

ЛЕКЦИЯ 1. Спец.курс. МИКРОПРОЦЕССОРЫ (УСТРОЙСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ)

1.1.1 ВВЕДЕНИЕ. Квалификационные характеристики, предъявляемые к выпускникам высшей школы, предусматривают, что специалист инженер физик должен иметь высокий уровень профессиональной подготовки, как научной, так и практической; уметь грамотно решать многочисленные задачи, в том числе возникающие на стыках научных и технических разработок. Предлагаемый вниманию спецкурс представляет собой пример подобной реализации инженерной и научной деятельности и способствует формированию навыков практического создания микропроцессорных устройств на основе общих законов создания и применения интегральных структур. С.-курс можно рассматривать как узкоспециализированную составную часть более общего курса "Микросхемотехника".

Микросхемотехника, как техническое и научное направление

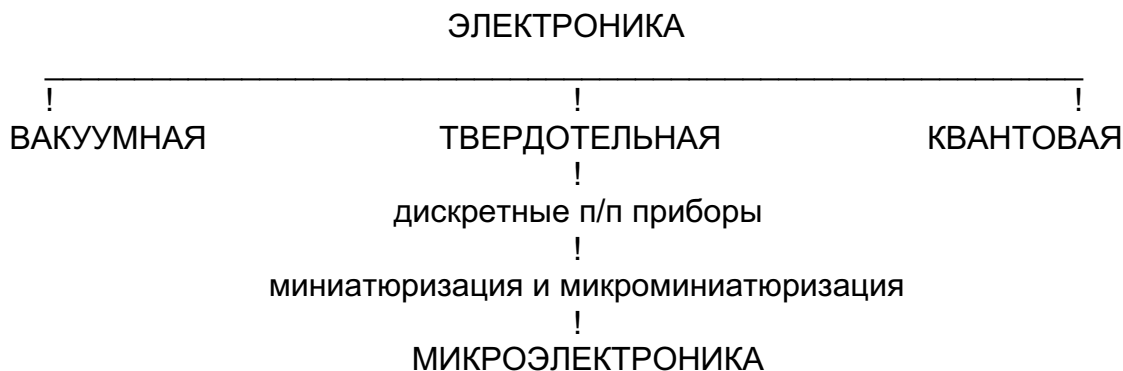
Микросхемотехника - раздел электроники.

Электроника - наука о взаимодействии электронов с электромагнитными полями и методах создания электронных приборов и устройств, в которых это взаимодействие используется для преобразования электромагнитной энергии, передачи, обработки и хранения информации.

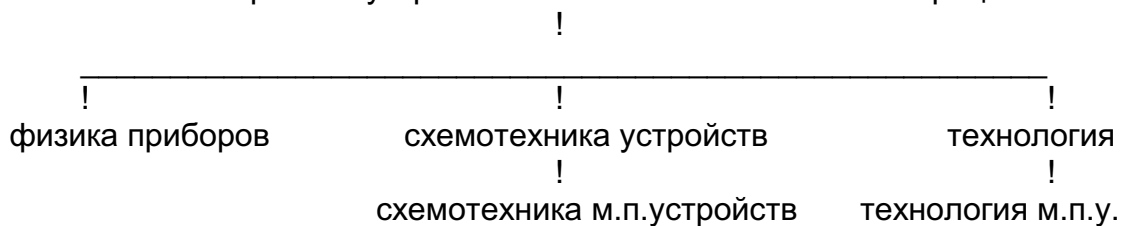
Практические задачи электроники: разработка электронных приборов и устройств, выполняющих различные функции в системах преобразования, хранения, обработки и передачи информации, в системах управления, в вычислительных и энергетических устройствах.

В настоящее время указанные задачи успешно решаются на основе микропроцессорных устройств, рассмотрение которых входит в задачи спец. курса.

Направления развития электроники:



*** МИКРОЭЛЕКТРОНИКА - область электроники, охватывающая проблемы исследования, конструирования, изготовления и применения микроэлектронных изделий, причем под микроэлектронным изделием понимают электронное устройство с высокой степенью интеграции.



Схемотехнический раздел микроэлектроники - МИКРОСХЕМОТЕХНИКА

*** МИКРОСХЕМОТЕХНИКА (ИНТЕГРАЛЬНАЯ СХЕМОТЕХНИКА) - раздел микроэлектроники, охватывающий исследования и разработку схемотехнических решений (электрических и структурных схем), используемых в интегральных микросхемах и радиоэлектронной аппаратуре на их основе.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. "Микропроцессоры и микропроцессорные комплекты интегральных микросхем", под.ред. В.А.Шахнова 2.т. "Радио и связь", 1988 г.
2. П.Хоровиц, У.Хилл "Искусство схемотехники"Т.2, М.Мир , 1983 г.
3. Р.Токхейм "Основы цифровой электроники", М.Мир , 1988 г.
4. В.С.Гутников "Интегральная электроника в измерительных устройствах", Энергоатомиздат, 1988 г.
5. В.И.Васильев, Ю.М.Гусев, В.Н.Миронов "Электронные промышленные устройства", - М., Энергоатомиздат, 1987 г.

О структуре и задачах курса:

Формально можно выделить 3 части по характеру полезного сигнала, обрабатываемого интегральным устройством: теоретические основы и схемотехника аналоговых схем, цифровых схем (включая основы алгебры-логики, элементы синтеза и т.д.) и раздел, находящийся на стыке двух предыдущих - аналогово-цифровые устройства.

В задачу курса можно поставить 2 последних раздела с учетом специфики применения микропроцессоров.

При чтении курса отдельное внимание будет уделено качественному описанию используемых схемотехнических решений для облегчения понимания и возможности непосредственного практического использования в процессе практических занятий с привлечением самостоятельной работы с литературой.

В силу построения учебного процесса, что к моменту изучения спецкурса 2 первые лекции будут содержать краткий обзор сведений относящихся к другим курсам (ТОЭР, ФПП, Микросхемотехники), но являющихся безусловно необходимыми для правильного усвоения материала.

Навыки, полученные в результате успешного освоения материала, представляют в нынешних условиях достаточную практическую ценность т.к. являются основой системного программирования, что пользуется спросом, в отличие от навыков пользователя ЭВМ, и могут быть успешно применены также в частном порядке.

1.1.2. КРАТКИЙ ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ ЭВМ

При изучении аналоговых усилителей или других устройств с обратной связью, смысл понятия О.С. принято иллюстрировать легендой о Гемфри Поттере - мальчике, якобы впервые применившим принципы обратной связи к несовершенной паровой машине.

Аналогичные более или менее достоверные факты существуют и в истории ЭВМ. На некоторых наиболее известных, заострим наше внимание.

1. Лейбниц Г.В.(1646-1716) ввел двоичную математику и заложил теоретическую основу для современной выч. техники. Он же предложил арифметизацию логики.

2. Буль Джорж (1815-1864) сформировал в алгебраическом виде законы мышления и показал, что созданная им алгебра, носящая ныне его имя,(алгебра Буля, Булева алгебра) имея дело с суждениями, оперирует только двумя понятиями: ИСТИННО и ЛОЖНО.

По своей сути Булева алгебра представляет собой свод формальных правил, механическое выполнение которых позволяет приходить иногда к правильным логическим выводам.

Для двоичной системы исчисления это 1 и 0 (или как договоримся), но легко реализуются на практике устройствами с двумя устойчивыми состояниями ВКЛ. ВЫКЛ. например реле.

С помощью подобных устройств осуществляются все три основные логические функции (аксиомы) И, ИЛИ, НЕ, а всего их можно сформулировать до шестнадцати. Вот первые электрические ЭВМ и делали на основе реле.

3. Чарльз Бэббидж (1792-1871) английский математик и экономист в 1834 г. впервые определил состав и назначение функциональных средств автоматической механической вычислительной машины, которую он тщательно разработал, но построить и не смог.

Сын Бэббиджа безуспешно пытался частично воплотить в жизнь идеи отца.

Но, тем не менее, следует отметить такие механические составные части машины Бэббиджа как:

- хранилище чисел (память)
- устройство производства арифметических действий (АЛУ)
- устройство управления операциями
- устройство ввода и вывода чисел.

* Так что все составные части современной ЭВМ были уже налицо.

4. Ада Лавлейс, дочь поэта Дж. Г. Байрона, ученица и помощница

Бэббиджа явилась по сути первым программистом, составив для несуществующей машины первые программы для решения систем двух линейных уравнений и для вычисления чисел Бернулли.

* Так что программировать можно и без машины - было бы желание :)

В заслугу перечисленным персонажам ставят следующие достижения:

- принцип программного управления
- использование перфокарт для ввода-вывода, перемещения чисел их обмена и передачи
- система предварительного переноса при вычислениях
- команды условного перехода, циклы операций и ячейки.

Заканчивая с историей, отметим, что первым создателем автоматической вычислительной машины считается немецкий ученый Конрад Цузе. В 1936 г. он реализовал модель механической выч. машины на реле в качестве элементной базы.

1.1.3. ИЗ ИСТОРИИ ОДНОКРИСТАЛЛЬНЫХ МИКРОПРОЦЕССОРОВ

Вычислительные устройства с жесткой логикой становились все сложнее и дороже ввиду уникальности производства отдельных БИС.

В 1970 г. Марчиан Хофф, сотрудник INTELL, предложил уменьшить сложность выч. устройств, используя специально разработанную универсальную микросхему - процессор, которая, однако требовала наличия внешней памяти, но существенно уменьшала количество используемых транзисторов. Позже процессор получил название Intel 4004, и на нем создали микро-ЭВМ "Intellect-4".

Но это были еще 4-х разрядные системы...

И, наконец, в 1973 г. INTELL выпустила знаменитый М.П. I8080, впервые приблизившийся к современным. Выполненный по nМОП технологии, прибор выполнял 76 команд, и работал на тактовой частоте 2 MHz. На его основе в 1975 г. фирмой MIT была создана выч. машина "Альтаир 8800" - весьма удачная разработка.

В 1976 г. фирма Zilog разработала вершину 8-разрядных чипов М.П. Z80, работавший с частотой 4 MHz и выполнявший 176 команд.

Далее разработка шла по увеличению быстродействия, повышению степени интеграции, расширению разрядности.


Следует упомянуть также Стивене Джобсе из Atari и Стиве Возняке из Hewlett Packard, которые создали у себя в гараже первую персональную ЭВМ "Apple" летом 1976 года. В дальнейшем ими была основана известная одноименная компьютерная фирма.

16 разрядные процессоры 8086 и 8088 были положены IBM в основу своих знаменитых компьютеров, которые и по сей день совершенствуясь являются своеобразным стандартом ЭВМ.

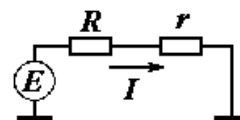
В нашей стране в это время были хорошие собственные разработки, но в качестве основного направления развития было ошибочно принятое решение копировать удачные западные разработки, так появились K580ИК80, U880, K1810BM86,87 и т.д.

ЛЕКЦИЯ 2. Краткое обобщение наиболее распространенных схемотехнических приемов с использованием известных радиоэлектронных элементов.

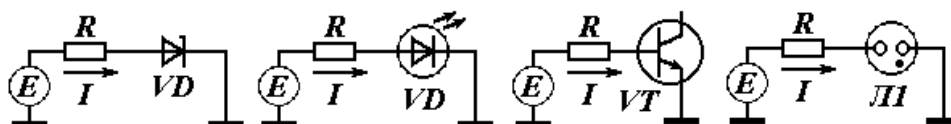
Линейные элементы:

1. Резистор (сопротивление) $U = IR$  это идеальная модель, реальный элемент обладает индуктивностью и ёмкостью.

Обычно используется для гашения избыточного напряжения и в качестве "плохого" источника тока ($R \gg r$).

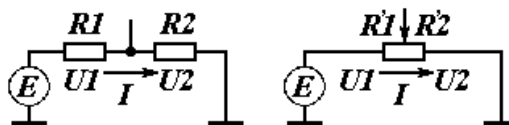


Пример: стабилитрон, светодиод, базовый переход транзистора, неоновые лампы.

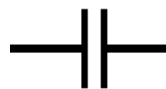
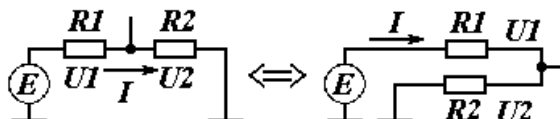


резистивный делитель напряжения:

переменный резистор – *потенциометр* - регулируемый делитель напряжения.



