

Лекции по ИИТ и электронике для студентов 3Ф

СШФ СФУ
П.Черёмушки
2017год



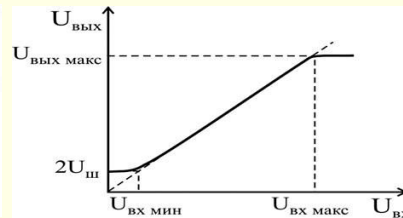
Усилители электрических сигналов. Характеристики электронных усилителей, идеальный усилитель.

Усилителем электрических сигналов называется устройство, предназначенное для усиления мощности сигнала, поданного на его вход.

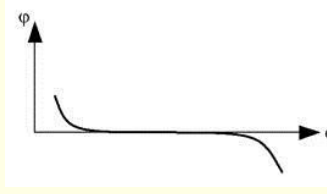
Процесс усиления основан на преобразовании активным элементом (биполярным, полевым транзистором, лампой) **энергии источника постоянного напряжения в энергию переменного напряжения на нагрузке** при изменении **сопротивления активного элемента** под действием входного сигнала.



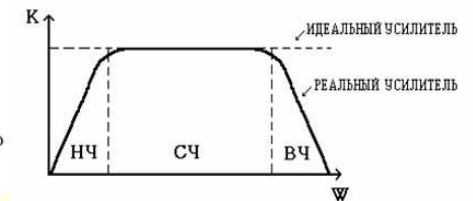
Структурная схема



Амплитудная х-ка



Фазовая х-ка



Амплитудно-част. х-ка

Коэффициент усиления или коэффициент передачи – отношение амплитуды выходного сигнала к амплитуде входного в установившемся режиме.

- коэффициент усиления по напряжению $K_u = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$
- коэффициент усиления по мощности $K_p = P_{\text{вых}}/P_{\text{вх}}$.
- коэффициент усиления по току $K_i = I_{\text{вых}}/I_{\text{вх}}$;
- Коэффициент нелинейных искажений (коэффициент гармоник)

$$K_r = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_1}} 100\%$$

Параметры усилителя:

- **Входное сопротивление** $Z_{\text{ВХ}} = \dot{U}_{\text{ВХ}} / \dot{I}_{\text{ВХ}}$ **Выходное сопротивление** $Z_{\text{ВЫХ}} = \dot{U}_{\text{ВЫХ}} / \dot{I}_{\text{ВЫХ}}$
- **Выходная мощность** – мощность на выходе усилителя при работе на расчетную нагрузку и заданном коэффициенте гармоник или нелинейных искажений .
- **К-т полезного действия** – $\eta = (P_{\text{вых}}/P_n)100\%$. **Динамический диапазон** – $D = U_{\text{вх макс}}/U_{\text{вх мин}}$.
- **Диапазон усиливаемых частот**– разность между верхней и нижней граничными частотами $D_f = f_v - f_n$
- **Чувствительность** (номинальное входное напряжение) – напряжение, которое нужно подать на вход усилителя, чтобы получить на выходе заданную мощность.

Усилительный каскад на транзисторе. Схемы включения. Принцип действия усилителя по схеме с ОЭ и его нагрузочная характеристика.

Усилительный каскад на транзисторе

В отсутствие внешних напряжений, между слоями устанавливается разность потенциалов.

Для того чтобы транзистор работал в режиме усиления, эмиттерный переход должен быть смещен в прямом направлении, а коллекторный в обратном. Это будет соответствовать активному режиму работы транзистора.

