $K_{п.сф}$** определяет степень подавления (ослабления) синфазной составляющей входного сигнала. Его типовое значение — 50...70 дБ.

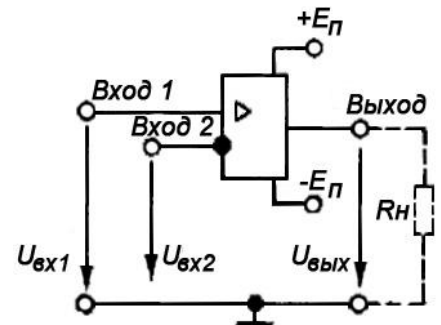
Максимальная скорость изменения выходного напряжения (V)

характеризует частотные свойства усилителя при

его работе в импульсных схемах; измеряется при подаче на вход ОУ напряжения ступенчатой формы. Типовое значение скорости изменения выходного напряжения — единицы вольт/микросекунд.

Частота единичного усиления F_{max} — это частота, на которой модуль коэффициента усиления ОУ равен единице. Обычно эта частота не превышает нескольких мегагерц. Кроме перечисленных обычно задаются и предельно допустимые значения основных эксплуатационных параметров:

- максимально допустимое напряжение питания;
 - максимально допустимый выходной ток;
 - диапазон рабочих температур;
 - максимально допустимая рассеиваемая мощность;
 - максимально допустимое входное синфазное напряжение;
 - макс. допуст. входное дифференц. напряжение и др
- Перечисленные параметры сильно зависят от условий эксплуатации. Эти зависимости обычно задаются графически.



3. Транзисторная логика с непосредственными связями. Эмиттерно-связанная логика.

Транзисторная Логика с Непосредственными Связями(ТЛНС)

Основанная Идея ТЛНС заключается в

Суммировании(вычитании) проводимости(сопротивления) в
вых. цепях полупроводниковых цифровых ключах в
зависимости от двоичных кодов во входных цепях.

Простейшие ТЛНС
схемы

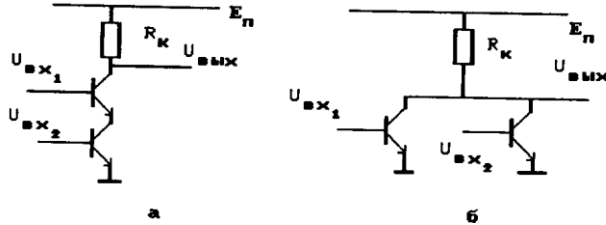


рис. 10.28. Транзисторная логика с непосредственными
связями "И-НЕ" (а) и "ИЛИ-НЕ" (б).

В ТЛНС выходное напряжение,

$$U_{\text{вых}} = \frac{E_n R^*}{R_k + R^*},$$

где

$$R^* = R_{k \text{ э}1}(U_{\text{вх}1}) + R_{k \text{ э}2}(U_{\text{вх}2}) + \dots + R_{k \text{ э}i}(U_{\text{вх}i})$$

для схемы "И-НЕ" и

$$R^* = R_{k \text{ э}1}(U_{\text{вх}1}) \parallel R_{k \text{ э}2}(U_{\text{вх}2}) \parallel \dots \parallel R_{k \text{ э}i}(U_{\text{вх}i}) =$$

$$g_{k \text{ э}1}(U_{\text{вх}1}) + g_{k \text{ э}2}(U_{\text{вх}2}) + \dots + g_{k \text{ э}i}(U_{\text{вх}i}).$$

для схем "ИЛИ-НЕ".

Стат.характеристики

1. Вх. характеристика

-схема ИЛИ-НЕ входная характеристика совпадает с вх.
характер. простейшего ключа

-схема И-НЕ. Напряжение отпирания (пороговое

напряжение) транзистора

$$U_{0j} = U_{\text{бэ}j} + \sum_{j=1}^{j-1} U_{k \text{ э}j}.$$

если все транзисторные цепочки расположены ближе к
общему проводу, открыты и насыщены,

то $U_{0M} = U_{\text{бэ}i} + \sum_{j=1}^{M-1} U_{k \text{ э}j}$, наклон входной характеристики

$$I_{\text{вх}i} = \frac{U_{\text{вх}}^* - U_{0i}}{R_{\text{вх}i}},$$

$$\text{где } R_{\text{вх}i} = r_{\text{бэ}i} + \sum_{j=1}^{j-1} r_{k \text{ э}j}.$$

Следовательно И-НЕ имеет индивид. Вх. Характеристику
для каждого входа. Это минус, по скольку не
обеспечивается постоянство схемного интерфейса по
разным лог. Входам.