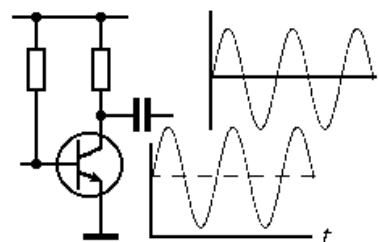
ФУНКЦИЯ узла *не зависит* от его изображения:



2. Конденсатор, "ёмкость" $I = CdU/dt$

(о прохождении гармонического тока) конденсатор пропускает переменный ток, не пропускает постоянный, что используется для отделения переменной составляющей сигнала.

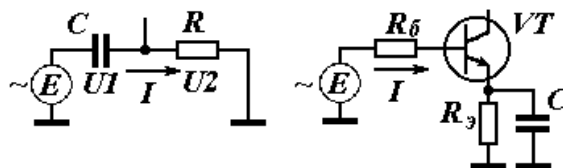
Пример: выходной каскад ОЭ:



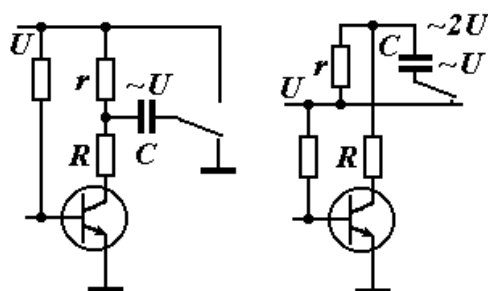
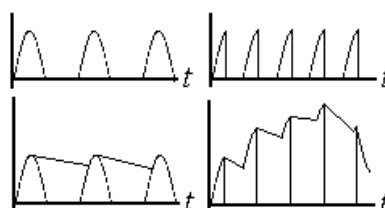
Реактивное сопротивление $Z = 1/WC$ - чем меньше частота сигнала, тем выше

сопротивление; отсюда возможность использования в качестве частотнозависимого делителя напряжения или шунта. (элемент частотной коррекции)

Пример: Фильтр НЧ, "Гридлиг":



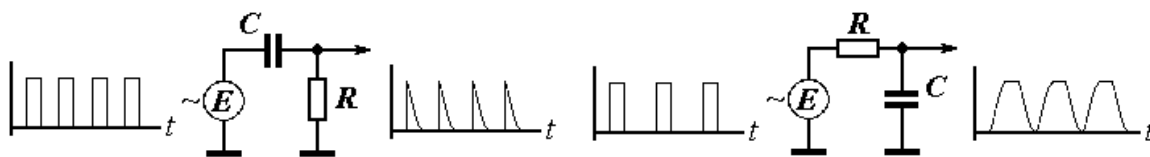
накопитель заряда $Q = CU$ - фильтр питания, интегратор:



"вольтодобавка"

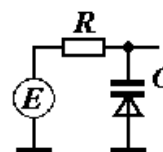
Дифференцирующая и интегрирующая цепочки и их влияние на форму сигнала.

Пример: Формирование коротких импульсов, временной сдвиг - "задержка импульсов"



Специфика интегральных конденсаторов - обратносмещенный диод:

такие же конденсаторы, управляемые напряжением (варикапы и вариконды) используются в ВЧ цепях.

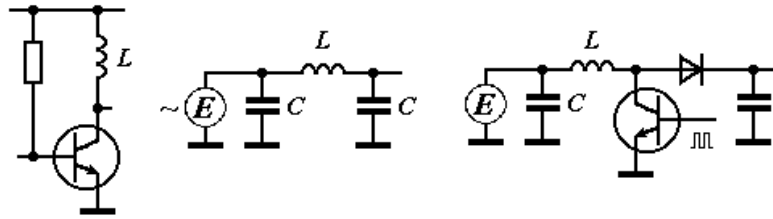


3. ИНДУКТИВНОСТЬ (катушка) $U=LdI/dt$



(Аналогия с ПРУЖИНОЙ: противодействие воздействию) так же, как и конденсатор является частотнозависимым элементом, но реактивное сопротивление $Z = \omega L$ - чем выше частота, тем больше сопротивление - может выполнять роль частотнозависимой нагрузки, фильтра питания.

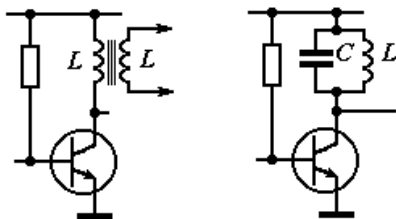
Пример: нагрузка в схемах ВЧ, дроссель в цепи питания.



Индуктивность - энергозапасаящий элемент, т.к. реагирует на скорость изменения сигнала.(схемы питания с повышением напряжения).

В цифровой электронике следует учитывать, что **ПРОСТОЙ ПРОВОДНИК** также **обладает индуктивностью и емкостью**.

Две связанных индуктивности образуют трансформатор, трансформатор не активный элемент (закон сохранения), но обеспечивает гальваническую развязку:



L-C - резонансные схемы, подробно рассмотреть при наличии времени.
(частотноизбирательные схемы).

Нелинейные элементы:

4. Диоды:

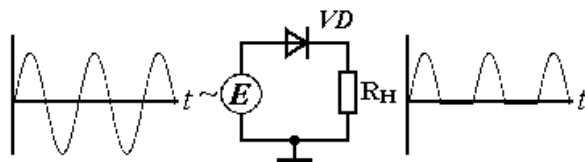
анод



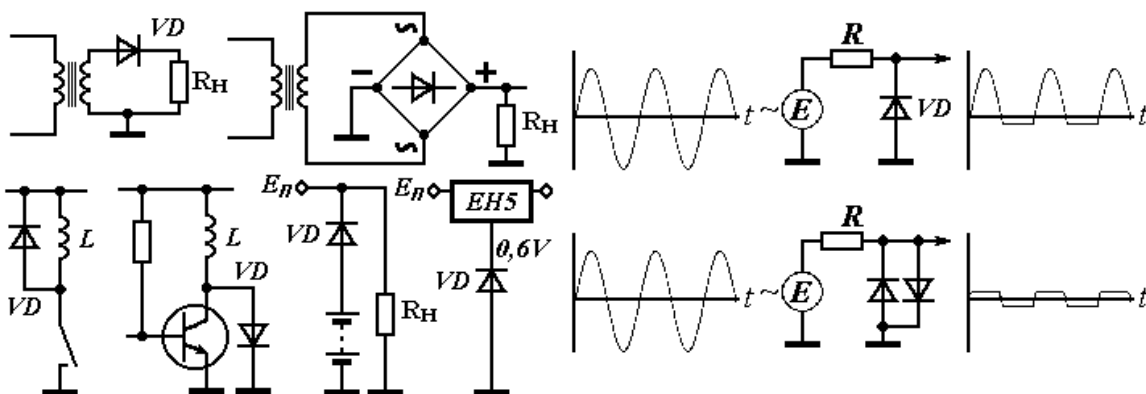
катод

Для ВАХ диода характерна **односторонняя проводимость** (здесь обратить внимание на характер обратной ветви и сопротивление обратно смещенного диода, а также на величину падения напряжения на открытом диоде).

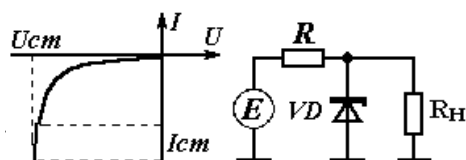
Диод не является линейным элементом, в отличие от резисторов конденсаторов и индуктивностей, т.е. отклик не пропорционален приложенному воздействию. В силу изложенного, диод "ПОРТИТ" спектр сигнала, обогащая его гармониками:



Применение диодов: выпрямители и детекторы, ограничители сигнала, защита по входу, защита от обратных выбросов, источник стабильного смещения 0.6 В, диодные вентили.

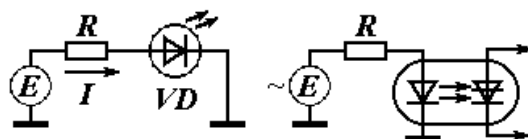


Стабилитрон - специфический диод, работающий на участке лавинного пробоя обратной ветви ВАХ, источник *ОПОРНОГО* напряжения.



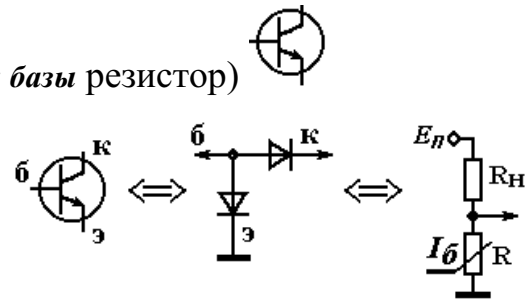
$$I = I_{CT} + I_H ; \quad \frac{E - U_{CT}}{R} - I_H = I_{CT} ; \quad R = \frac{U - U_{CT}}{I_{CT} + I_H} .$$

Светодиоды, оптопары (оптоэлектронные развязки).



5. Транзистор (управляемый током базы резистор)

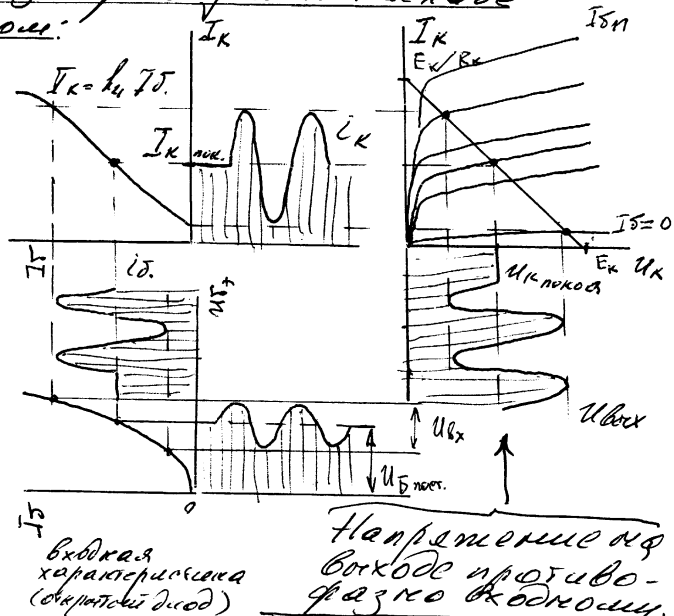
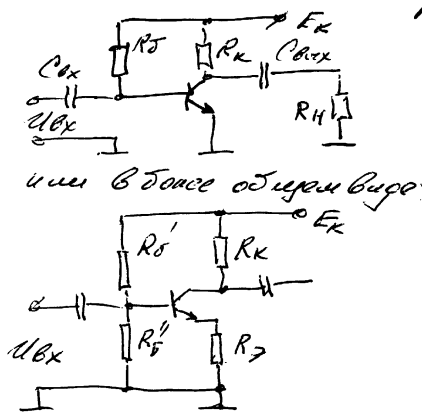
Суть: управление ПРОВОДИМОСТЬЮ коллекторного перехода малым током базы и перераспределение энергии источника питания между резистором нагрузки и коллекторным переходом.



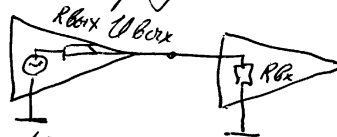
Лекция №

Численные каскады на транзисторах. Их характеристики и режимы работы.

Схема включения транзистора в усилит. каскаде с общим эмиттером:



При соединении усилительных каскадов, значе-ние приобретает согласование или подансов (предотвращает каскад - выходной и входной послед-ующего) поскольку в общем виде такое соеди-нение каскадов представляет собой делительная-мешина:



при этом желательно соблюдать правило $R_{вх} \gg R_{вых}$.

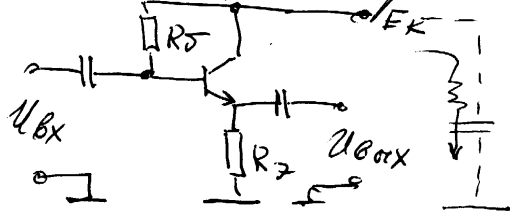
С этой точки зрения каскады ОЭ присущи следую-щие параметры:

Входное сопротивление - невысоко
Выходное сопротивление - несколько кОм
(т.е. закрытый диод соединен с Rк)

Но! Схема ОЭ усиливает ток и напряжение больше I. Схема ОЭ плохо согласуется с источниками сигнала с высоким выходным сопротивлением.