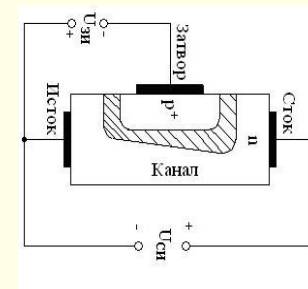
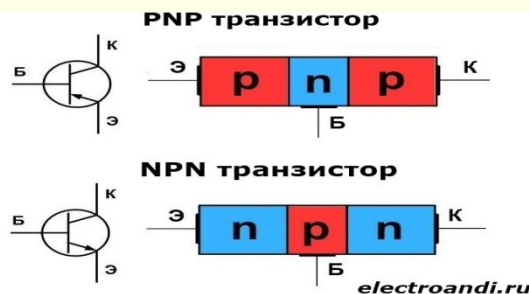
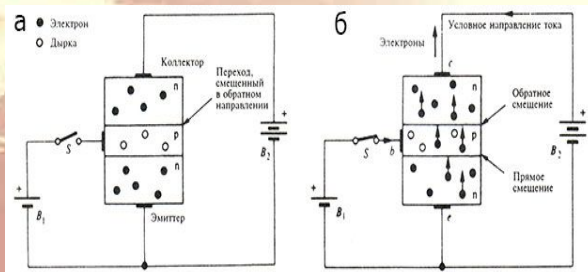
Основное соотношение для токов транзистора

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}}$$

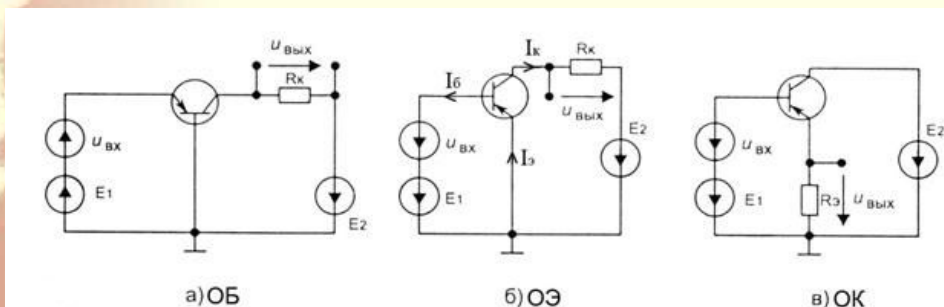
Ток коллектора можно выразить как

$$I_{\text{К}} = \alpha I_{\text{Э}} + I_{\text{К0}}$$

Из вышесказанного можно сделать вывод, что изменяя ток в цепи база – эмиттер, мы можем управлять выходным током коллектора. Причем незначительное изменение тока базы, вызывает значительное изменение тока коллектора.

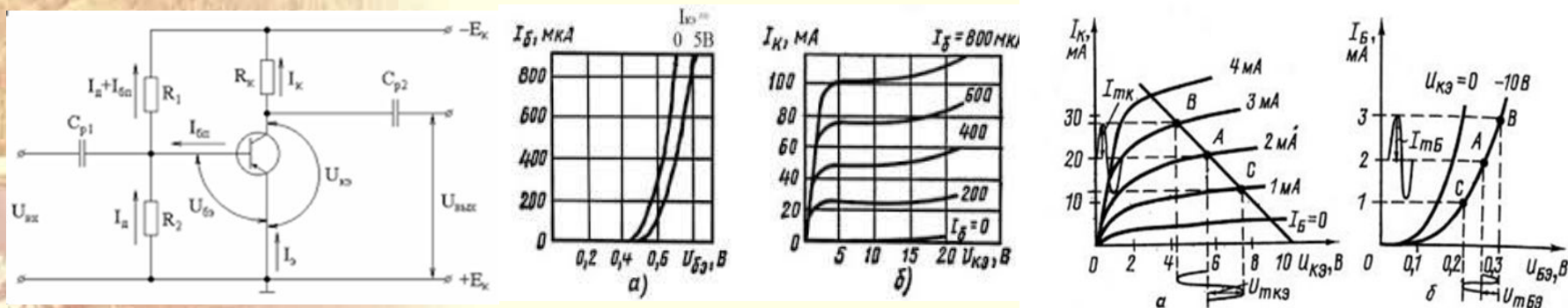


Схемы включения транзисторов



Усилительный каскад на транзисторе. Схемы включения. Принцип действия усилителя по схеме с ОЭ и его нагрузочная характеристика.

Принцип действия усилителя по схеме с ОЭ и его нагрузочная характеристика.



