

Билет 7

1. РАСЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Метод эквивалентных преобразований состоит в том, что группа нелинейных элементов цепи заменяется одним эквивалентным элементом. Однако в случае нелинейных цепей параметр эквивалентного элемента может быть определен только с помощью его характеристики, построенной графическим путем. Например, при последовательном соединении линейных и нелинейных резисторов определить ток I в цепи (рис. 4.8, а) с помощью закона Ома не представляется возможным, так как сопротивления R_1 и R_3 нелинейных резисторов зависят от тока. Эту задачу можно решить, построив ВАХ эквивалентного резистора (рис. 4.8, б), являющегося нелинейным элементом. Поскольку, при любом значении тока I напряжение на эквивалентном резисторе должно быть равно напряжению U на входных зажимах цепи, ВАХ эквивалентного резистора может быть построена путем суммирования ординат ВАХ всех входящих в рассматриваемую цепь резисторов (R_1 , R_2 и R_3). Согласно второму закону Кирхгофа для цепи, изображенной на рис. 4.8, а,

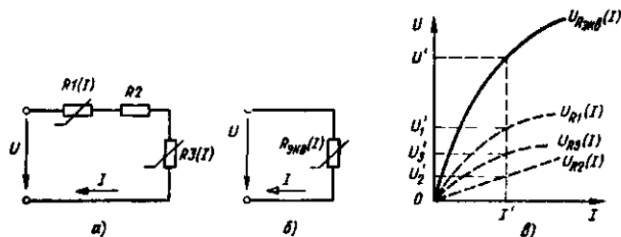


Рис. 4.8 Схема цепи с последовательным соединением линейного и нелинейных резисторов (а), эквивалентная схема цепи (б) и вольт-амперные характеристики элементов с сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 , $R_{экв}$ (в)

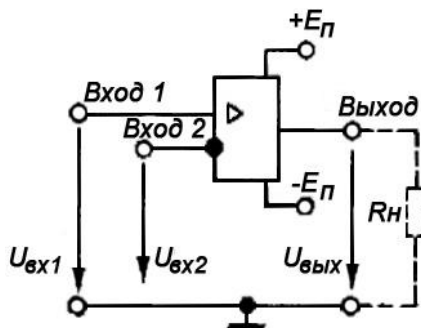
$$U_{R экв}(I) = U(I) = U_{R_1}(I) + U_{R_2}(I) + U_{R_3}(I). \quad (4.4)$$

Соответствующие данному напряжению ВАХ имеют вид, показанный на рис. 4.8, в. С помощью ВАХ $U_{R экв}(I)$ можно определить графическим путем ток I' в цепи для любого заданного напряжения U' , а затем при наличии ВАХ элементов $R_1(I)$, $R_2(I)$ и $R_3(I)$ — соответствующие найденному току напряжения U_1' , U_2' , U_3' на рассматриваемых элементах (см. рис. 4.8, в).

При параллельном соединении резисторов ВАХ эквивалентного элемента определяется также графическим путем. Метод эквивалентных преобразований целесообразно применять только для неуправляемых нелинейных элементов и фиксированных значений параметров линейных элементов.

2. Операционные усилители.

1 Общие сведения и классификация.



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 ($R_{\text{вх}} \rightarrow \infty$);
- выходное сопротивление стремится к нулю ($R_{\text{вых}} \rightarrow 0$);
- если входное напряжение равно нулю, то выходное напряжение также равно нулю ($U_{\text{вх}} = 0 \rightarrow U_{\text{вых}} = 0$);
- бесконечная полоса усиливаемых частот ($f_A \rightarrow \infty$).

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.

Операционный усилитель — это аналоговая интегральная схема, снабженная, как минимум, пятью выводами. Два вывода ОУ используются в качестве входных, один вывод является выходным, два оставшихся вывода используются для подключения источника питания ОУ. С учетом фазовых соотношений входного и выходного сигналов один из входных выводов (вход 1) называется неинвертирующим, а другой (вход 2) — инвертирующим. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ связано с входными напряжениями $U_{\text{вх1}}$ и $U_{\text{вх2}}$ соотношением

$$U_{\text{вых}} = K_{U0} (U_{\text{вх1}} - U_{\text{вх2}})$$

где K_{U0} — собственный коэффициент усиления ОУ по напряжению.

Из приведенного выражения следует, что ОУ воспринимает только разность входных напряжений, называемую дифференциальным входным сигналом, и нечувствителен к любой составляющей входного напряжения, воздействующей одновременно на оба его входа (синфазный входной сигнал).

Как было отмечено ранее, K_{U0} в ОУ должен стремиться к бесконечности, однако на практике он ограничивается значением 105...106 или 100...120 дБ.

В качестве источника питания ОУ используют двухполярный источник напряжения ($+E_n, -E_n$). Средний вывод этого источника, как правило, является общей шиной для входных и выходных сигналов и в большинстве случаев не подключается к ОУ. В реальных ОУ напряжение питания лежит в диапазоне $\pm 3\text{В} \dots \pm 18\text{В}$. Использование источника питания со средней точкой предполагает возможность изменения не только уровня, но и полярности как входного, так и выходного напряжений ОУ.

Реальные ОУ обычно снабжаются большим числом выводов, которые используются для подключения внешних цепей частотной коррекции, формирующих требуемый вид ЛАЧХ усилителя. Реализация перечисленных выше требований к электрическим параметрам ОУ невозможна на основе схемы однокаскадного усилителя. Поэтому реальные ОУ строятся на основе двух- или трехкаскадных усилителей постоянного тока. Функциональная схема включает в себя входной, согласующий и выходной каскады усиления.