Существуют две других схемы усилительных каска-дов на транзисторе в зависимости от способа подачи входного сигнала.

Схема включенная с общим коллектором (эмиттерный повторитель). (2)



Коэффициент усиления по току > 1

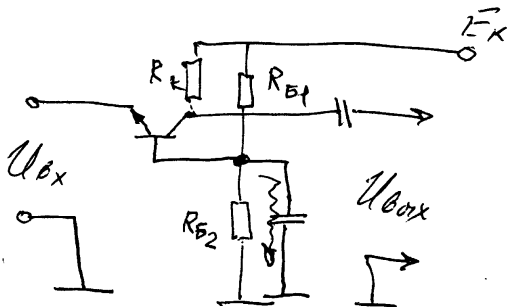
Коэффициент передачи напряжения < 1 и $\approx 0.9 \div 0.99$

Входное сопротивление - высокое (сотни кОм)

Выходное сопротивление - мало (Десятки Ом)

Сигнал не инвертируется и не усиливается по напряжению (но усиливается по мощности) поэтому схема ОК называется эмиттерным повторителем или преобразователем impedances. Удобна для согласования усилительных каскадов.

Схема включенная с общей базой



Коэффициент усиления по напряжению > 1 и соответствует схеме ОЭ

Коэффициент усиления по току < 1 т.к. входной ток - это ток эмиттера и выходной ток коллектора (а он несколько меньше на I_B)

Входное сопротивление - малое

Выходное - сравнительно большое.

Используется для согласования каскадов и в силу особенностей работает на высокой частоте (нейтрализация паразитных емкостей и шапала постоянная времени входной цепи не используется в каскадах ВЧ).

П.Т. - управляется напряжением а не током.

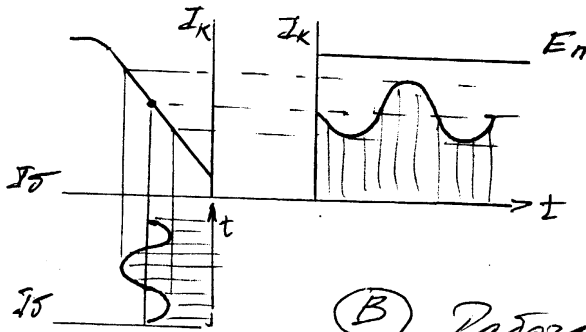
Схемы включенные полевых транзисторов аналогичны рассмотренным и носят название "ОУ-исток", истоковый повторитель и т.д. Особенность работы этих каскадов в силу физики работы П.Т. истоковый повторитель на П.Т. представляет собой более удачный вариант схемы согласования...

Режимы работы усилительных каскадов

3

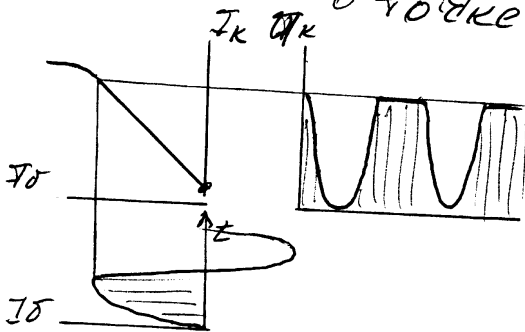
В зависимости от выбора рабочей точки на характеристике в режиме покоя различают три основных режима: (А, В, С)

(А) Рабочая точка на линейном участке:

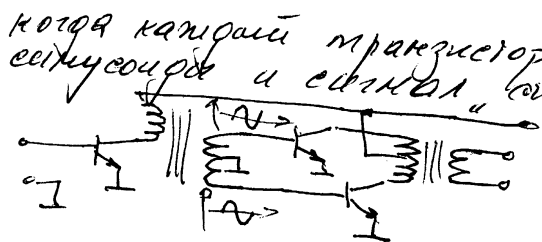


Не искажает сигнал, но не экономичен, т.к. транзистор открыт и выделяется беспорядочная мощность даже в отсутствие сигнала.

(В) Рабочая точка в начале переходной характеристики, в точке отсечки.



Выходное напряжение - половина синусоиды, нелинейное искажение велико, но КПД высок - до 80%.

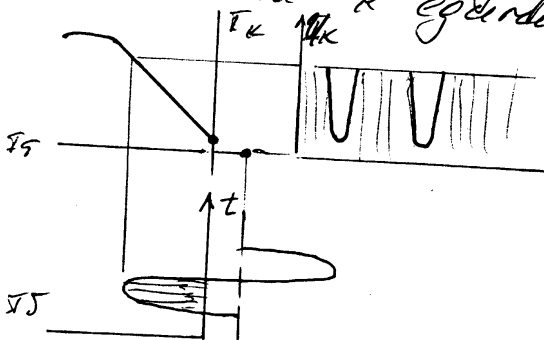


когда каждый транзистор усиливает и сигнал, и сигнал, и сигнал

Режим В используется в двухтактных усилителях, формирует одну половину синусоиды на выходе.

пример с трансформаторным фазоинвертором.

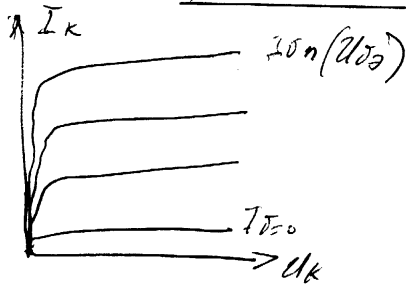
(С) Рабочая точка выбирается ниже точки отсечки, КПД устройства высок и приближается к единице.



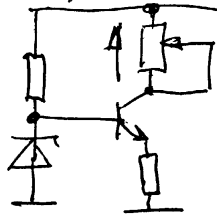
Сильные нелинейные гармонические сигналы позволяют использовать его только в гетеродинных и автогенераторах, выделяющих частоту гармоника за счет частотно-зависимой нелинейности.

Источники тока на транзисторах

4

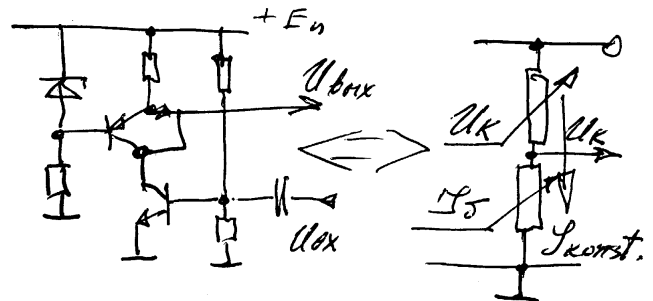
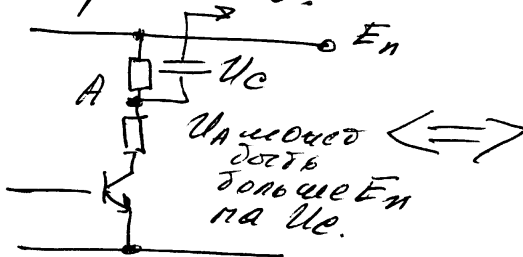


Выходная характеристика транзистора имеет участок на котором ток I_k коллектора слабо зависит от изменения напряжения на коллекторе при фиксированном токе базы. Именно рассматривает $I_k \approx \text{const}$. Отсюда — схемотехническое решение — источник тока (зафиксировав ток база стабильным напряжением $U_{бэ}$)

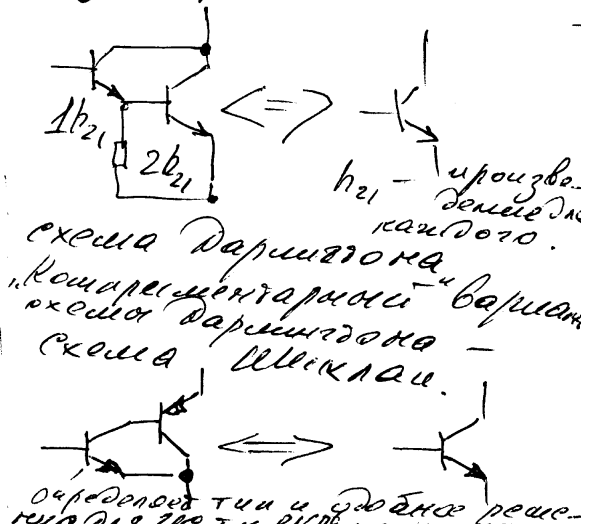
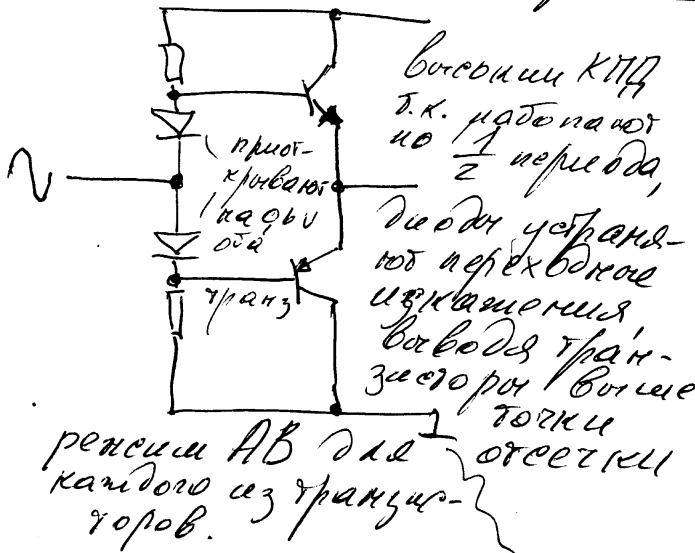


нагрузки изменяется отток коллектора остается неизменным. Аналогично решение справедливо и для каскада с П.Т.

источник тока в качестве коллекторной нагрузки транзисторного каскада является хорошим эквивалентом схемы с "выгодной" позволяя эффективнее использовать питающее напряжение.



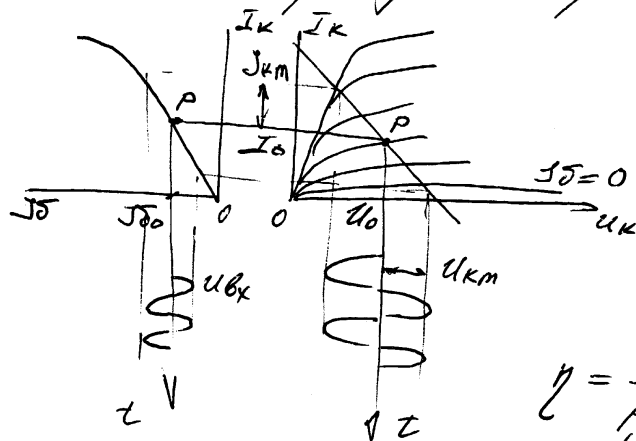
Двухтактное каскадное кодирование на комплементарных транзисторах



Решение работы усилительных каскадов.

В зависимости от положения рабочей точки в решении ковычки рабочей характеристики транзистора различают 3 основных режима работы усилительных каскадов А, В, С.

Режим А: рабочая точка - на линейном участке в районе середины входной и переходной характеристик тр-ра



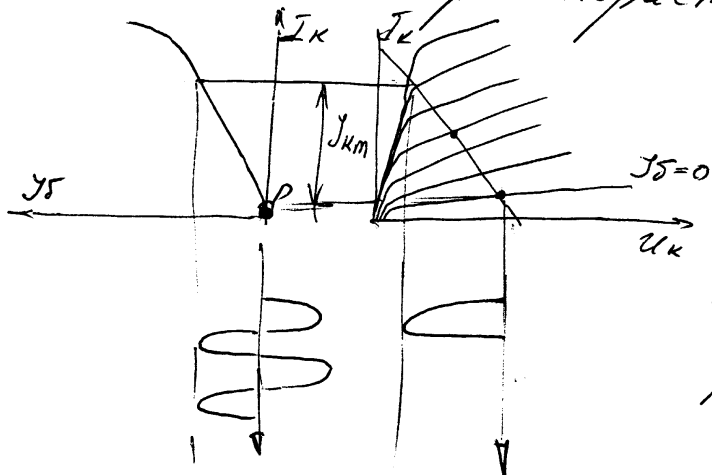
Нелинейное искажение минимально!
(Недостаток - низкий К.Т.Д.)

$$\eta = \frac{P_{вых}}{P_0} = \frac{0,5 U_{km} I_{km}}{U_0 I_0} < 0,5$$

↳ постоянная составляющая

Реально КТД $\leq 0,35 \Rightarrow$ в мощных усилителях использовать пассивные каскады.