Усилитель по схеме с ОЭ

Входные и выходные х-ки транзистора

Нагрузочная характеристика ОЭ

Семейство входных ВАХ устанавливают зависимость входного тока (базы или эмиттера) от входного напряжения $U_{бэ}$ при $U_{кэ} = \text{const}$. Входные ВАХ транзистора аналогичны ВАХ диода в прямом включении.

Семейство выходных ВАХ устанавливает зависимость тока коллектора от напряжения на нем при определенном токе базы или эмиттера (в зависимости от схемы с общим эмиттером или общей базой).

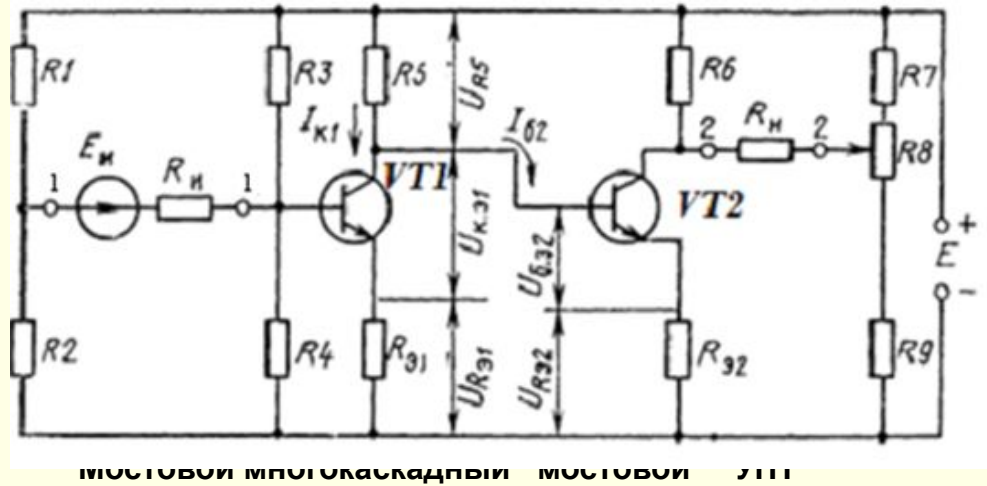
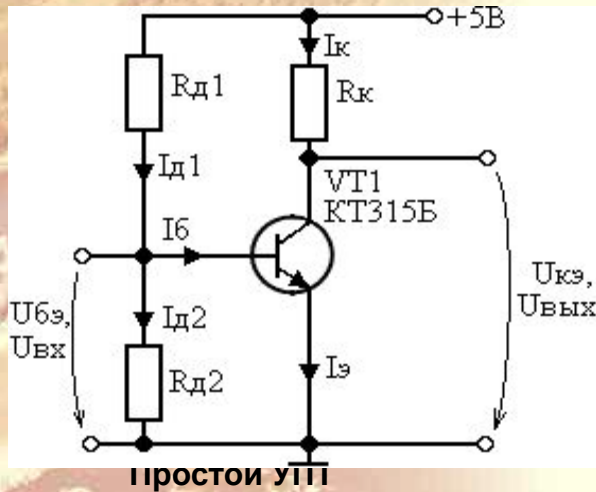
Принцип работы транзисторного усилителя основан на том, что с помощью небольших изменений напряжения или тока во входной цепи транзистора можно получить значительно большие изменения напряжения или тока в его выходной цепи.

Изменение напряжения эмиттерного перехода вызывает изменение токов транзистора. Это свойство транзистора используется для усиления электрических сигналов.