2 Выходные каскады операционных усилителей

ОУ предназначен для построения операционных блоков, которые могут соединяться самым разнообразным образом в последовательно-параллельные схемы с целью моделирования решения различных задач. При этом погрешность аналоговых операций не должна превышать заданную и везде должен сохраняться согласованный диапазон представления аналоговой величины. Обычно для транзисторных ОУ этот диапазон (линейный!) имеет величину $\pm 10\text{В}$. Поэтому выходной каскад ОУ должен обеспечить малое выходное сопротивление (с целью уменьшения погрешностей при каскадировании схем) при большом ($\pm 10\text{В}$) линейном диапазоне.

Отсюда следуют основные требования к выходному каскаду:

- ♦ большой выходной ток (десятки-сотни миллиампер);
- ♦ большое выходное знакопеременное напряжение;
- ♦ малая рассеиваемая мощность в режиме покоя (требование появляется исходя из условий эксплуатации).

Кроме этого, выходной каскад должен обладать (желательно) средствами защиты от короткого замыкания как на общий провод, так и на источники питания.

В ОУ первого поколения в качестве выходного каскада применялся простой эмиттерный повторитель, который не может обеспечить малую рассеиваемую мощность. Приемлемой альтернативой является использование в выходных каскадах схемы, работающие в режиме Б или АБ.

В ОУ в состав выходного каскада обычно включают (как предварительный каскад) схему сдвига уровня. В реальных усилителях с непосредственными связями сдвиг середины линейного

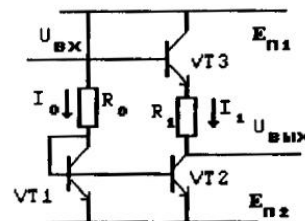


рис. 5.17. Схема сдвига уровня напряжения.

диапазона неизбежен, поскольку в каскаде усиления с ОЭ (ОИ) абсолютное значение постоянной составляющей выходного напряжения всегда выше чем входного. В качестве основы каскада сдвига уровня обычно используют эмиттерный повторитель, ток эмиттера которого задан ГСТ. На рис 5.17 приведена практическая схема сдвига уровня. Если транзисторы VT1 и VT2 одинаковы, то токи I0 и I1 равны

$$I_1 = I_0 = \frac{E_i - U_{\text{дс}}}{R_0}$$

Поэтому сдвиг напряжения на этом каскаде

$$U_{\text{АВ}} - U_{\text{АВ}} = U_{\text{дс}} + \frac{R_1(E_i - U_{\text{дс}})}{R_0}$$

$$U_{\text{АВ}} - U_{\text{АВ}} \approx E_n \frac{R_1}{R_0}$$

Если $E_n \gg U_{\text{БЭ}}$, то

Таким образом сдвиг напряжения в схеме определяется только напряжением питания и соотношением R_1/R_0 и не зависит от входных напряжений. В интегральном исполнении ОУ используют и некоторые другие схемы сдвига уровня.

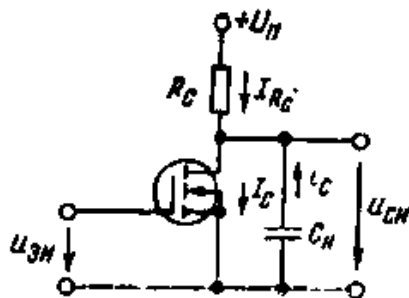


Схема ключа на МДП-трлшисторе с интуиированным каналом
В этой цепи конденсатор ограничивает ток стока.

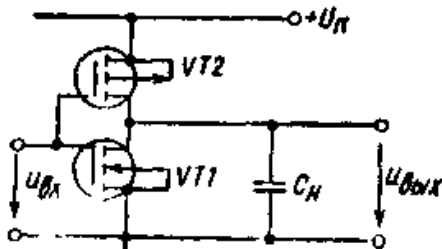
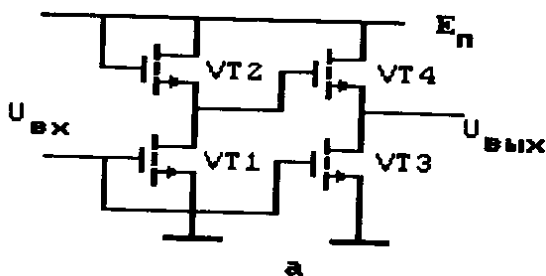


Схема КМОП-ключа



МДП ключ с динамической нагрузкой

В отличие от линейных или не линейных элементов динамическая нагрузка принимает два состояния: включено или выключено, то есть R_{MAX} или R_{MIN} .

Особенности ключей на полевых транзисторах:

- полевые транзисторы обладают исключительно малыми входными токами, а, значит, составляющая помехи, обусловленная входными токами (см. выше) будет минимальна;
- температурный коэффициент крутизны полевого транзистора меньше температурного коэффициента р биполярного транзистора;
- полевые транзисторы имеют принципиальную возможность управления со стороны подложки, что позволяет расширить их функциональные возможности.
- Возможность смены полярности (статические характеристики расположены в двух квадрантах)
- Недостаток: изменение сопротивления транзистора при изменении $U_{\text{ВХ}}$

- Статическое напряжение постоянно, влияет только динамическая составляющая.