Режим В: рабочая точка в начале переходной характеристики -



точка отсечки

при симметричном воздействии - выходной сигнал полусинусоида \Rightarrow

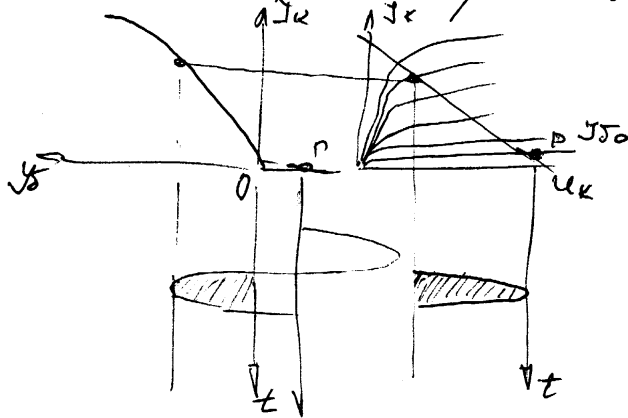
Нелинейные искажения велики, ток покоя - мал \Rightarrow

$$\eta \leq 80\% !!!$$

возможен смешанный режим АВ
 \Rightarrow транзистор "приоткрыт" рабочая точка сдвинута от начала переходной характеристики
 \Rightarrow уменьшаются нелинейные искажения.
(Двухтактное выходное каскад)

Ретина С.

Рабочая точка за точкой обрыва 2. и ток в транзисторе ишшо в течение некоторой части периода.



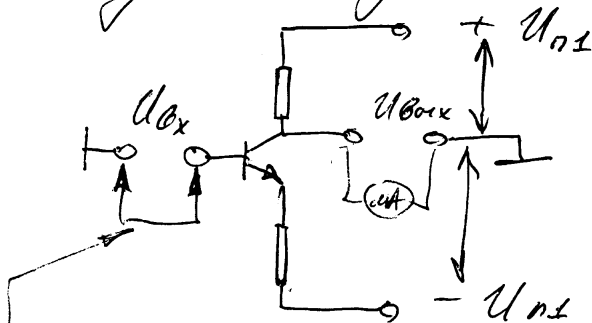
близко к 1

нелинейное искажение очень велики.

Используется в устройствах входных ишшо основную гармоничку из нелинейной характеристики.

В избирательных усилителях и автогенераторах. Рассмотрены типы усилительных каскадов.

а) Усилители ПТ с выпрямлением ишшамисей. (Цепочка с-связи позволяет усиливать чрезвычайно низкие частоты и постоянный ток). Отделить полезный сигнал можно подбором делителя напряжения на входе и использованием двупольного питания со средней точкой, относительно которой подают входной сигнал.



Нестабильность $U_{пит}$, старение транзист. температура и т.д. приводит к дрейфу



Напряжение дрейфа "0" приведенное ко входу

$$U_{др} = U_{вых} / K_u \Big|_{U_{вх}=0}$$

Хорошо усиливает только сигналы значительно превосходящие $U_{дрейфа}$.

Методы устранения дрейфа:

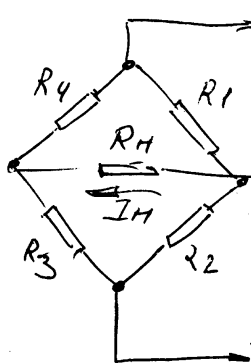
3.

- 1) - Стабилизация $U_{пит.}$ (источники)
 - Стабилизация температурного режима (выборочная) тремировка прототипов.
- 2) Использование дифференциальных (балансных) схем УПТ
- 3) Метод преобразования напряжения (АН-ЦАП).

б) Дифференциальный усилительный каскад.

Принцип шоста (при балансе $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$)
(шост - источник)

$I_K = 0$ при изменении $\pm E$



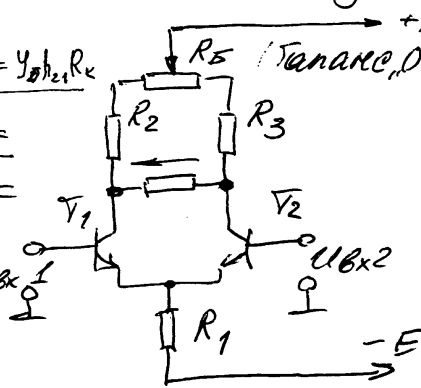
$$U_{bx} = I_K R_K = I_{y2} R_K$$

$$U_{bx} = I_{y2} R_3 =$$

$$= (I_K + I_{y1}) R_3 =$$

$$= (h_{21} + 1) I_{y1} R_3$$

$$R_K = \frac{U_{bx}}{I_{bx}} = \frac{(h_{21} + 1) I_{y1} R_3}{I_{y1}}$$



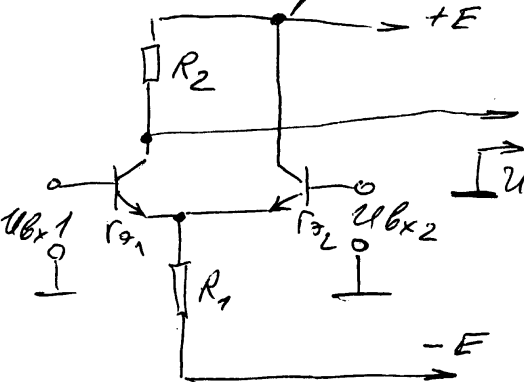
пары T_1, T_2 строго идентична
 $R_2 = R_3$

Симметричной д.у.

Несимметричной д.у. (однопольный выход или разностный усилитель)

Базирование одного из входов сохраняется все преимуществы

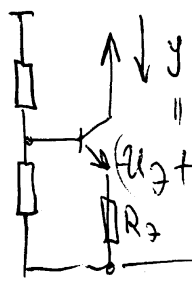
д.у. т.к. входной сигнал $U_{вх}$ приложен к R_3 любого транзистора



$$K_{диф} = \frac{U_{вх}}{(U_1 - U_2)} = \frac{R_K}{2R_3} = R_2 / 2R_3 ;$$

$$K_{сиф} = R_K / (2R_1 + R_3)$$

$U_1 = U_2$ (одинаков на обоих входах).

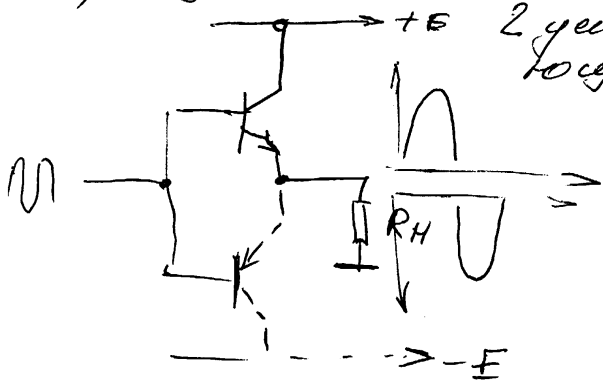


$$\frac{U_{вх}}{U_{вх сиф}} = K_{осс} = R_1 / R_3 ; \text{ при одинаковом } U_{вх}$$

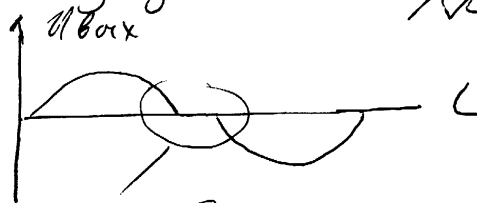
Для уменьшения $I_{вх}$ и β и составные транз.

в) двухтактное усилительное каскад

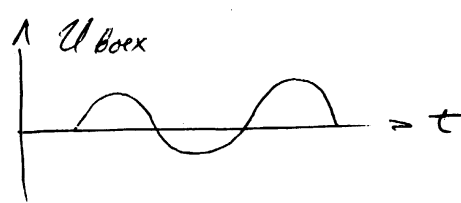
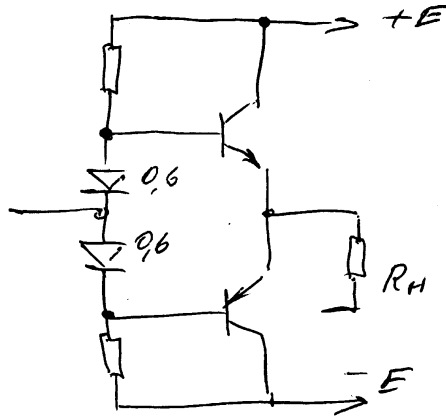
4.



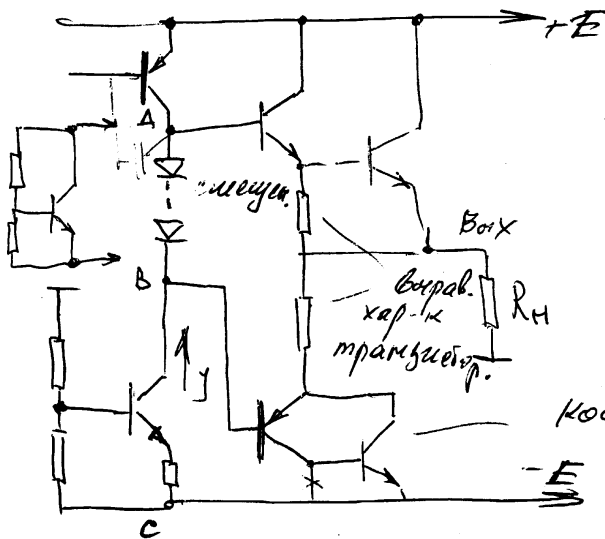
2 усилителя класса В, работающие на заземлен. нагрузку



переходное искажение или "ступенька" из-за отсутствия смещения

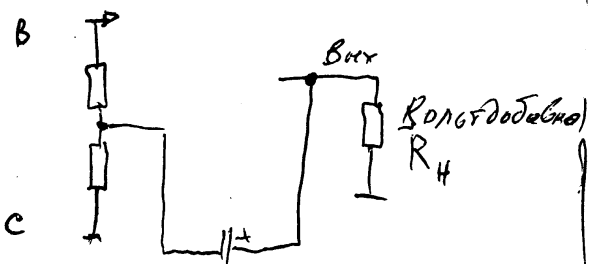


обратно входной сигнал сдвигается с коллектора предыдущего каскада



Выходной ток - увеличив. использовать повторитель

комплементарной тр.р. Дарлингтона очень удобен для интегрального исполнения БК р-п-р. транзистор включается как биполярный и обладает теми же параметрами

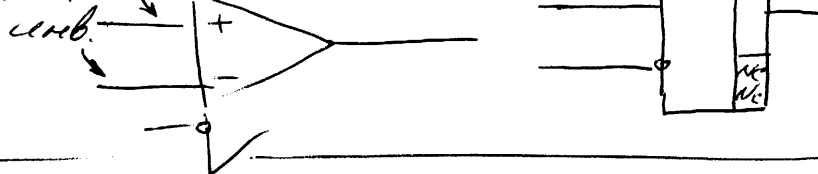


Операционные усилители (+ компараторы) 1

* О.У. - для выполнения матем. операций в аналоговых вычислительных машинах.

В широком плане ОУ мы будем называть дифференциальной усилитель П.Т. с большим (в идеальном случае $\rightarrow \infty$) коэффициентом усиления и несимметричным выходом.

Обозначения: неинв.



Идеальный ОУ договоримся называть ИТУ

обл. след. св-вами:

1. Входной импеданс имеет бесконечное значение (для дифференциального и сигнала), \Rightarrow входные токи $= 0$
 2. Выходной импеданс (при разомкнутой α) равен 0 .
 3. Коэф-т усиления по напряжению $= \infty$
 4. Коэф-т усиления сигнала $= 0$.
 5. Выходное напряжение $= 0$, когда напряжение на обоих входах одинаково (напря. сброса $= 0$)
 6. Выходное напряжение может изменяться мгновенно (скорость нарастания $= \infty$)
- Указанные характеристики не зависят от температуры и изменений $U_{пит}$.