2. Передаточная характеристика

Здесь имеет смысл обратиться к названию рассматриваемого элементного
базиса. Термин "непосредственная связь" в названии отражает факт отсутствия
в цепи базы ТЛНС каких-либо токоограничительных элементов. Это обстоя-
тельство существенным образом сказывается на виде передаточной характери-

стики. Действительно, высокий уровень выходного напряжения никогда не мож-
ет быть больше $U_{\text{бэ}}$, что совпадает с величиной порогового напряжения.
Следовательно, при представлении логических уровней напряжениями, вели-
чина статической помехоустойчивости равна нулю. Это обстоятельство, на пер-
вый взгляд, исключает возможность использования ТЛНС в качестве логиче-
ских элементов, поскольку цифровая форма представления информации пред-
полагает всегда отличную от нуля статическую помехоустойчивость. Однако
здесь мы впервые сталкиваемся с представлением логической информации
уровнями тока. Ведь $I_{\text{бвкл}} > I_{\text{бн}}$ (при $U_{\text{вх}} = U_{\text{бэ}}$) и (при $U_{\text{вх}} < U_{\text{бэ}}$). На рис.
10.29 приведены передаточные характеристики ТЛНС по напряжению и току.

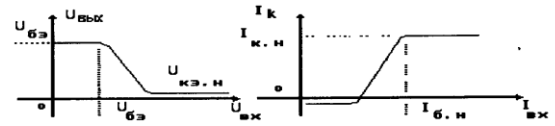


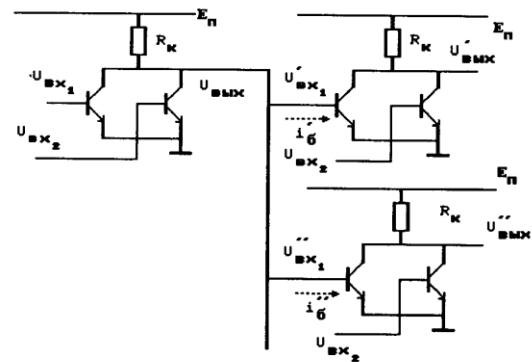
рис. 10.29. Передаточная характеристика ТЛНС.
а) по напряжению,
б) по току.

Каскадирование

Отдельно взятые логические элементы ТЛНС достаточно хорошо реали-
зуют требуемые логические функции. Основные
проблемы возникают при их каскадном включении
на несколько нагрузок. (Напомним, что под тер-
мином "нагрузка" мы подразумеваем один вход
аналогичного логического элемента). Рассмотрим
рисунк 10.25. Здесь величина входного тока логи-
ческого элемента нагрузки определяется видом
вольт-амперной характеристики база-эмиттерного
р-п перехода (рис. 10.29). Из рисунка видно, что при параллельно включенных
р-п переходах на линии нагрузки установится напряжение $U_{\text{бэ}}$, определяемое
транзистором с наиболее крутой ВАХ. Величины токов базы транзисторов на-
грузки при этом будут отличаться в десятки раз. Это явление получило назва-
ние "перехват тока".

Перехват тока при парал-
лельном включении транзис-
торов — типичный случай парал-
лельного включения нелиней-
ных элементов. Параллельное
включение любых нелинейных
элементов в практике никогда
не используется.

Перехват тока приводит к существенно неравномерному распределению
управляющих токов в нагрузке вплоть до отсутствия насыщения некоторых из
них. Ситуация с неравномерным распределением тока усугубляется при ис-
пользовании логических элементов "И-НЕ", у которых пороговые напряжения
отличаются на величину $U_{k \text{ э}n}$ (см. выше).



Быстродействие

В
дальнейшем от них отказались из-за невысокого быстродействия, трудноразре-
шимых проблем с повышением степени интеграции.