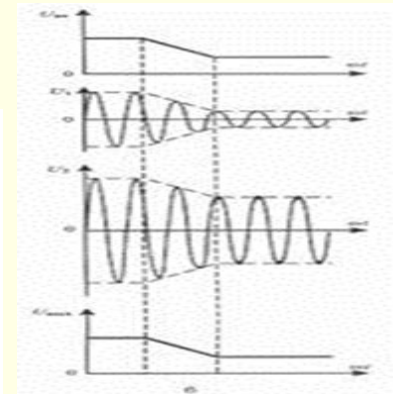
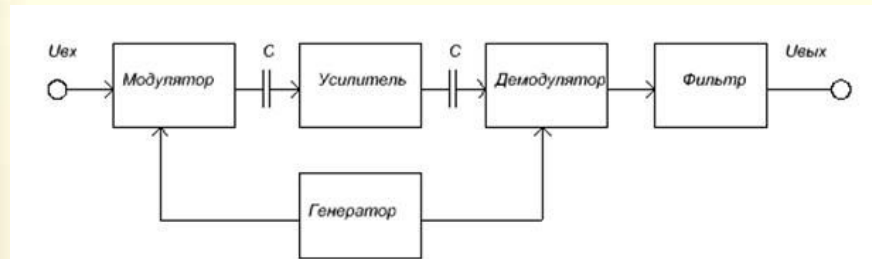
Для преобразования изменений коллекторного тока, возникающих под действием входных сигналов, в изменяющееся напряжение в коллекторную цепь транзистора включают нагрузку. Нагрузкой чаще всего служит резистор или колебательный контур.

Усилители постоянного тока (простой, мостовой, многокаскадный, непрямого действия). Дрейф нуля усилителей.

Усилителями постоянного тока (УПТ) называются устройства, предназначенные для усиления медленно изменяющихся сигналов вплоть до нулевой частоты



УПТ непрямого действия (МДМ -усилитель)



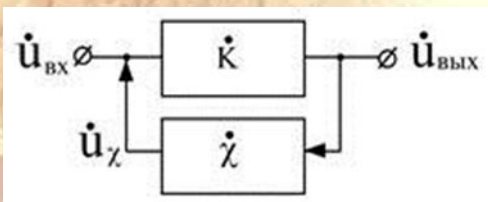
Дрейфом нуля называется самопроизвольное отклонение напряжения или тока на выходе усилителя от начального значения

Абсолютным дрейфом нуля

($\Delta U_{\text{вых}}$), называется максимальное самопроизвольное статическое выходное напряжение УПТ при замкнутом входе за определенный промежуток времени. Качество УПТ обычно оценивают по напряжению дрейфа нуля, приведенного ко входу усилителя: $E_{\text{др}} = \Delta U_{\text{вых}} / K_{\text{и}}$

Типы обратных связей в усилителях. Формула коэффициента усиления в усилителе с обратной связью.

Формула коэффициента усиления в усилителе с обратной связью.

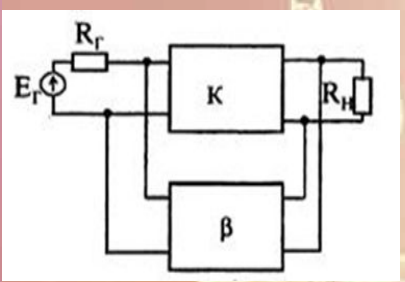


$$\begin{aligned}
 1. \quad i_1 &= i_{\text{вх}} + i_\gamma & 2. \quad K &= \frac{i_{\text{вых}}}{i_1} \\
 3. \quad i_{\text{вых}} &= K i_1 = K(i_{\text{вх}} + i_\gamma) = K(i_{\text{вх}} + \gamma i_{\text{вых}}) \\
 4. \quad i_{\text{вых}}(1 - K\gamma) &= K i_{\text{вх}} & 5. \quad K_{\text{ос}} &= \frac{i_{\text{вых}}}{i_{\text{вх}}} = \frac{K}{1 - K\gamma}
 \end{aligned}$$

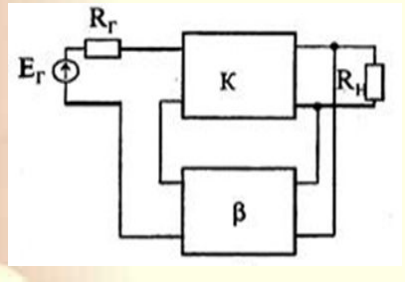
При глубокой отрицательной обратной связи коэффициент усиления усилителя с обратной связью равен:

$$K_{\text{ос}} = \frac{K}{1 + K\gamma} \approx \frac{K}{K\gamma} = \frac{1}{\gamma}$$