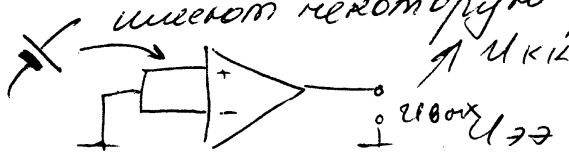
Реальный ОУ:

1. Входное сопр-е не бесконечно \Rightarrow существует входной ток $i_{вх}$; для типичного ОУ 741 (К140УД7) ^{0,05 мА} входной ток создает дополнительное падение напряжения на внешних элементах схемы, что приводит к необходимости введения коррекционных элементов.

2. Входное сопротивление. — разность входных токов, обусловленная технологическими отклонениями ($\approx 0,1$ тока смещения) приводит к появлению напряжения между входами при одинаковых напряжениях на них.
3. Входной импеданс (импеданс со стороны входа при заземлении другого)
для 741 $\approx 2 \text{ Мом}$
4. Входной диапазон аналогового сигнала определяется конструкцией ОУ и может достигать $\pm U_{пит}$.
5. Входной диапазон цифр. сигнала для большинства схем $\pm U_{пит}$.
6. Выходное сопротивление (собственное входное сопротивление ОУ без ОС) обычно мизерно т.к. эмиттерные повторители на выходе. Разрешает проблему согласования вход-выход)
7. Коэф-т усиления по напряжению уменьшается с увеличением частоты (типичное значение без ОС $= 80 \div 100 \text{ тыс.}$)



8. Входное напряжение смещения из-за технологических отклонений ОУ имеют некоторую разбалансировку:



Разность входных напряжений необходимая для установления нулевого выходного сигнала может называться входным напр-е смещения. Существуют способы компенсации (называть об них)

Скорость нарастания — предельная скорость
изменения входного напряжения — скорость
нарастания. (741 — 0,5 В/мкс)

Для сигнала частотой f и амплитудой A
скорость нарастания = $2\pi Af$.

ОУ с внешней коррекцией позволяют регулировать
С.Н. подбором одного или нескольких внешних
элементов.

(Т.О. реальной ОУ близок по параметрам к идеалу)

Основные формальные правила,
определяющие работу ОУ, охва-
ченного цепью ОС.

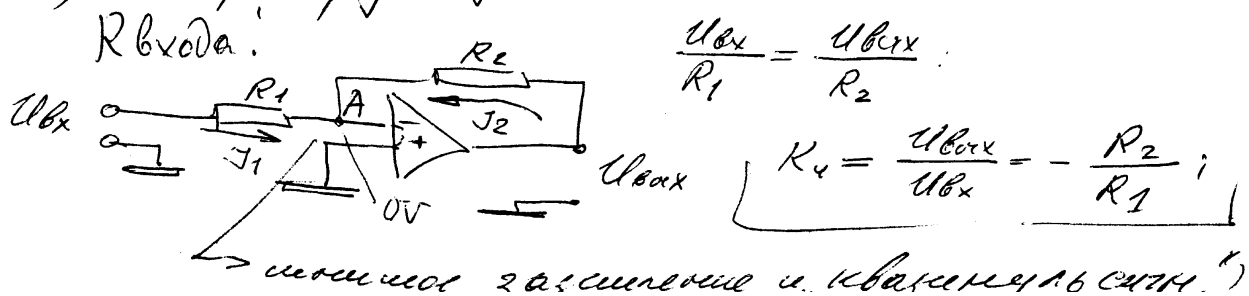
1) Вход. ОУ стремится к тому, чтобы
разность напряжений между входами
равнялась 0, (более строго: ОУ
"оценивает" состояние входов и с помощью
внешней схемы ОС передает напряжение
с входа на вход, так чтобы напряжение
между входными выводами стремилось к 0
если это возможно.

2.) Входы ОУ ток не потребляют

Эти правила дают достаточную основу
для анализа транзисторной схемотехники
устройств на основе ОУ.

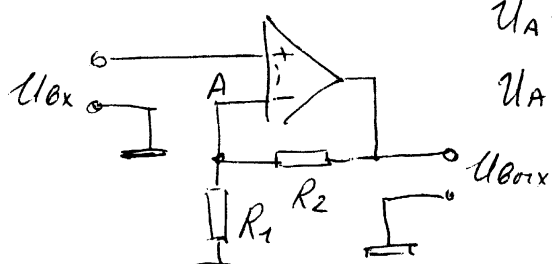
Основные схемы включения ОУ

1) Инвертирующий ОУ.



2. Неинв. усилитель

4.

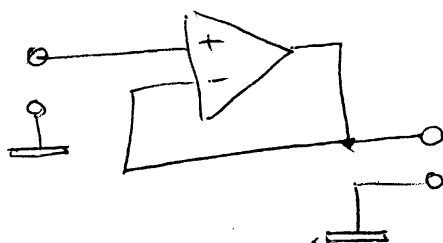


$$U_A = U_{bx}$$

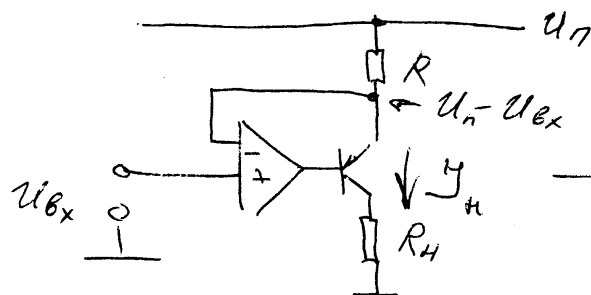
$$U_A = U_{vix} R_1 (R_1 + R_2)$$

$$K_1 = \frac{U_{vix}}{U_{bx}} = 1 + R_2/R_1$$

3. Повторитель

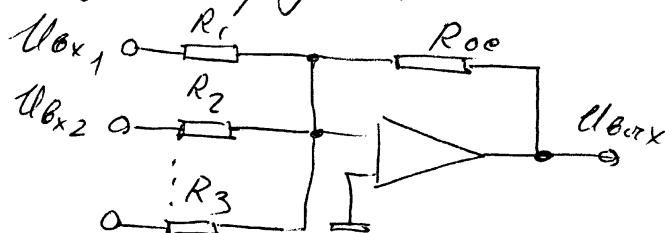


4. Усачик тока

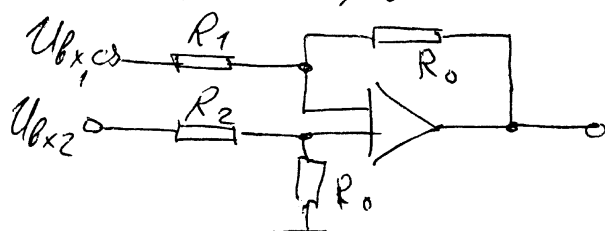


$$I_H = (U_n - U_{bx})/R$$

5. Суммирующий ОУ-усилитель



6. Дифференцирующий усилитель на ОУ.



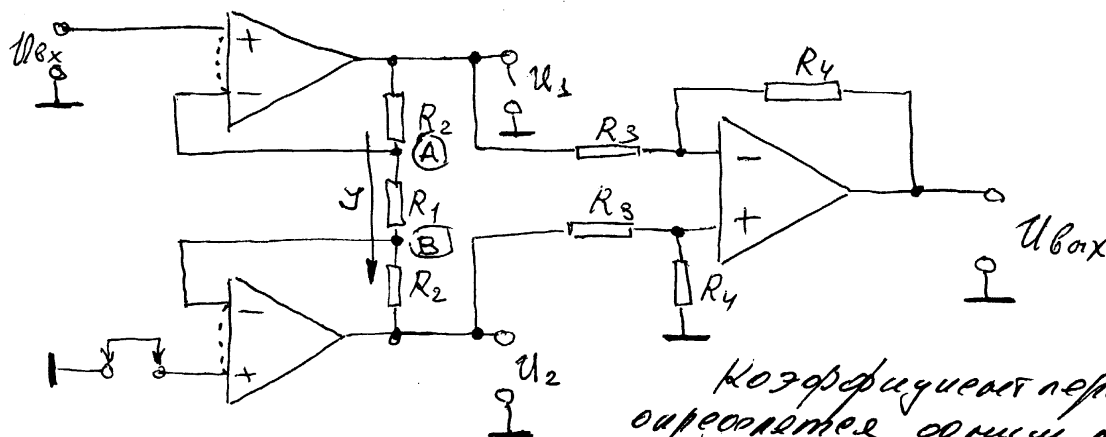
$$R_1 = R_2$$

$$\frac{(U_{bx2} - U_{bx1}) R_0}{R_1} = U_{vix}$$

Анализ работи схеми на ОУ.

1

Пр.1 Прецизионный ОУ (высокоточная обработка малых сигналов)



Коэффициент передачи определится одним резистором R_1 (см. далее).

Используя 1 правило: $U_A = U_{вх}$; $U_B = 0$

$$y = \frac{U_A - U_B}{R_1} = \frac{U_A}{R_1} = \frac{U_{вх}}{R_1}$$

$$y = \frac{U_1}{R_2 + R_1} \Rightarrow U_1 = y(R_2 + R_1) = \frac{U_{вх}}{R_1}(R_2 + R_1);$$

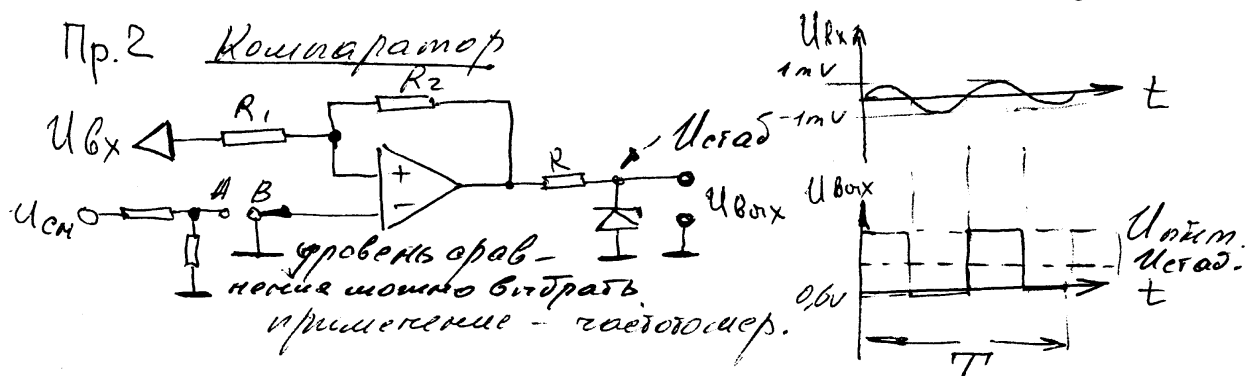
$$U_1 = U_{вх} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$U_2 = -y \cdot R_2 = -U_{вх} \frac{R_2}{R_1};$$

$$U_{вых} = (U_2 - U_1) \cdot \frac{R_4}{R_3} = \left[-U_{вх} \frac{R_2}{R_1} - U_{вх} \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \right] \cdot \frac{R_4}{R_3} =$$

$$= -U_{вх} \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3}; \quad K_u = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \frac{R_4}{R_3}$$