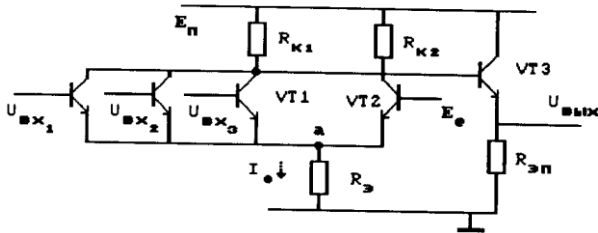
Эмиттерно-связанная логика (ЭСЛ) -семейство цифровых
интегральных микросхем на основе дифференциальных
транзисторных каскадов. ЭСЛ является самой
быстродействующей из всех типов логики, построенной на
биполярных транзисторах. Это объясняется тем, что
транзисторы в ЭСЛ работают в линейном режиме, не
переходя в режим насыщения, выход из которого замедлен.
Низкие значения логических перепадов в ЭСЛ-логике
способствуют снижению влияния на быстродействие
паразитных ёмкостей.

Структура и Принцип Работы

Основная деталь ЭСЛ-логики — схема потенциального сравнения, собранная не на диодах (как в ДТЛ), а на транзисторах. Схема представляет собой транзисторы, соединённые эмиттерами и подключённые к корпусу (или питанию) через резистор. При этом транзистор у которого напряжение на базе выше пропускает через себя основной ток. Как правило один транзистор в схеме сравнения подключен к опорному уровню, равному напряжению логического порога, а остальные транзисторы являются входами. Выходные цепи схемы сравнения поступают на усилительные транзисторы, а с них — на выходные эмиттерные повторители.

Особенностью ЭСЛ является повышенные скорость (150 МГц уже в первых образцах 60-х годов и 0,5-2 ГГц в 70-80хх) и энергопотребление по сравнению с ТТЛ и КМОП (на низких частотах, на высоких — примерно равное), низкая помехоустойчивость, низкая степень интеграции (ограниченная, в частности, большой потребляемой мощностью каждого элемента, что не позволяет разместить в одном корпусе много элементов, так как это приведёт к перегреву) и как следствие — высокая стоимость.

ЭСЛ реализована на основе переключателей тока, следовательно статические и динамические хар-тики у ЭСЛ как у переключателей тока.



В ЭСЛ перехват тока в нагрузке не возникает по 2 причинам 1)Пороговое напряжение ЛЭ задается внешним источником напряжения, устанавливаемым достаточно точным. 2)Вх. Сопротивление рассматриваемых схем существенно выше чем схем насыщенных ключей.

Характеристики

Выходное напряжение ЭСЛ (символ * означает, что это может быть либо логический ноль, либо логическая единица) $U_{\text{вых}}^* = E_{\text{п}}(1 + \delta_E) - I^* R - U_{\text{бэ}}$ (δ_E — погрешность напряжения питания) или при $I \approx I_3$

$$U_{\text{вых}}^* = E_{\text{п}}(1 + \delta_E) - (E_0 - U_{\text{бэ}})R / R_3 - U_{\text{бэ}}.$$

Если изменить место включения источника питания (поменять местами место подключения питания и общего провода, изменив, разумеется, полярность источника питания), то

$$U_{\text{вых}}^* = -I^* R - U_{\text{бэ}}$$

$$I_{\text{к}} \approx I_3 = [E_{\text{п}}(1 + \delta_E) - E_0 - U_{\text{бэ}}] / R_{\text{к}}$$

$$U_{\text{вых}}^* = [E_{\text{п}}(1 + \delta_E) - E_0 - U_{\text{бэ}}] R_{\text{к}} / R_3 - U_{\text{бэ}}.$$

Основные параметры микросхем ЭСЛ

Так как питание ИМС ЭСЛ производится от источника постоянного тока с отрицательным напряжением 5В, то выходное напряжение микросхем имеет отрицательную полярность. В качестве логического нуля $U_{0\text{вых}}$ и логической единицы $U_{1\text{вых}}$ выбирают соответственно низкий и высокий отрицательные уровни выходного напряжения. Кроме того, важными параметрами являются максимальный входной ток $I_{\text{вх}}$, $I_{\text{пвх}}$ в состоянии логического нуля и логической единицы соответственно, а также средняя потребляемая мощность $P_{\text{пот.ср.}}$ и быстродействие (максимальное время задержки переключения). При этом

$$P_{\text{макс}} = (E_{\text{п}} - E_0)^2 / R_{\text{эп}}.$$