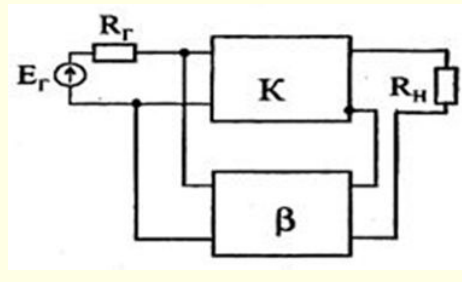
Типы обратных связей в усилителях



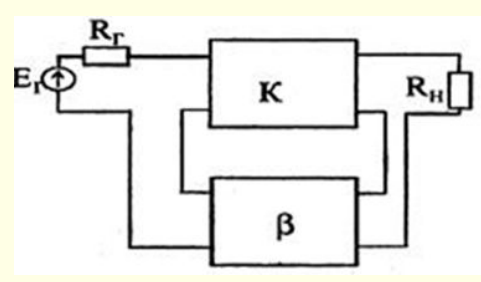
Параллельная ООС по напряжению



Последовательная ООС по напряжению



Параллельная ООС по току

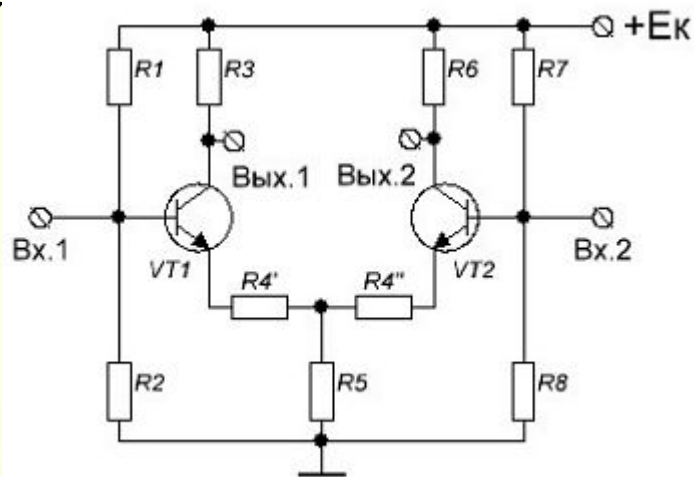


Последовательная ООС по току

Дифференциальный усилитель (схема, коэффициент усиления разностного и синфазного сигналов).

Усилитель, выполненный по схеме электрического моста, называется **дифференциальным усилителем** и предназначен усиления разности между двумя входными сигналами.

Нормальная работа схемы обеспечивается симметрией электрического моста, в этом случае **при отсутствии входного сигнала со стороны входа (Вх.1 и Вх.2) напряжение на выходе будет равно нулю** в независимости от изменения напряжения питания



Если токи будут изменяться одинаково и одновременно в обеих ветвях схемы (синфазный сигнал), то и в этом случае, если ДУ идеально симметричен, выходное напряжение будет равно нулю. **Усиление синфазного сигнала, и «дрейф нуля» на выходе полностью будет отсутствовать.**

Дифференциальными сигналами называют сигналы одинаковой амплитуды, но противоположные по фазе, присутствующие на входах дифференциального усилителя независимо от точки заземления усилителя.