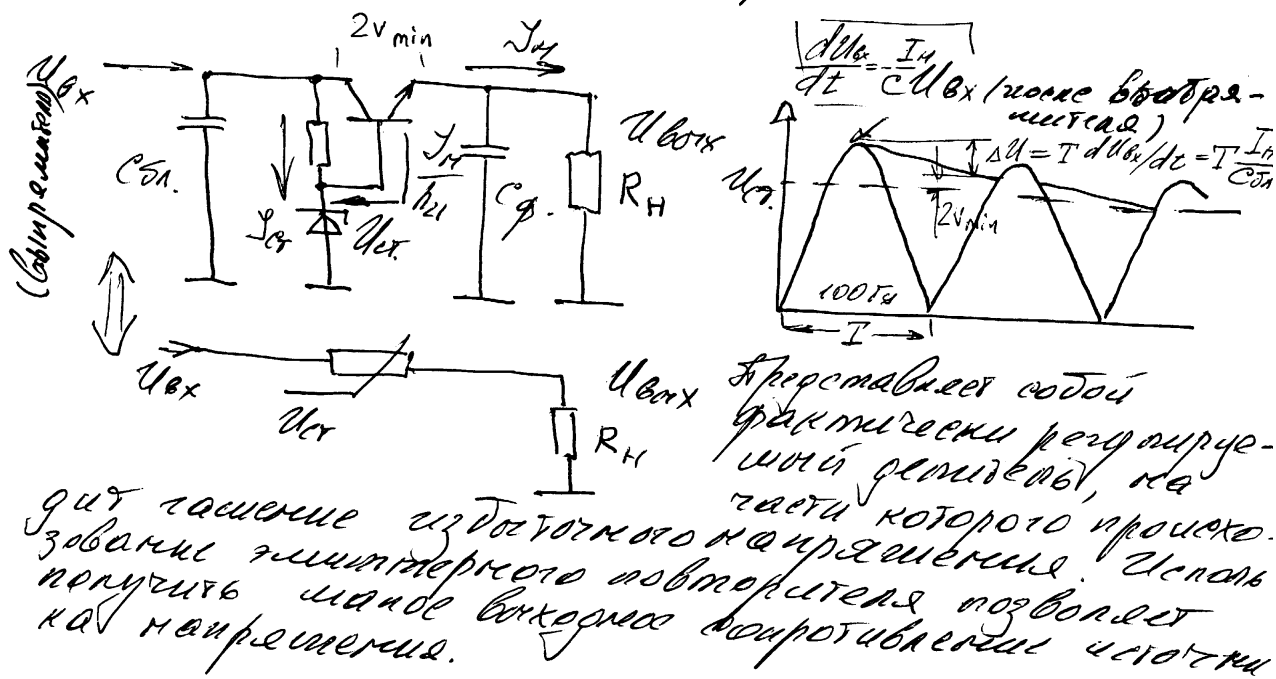
Пр.2 Компаратор



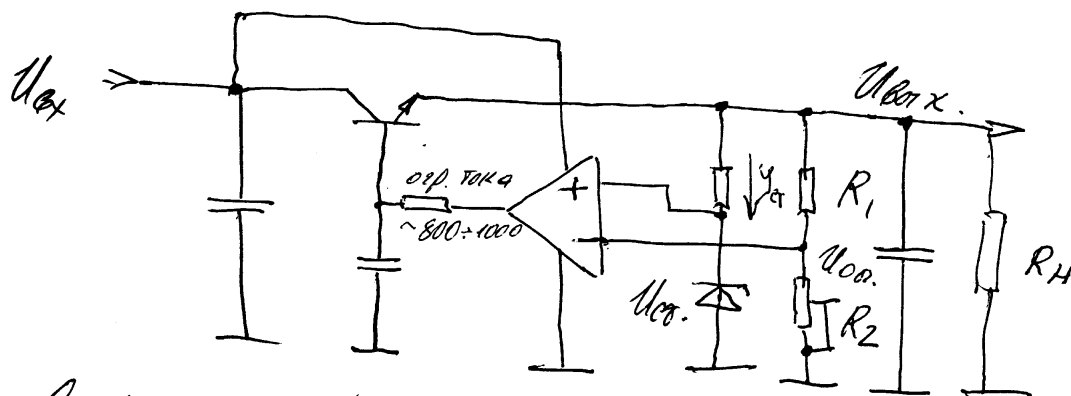
Некоторые практические схемы

(3)

Простейший стабилизатор напряжения:



Улучшенный стабилизатор напряжения на ОУ



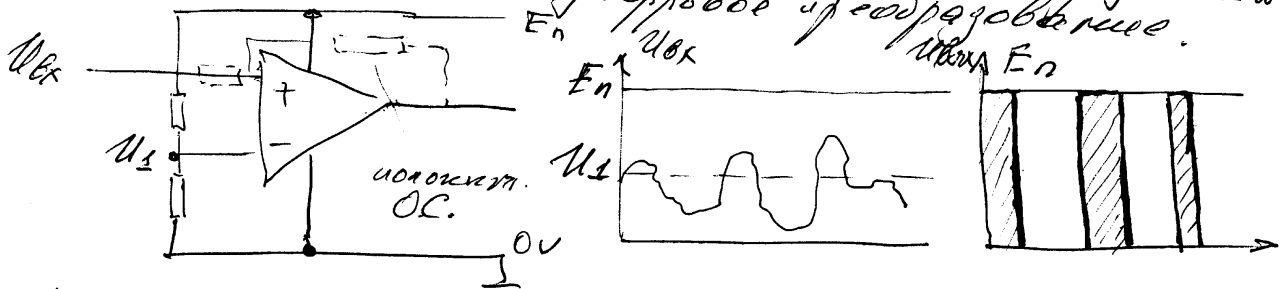
Операционный усилитель осуществляет сравнение напряжений $U_{ст}$ и $U_{вых}$ и приоткрывает проходной транзистор пока $U_{ст} = U_{вых}$. Такой принцип имеет название отрицательной обратной связи. Обычно используется во всех схемах с ОУ. Рассчитать выходное напряжение позволяет следующая формула: $U_{вых} = U_{ст} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$.

Компараторы.

2

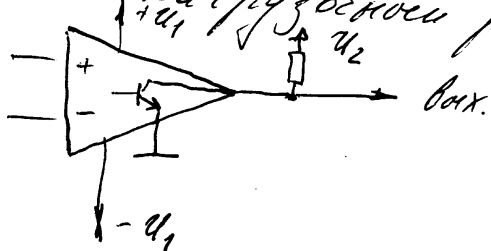
Усилители с высоким K_u практически не применяются без отрицательной обратной связи, которая формирует все основные характеристики устройства на ОУ.

Но в схеме без обратной связи и даже с введением положительной ОС по незначительному, таким образом выполняющему роль компаратора, устройству, разнотактизируя дискретные заданные уровни напряжений и позволяющих осуществлять простейшее аналого-цифровое преобразование.



Незначительное изменение $U_{вх}$ относительно уровня U_1 - задающего порога приводит к измещению выходного сигнала от нулевого уровня до полного макс. значения таким образом схема "разнотактизирует" превышение заданного уровня. ПОС - поддерживает малые изменения входного сигнала и позволяет из-за эффекта дрейфа при незначительных колебаниях $U_{вх}$ возле порога U_1 .

Для согласования с распродранканными уровнями цифровых сигналов выходной каскад выполняется, обычно не по схеме 2х комплиментарных транзисторов, а по схеме с открытым коллектором, к которому подключается внешняя нагрузочный резистор. И напряжение питания U_2 согласовывается с уровнем выходного сигнала с цифровым сигналом.

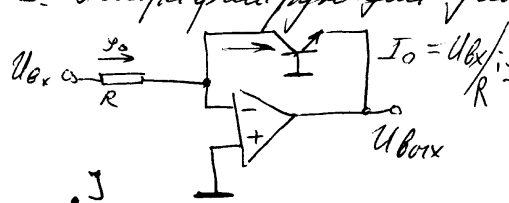


Аналоговые функции, и их реализация в схемах на основе ОУ.

Ранее нами были рассмотрены примеры включения ОУ в безынерционное нелинейное цепи: (линейное: отклик пропорционален воздействию)

- 1.) Инвертор с регулируемым усилением
 - 2.) Усилитель-вычитатель (дифференцирующий)
 - 3.) Сумматор инвертирующий
 - 4.) Сумматор неинвертирующий с усилением
 - 5.) Преобразователь ток-напряжение
 - 6.) Преобразователь напряжение-ток
 - 7.) Преобразователь ток-напряжение
- Включение ОУ в безынерционное нелинейное цепи.

1. Логарифмирующий усилитель

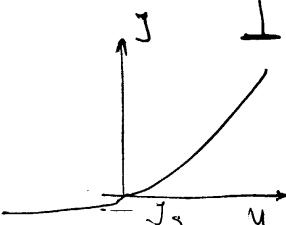


$$I_0 = \frac{U_{вх}}{R}; I_0 = I_s e^{-\frac{U_{вх}}{\varphi_T}}$$

$$\frac{U_{вх}}{R} = I_s e^{-\frac{U_{вх}}{\varphi_T}}$$

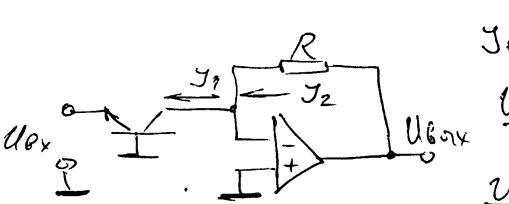
$$\ln \frac{U_{вх}}{R} = -\frac{U_{вх}}{\varphi_T}$$

$$U_{вх} = -\varphi_T \ln \frac{U_{вх}}{R I_s}$$

$$\varphi_T = \frac{RT}{q}$$


пригодится для аппроксимации характеристик датчиков при изм

2. Антилогарифмирующий усилитель:



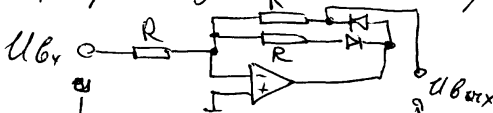
$$I_1 = I_s e^{-\frac{U_{вх}}{\varphi_T}}$$

$$\frac{U_{вх}}{R} = I_s e^{-\frac{U_{вх}}{\varphi_T}}$$

$$\frac{U_{вх}}{\varphi_T} = \ln \frac{R I_s}{U_{вх}}$$

$$\ln U_{вх} = -\frac{U_{вх}}{\varphi_T} + \ln R I_s$$

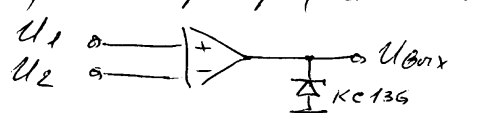
3. Прецизионный выключатель с инверсией



$$U_{вых} = -U_{вх}(t); U_{вх}(t) < 0$$

$$U_{вых} = 0; U_{вх}(t) \geq 0$$

4.) Компаратор (аналого-цифровое устройство) ТТЛ



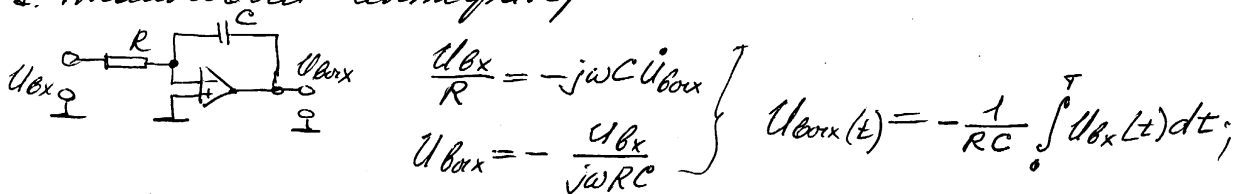
$$U_{вых} = K_U'(U_2 - U_1); K_U \rightarrow \infty; U_{вых} = 1; U_2 > U_1$$

$$0 \leq U_{вых} \leq U_{огр}; U_{вых} = 0; U_2 \leq U_1$$

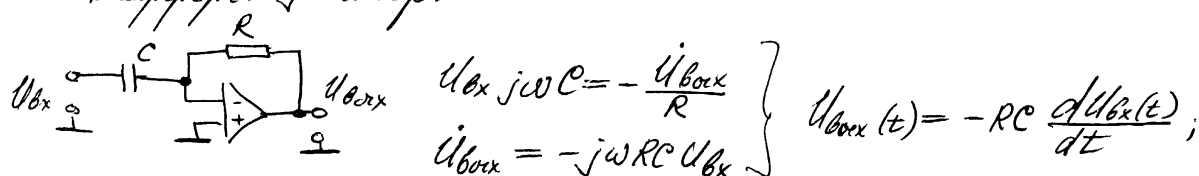
Включение ОУ в аналоговые цепи

5.

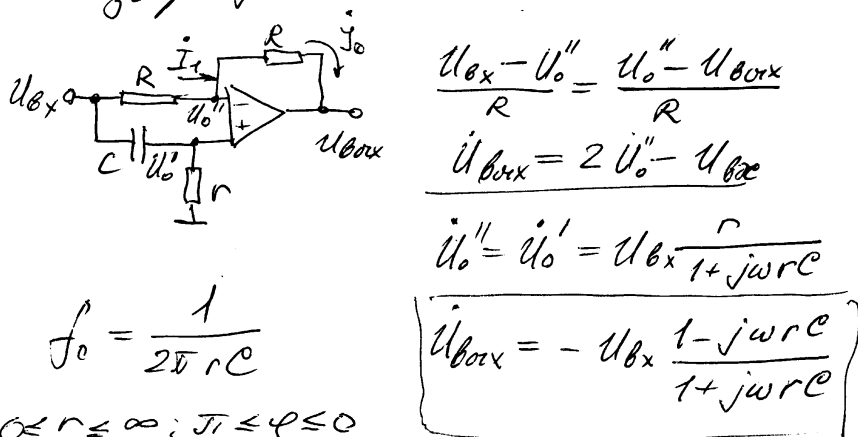
1. Аналоговый интегратор



2. Дифференциатор.



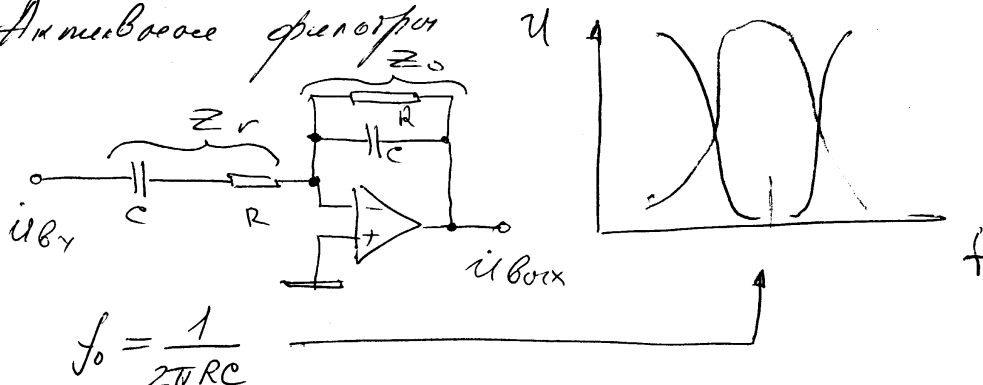
3. Инвертирующий фильтр



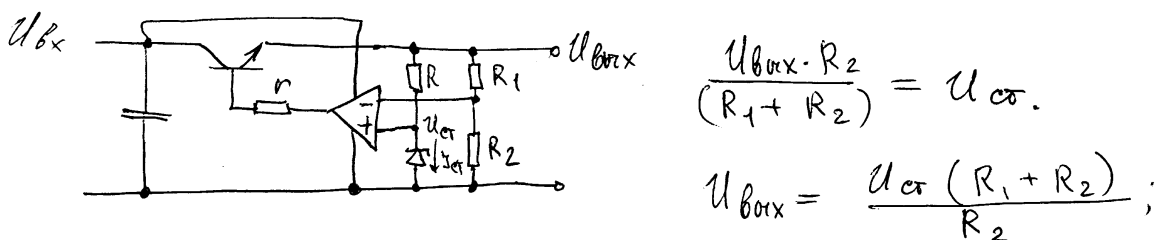
$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$0 < r \leq \infty; \pi \leq \varphi \leq 0$$

4. Активное фидбэк



Пример разработки практической схемы

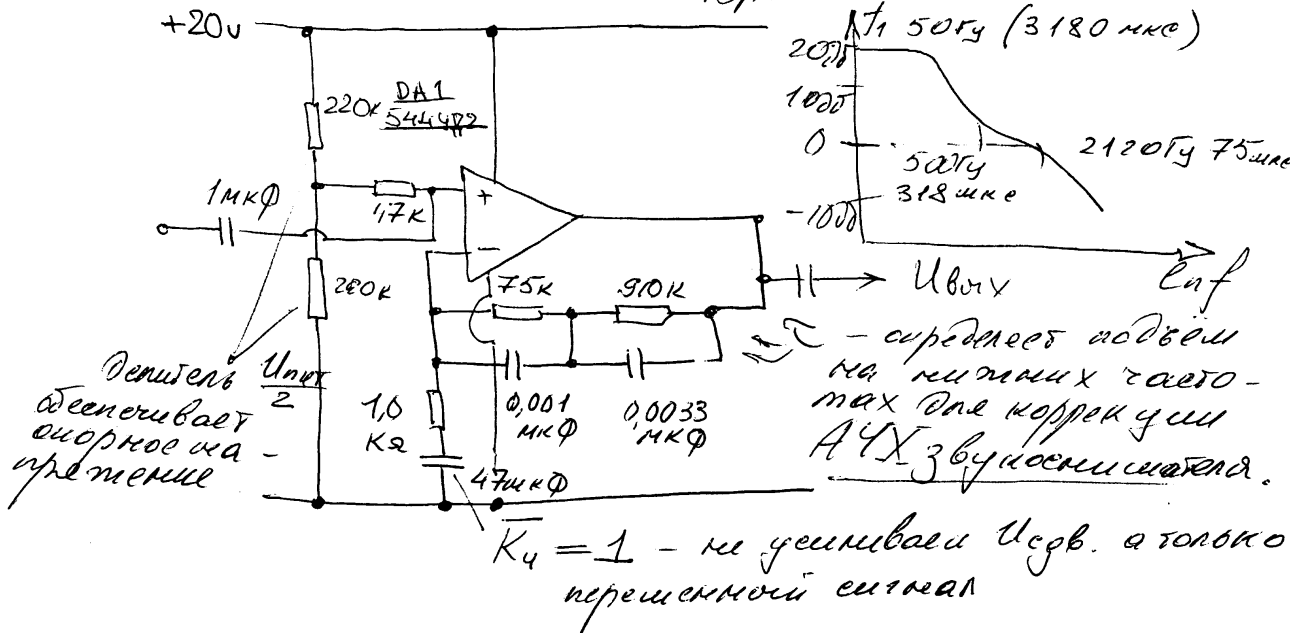


Прикладное проектирование схемотехники устройств на основе ОУ.

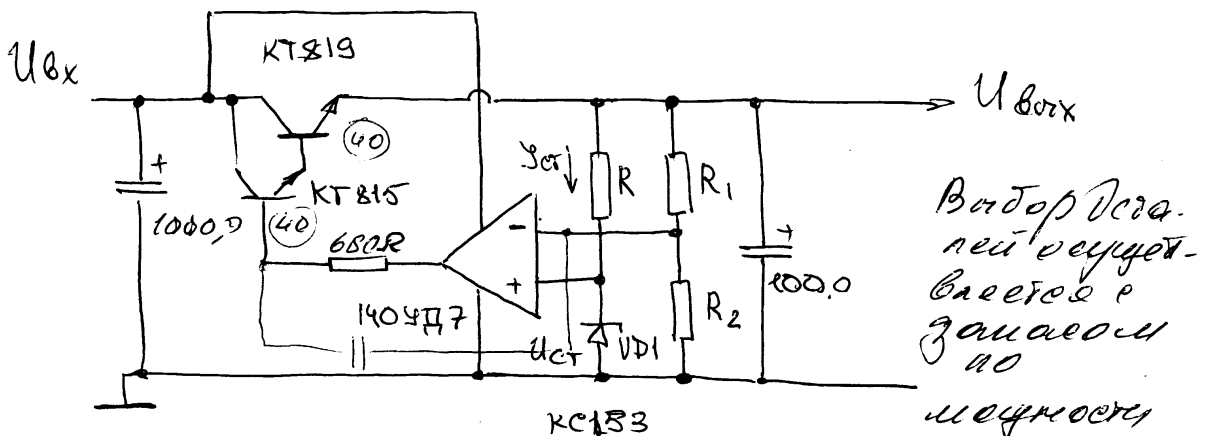
4) Применение аналоговых ЦС.

а) Включение ОУ в схемах с функцией источника питания.

Прим. усилитель для э.м.м. звукоусилителя АЧХ прямо рассчитываю при помощи логотипич. времени.



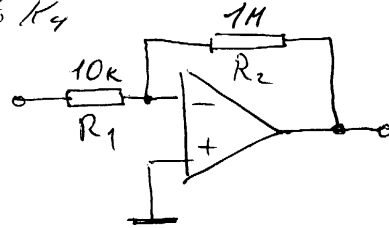
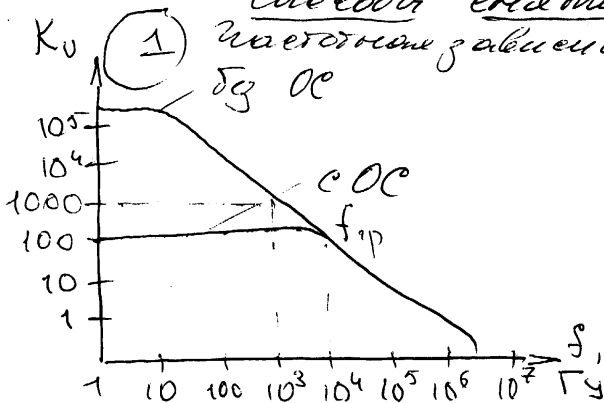
Внеавтономный источник питания.



$$R = \frac{U_{вых} - U_{сдв}}{I_{сдв}} ; \quad \frac{U_{вых} \times R_2}{R_1 + R_2} = U_{сдв}$$

$$U_{вых} = \frac{U_{сдв} (R_1 + R_2)}{R_2}$$

Ограничения, накладываемые требованиями ОУ на работу схем на их основе.
Способы снятия ограничений.



741

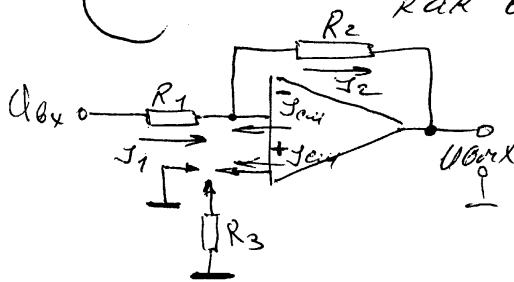
$$K_u = \frac{R_2}{R_1} = 100$$

$$f_{up}: K_u = K_{uo}$$

при $f > f_{up}$ $K_{uo} \neq \frac{R_2}{R_1}$

Снятие ограничений: 1) уменьшить K_u
2) Взять более быстрые ОУ.

2) Входной ток смещения - воспринимаемое как входной сигнал \Rightarrow



$I_{os} = 0$; $I_{os} R_2$ значит R_2 нельзя делать слишком большим, чтобы ток смещения не давал больших сдвигов.

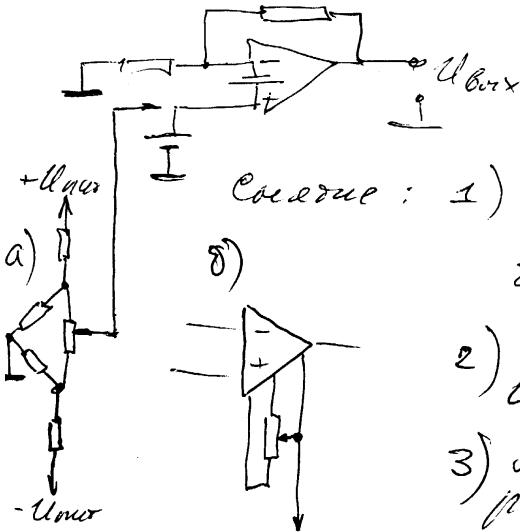
Сопротивление со стороны "-" входа $R_{вх} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ сделаем такое же со стороны "+" входа падение напр-я на R_3 будет как и на компенсировать сдвиг, обусловленный током смещения.

Снятие ограничений: 1) Взять ОУ с меньшим I_{os} ,
2) Выбирать R_{os} достаточно малым (учитывая $R_{вх}$)
3) Балансировка входных шин-податков.

3) Входной ток сдвига дает смещение выхода даже в сбалансированном ОУ.

Снятие: 1) Дополнительная балансировка, уменьш. R_{os}
2) Подобрать ОУ с меньшим вх. током сдвига.

4. Входное напряжение сигнала — такое же, как принимаемое как входной сигнал.



$$U_{вых} = K_u \cdot U_{свх}$$

Соединение: 1) балансировка нуля:

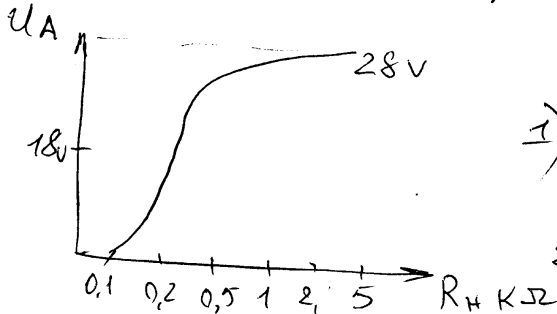
а) внешний

б) внутренний (входы баланса "0")

2) Взять ОУ с минимальным ~~током~~ $I_{свх}$

3) Применить емкостную связь, где разделение составляющих, если усиливается \sim сигнал.

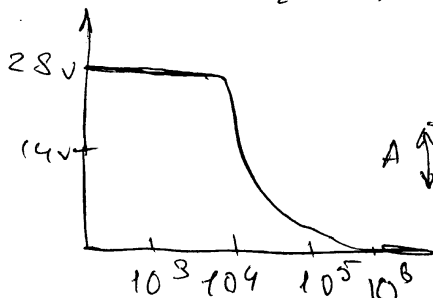
5. Выходной ток-ограничитель \Rightarrow ограничит размах напряжения на низкочастотных нагрузках



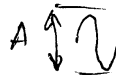
- 1) применить дополнительный внешний конденсатор (усилитель выход ОУ)
- 2) выбрать соответствующий ОУ

В радиозонных схемах выходные токи ограничивают возмущение температурных градиентов в кристалле при рассеянии больших мощностей

6. Скорость нарастания — накладывает ограничение на амплитуду $U_{вых}$ в зависимости от частоты.



$$A \leq S / \pi f \text{ для синусоидального сигнала.}$$

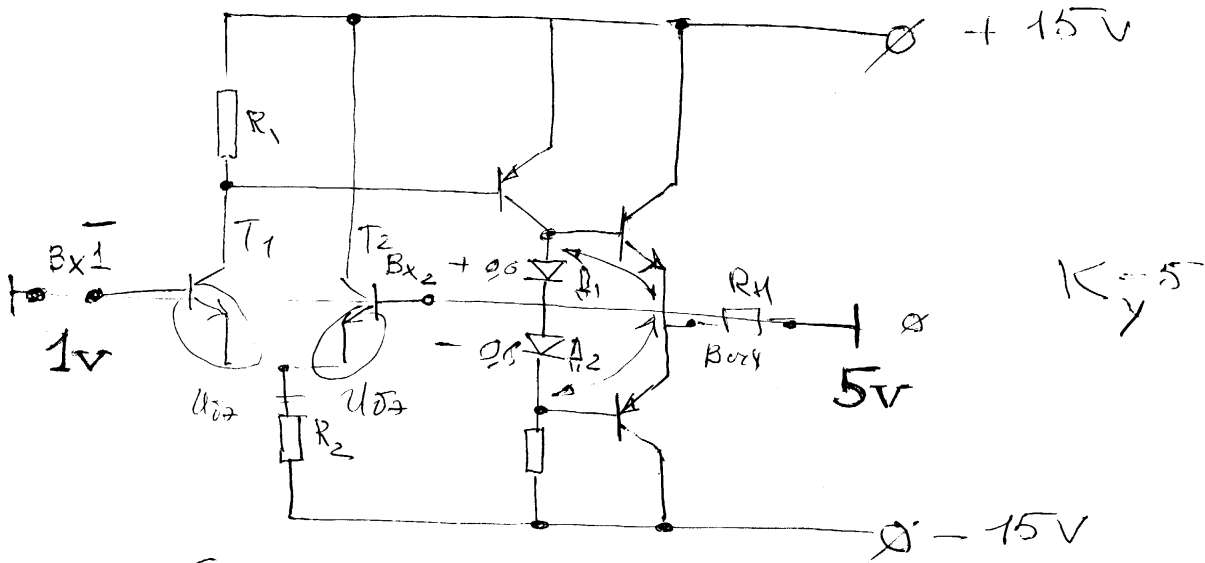


Соединение: 1) выбрать ОУ с большей S

2) Применение специальной коррекции для ОУ, позволяющих такое решение, в соответствующем включении

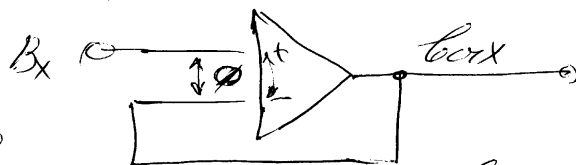
Включение ОУ с одним источником питания и использованием цепей смещения.

Задача: по входу дифференциальной усилитель или ОУ:



Выходной сигнал через эмиттерный повторитель подаётся на R_2 - включенной в эмиттерную цепь T_1 т.о. $U_{\text{э}} T_1$ будет уменьшаться до тех пор, пока не станет равной 0 раз-ница потенциалов между базами T_1 и T_2 т.о. мы ввели 100% отрицат. обр. связь T_2 - следит за выходом схемы.

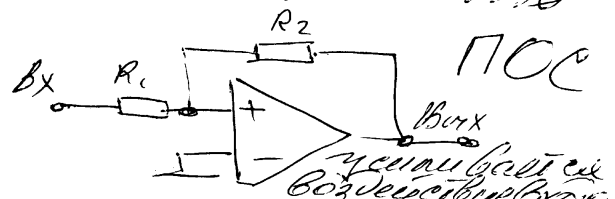
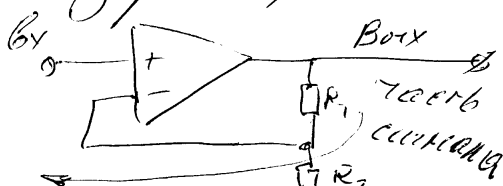
Вобщем ОУ - подает такти или всего входного сигнала устройству во вход-ное цепи;



Связь между т.к. сформирован усилитель входного воздействия.

100% ОУ преобразует усилитель в повторитель.

- 1) Правило: выход ОУ с ОС сформируется при равенстве потенциалов между входами $K, 0$
- 2) Вход ОУ ток не потребляет, т.е. просто анализировать, если вводить выходные данные



АНАЛОГОВЫЕ И ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ

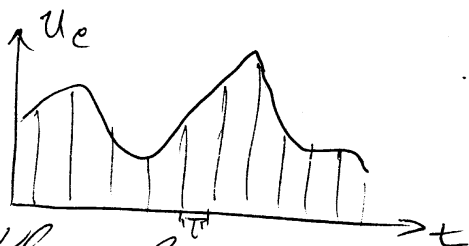
Аналогово - цифровые устройства ²

Информация зафиксированная в некоторой материальной форме имеет название сообщения и передается с помощью сигналов.

Непрерывный сигнал, изменяющийся пропорционально исходной информации имеет название аналоговый. Аналоговой называются устройства, обрабатывающие такой сигнал.

Аналоговый сигнал содержит бесконечный набор отдельных значений.

Существует возможность представления непр. сообщ. в дискретной форме в виде конечного набора отдельных значений при помощи процедур квантования (или дискретизации)



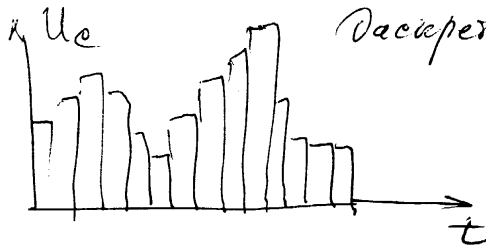
Квантование производится по уровню и по времени.

Квантование по времени предусматривает замену непрерывного сигнала последовательностью импульсов, следующих через определенные промежутки времени, называемые тактами.

Согласно теореме Котельникова (радиофизика) если тактовый интервал выбран соответствующим образом, то потери информации не произойдет.

Одновременно вводится квантование по уровню, когда амплитуда каждой выборки будет принимать ближайшее разрешенное значение из выбранного конечного набора значений. Совокупность всех выборок образует дискретный или цифровой сигнал.

Каждое значение дискретного сигнала представляется числом. Подобной процедуре можно давать название кодирования. В совокупности полученных чисел — кодах сигнала.

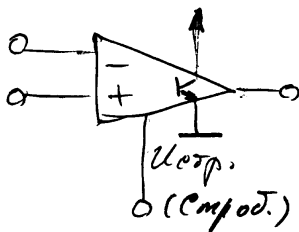


Дискретный сигнал.

3

Наши ранее уже было изучено устройство, осуществляющее квантование по 1 уровню - компаратор - ОУ без ОС или с ПОС.

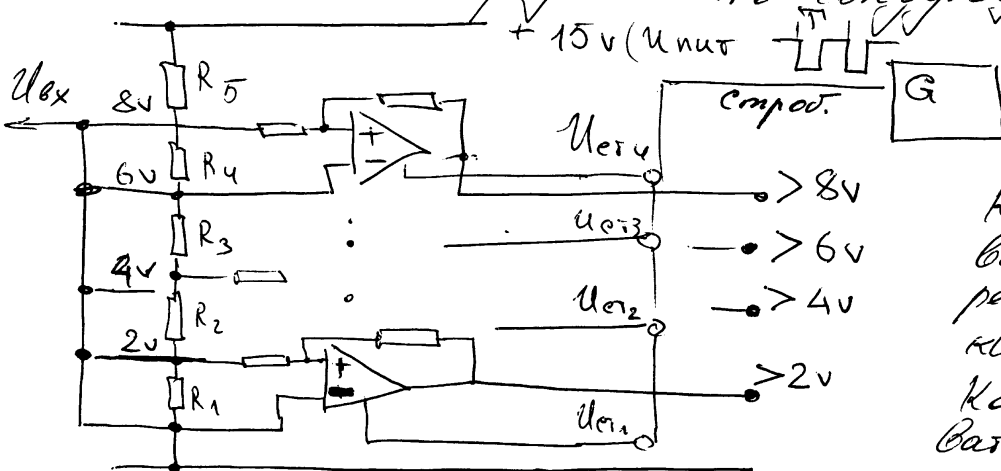
Существуют специальные интегральные схемы, которые успешно решают эту задачу. Схематические решения ищем, исходя из их конструкции, преследуя цель достижения высоких скоростей нарастания и спада или минимизации $U_{св.}$ и возмущаемость системы с разнотипными сигналами цифровых ИС. - это интегральные компараторы (К521СА3, К554СА3).



Компараторы в отличие от ОУ не преобразуют цепи преобразования сигнала без искажений - основное - это шаг за шагом K_u , S , выход $U_{ср.}$ - возможность сдвигаться.

В компараторах в отличие от ОУ применяемая только неинвертирующая ОС, где усиление возможно большей крутизной фронта выходного сигнала.

Простейшее решение проблемы квантования может представлять следующая схема:



$U_{вх} \leq 10V$.

Как разрешить вопрос о выборе уровней квантования?

Как обработать выходной сигнал?

Схема представляет простейший АЦП с произвольным выбором уровней квантования.

Система счисления. Коды чисел.

В цифровой технике используется двоичная система счисления ("0", "1") (не путать с числом состоящий из выходов лог. элементов их может быть 3) т.е. любое число А может быть представлено в виде:

$$A = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \cdot P^i$$

$\left. \begin{array}{l} i - \text{номер разряда} \\ P - \text{основание} \end{array} \right\} \text{ все разряда.}$

Наибольшее распространение получил восьмой код 8421 по степеням числа 2.

Действительно любое число может быть представлено в виде степенного ряда с основ. 2.

DEC		Bin	HEX
0	0	0000	0
1	1	0001	1
2	2	0010	2
3	3	0011	3
4	4	0100	4
5	5	0101	5
6	6	0110	6
7	7	0111	7
8	8	1000	8
9	9	1001	9
10	10	1010	A
11	11	1011	B
12	12	1100	C
13	13	1101	D
14	14	1110	E
15	15	1111	F
		8421	

В этой технике популярно также 16-ричное представление числа.

Объём информации, определенной одним символом в соответствующей позиции двоичного представления числа представляет собой 1 бит! Bit - binary digit. Общепринятым является представление информации в байтах =>

байт - группа из 8 бит. старшинство байтов:

7 6 5 4 3 2 1 0

байт -> 0000.0000

старший бит младший бит

2³ 2² 2¹ 2⁰

Два байта составляют слово.

Выбрав систему счисления, мы определили, что телательно получить информацию о системе в коде 8421 => наше устройство не вполне универсально нуждается в кодировании, с учетом выбора уровней квантования. Не всем вопрос, как обработать входную информацию. => след. лекция.