Если на оба входа подать **одинаковые по уровню, но разные по фазе сигналы**, то в результате ток одного транзистора увеличится, а другого на столько же уменьшится. В этом случае разность потенциалов между коллекторами будет пропорциональна **удвоенному значению изменения напряжения на коллекторе транзисторов**, т.е. **в отличие от синфазного сигнала дифференциальный сигнал усиливается!**

Операционные усилители (определение, структурная схема). Схемы включения ОУ и коэффициенты усиления (передачи)

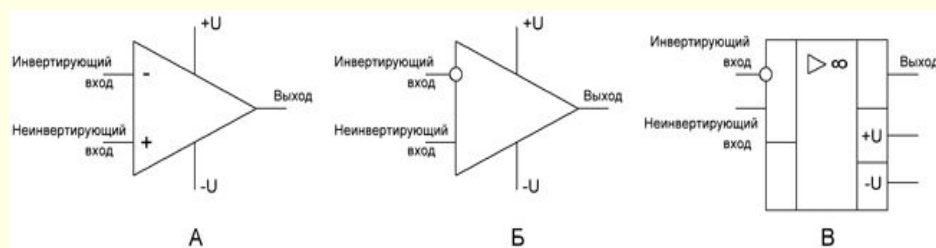
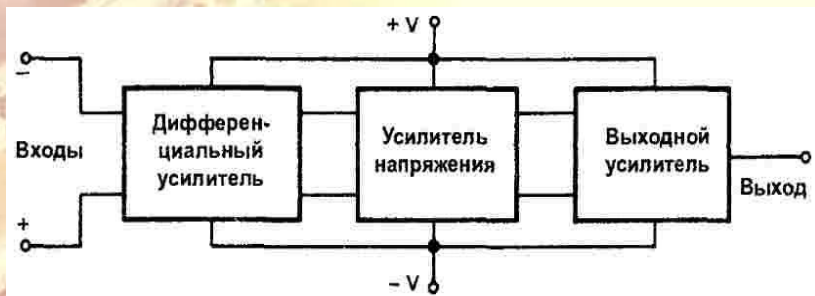
Операционный усилитель — это усилитель постоянного тока с очень высоким усилением.

Операционный усилитель состоит из трех каскадов. Каждый каскад является усилителем со своими характерными особенностями.

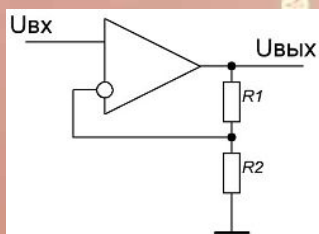
Входной каскад — это дифференциальный усилитель.

Второй каскад — это усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления.

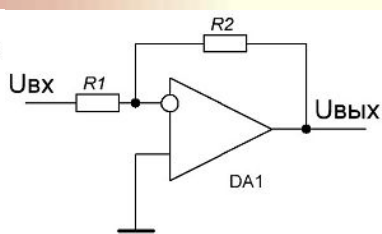
Последний каскад — это выходной усилитель. Обычно это эмиттерный повторитель на комплементарных транзисторах. Он используется для того, чтобы операционный усилитель имел низкое выходное сопротивление.



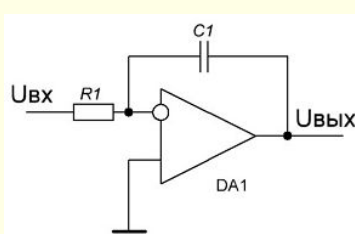
Схемы на ОУ



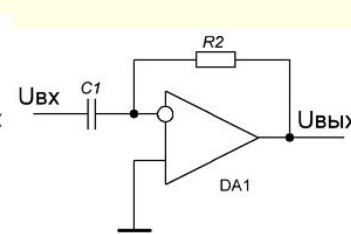
Неинвертирующий



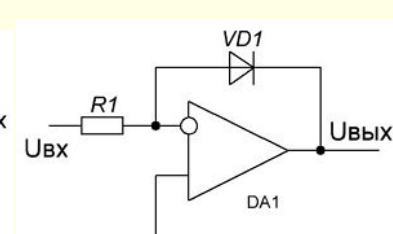
Инвертирующий



Интегратор



Дифференциатор



Логарифмический усил.

$$K_{yc} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = \frac{R1 + R2}{R2} = 1 + \frac{R1}{R2}$$

$$K_{yc} = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = -\frac{R2}{R1}$$

$$U_{вых} = -\frac{1}{R1C1} \int U_{вх} dt$$

$$U_{вых} = -RC \frac{dU_{вх}}{dt}$$

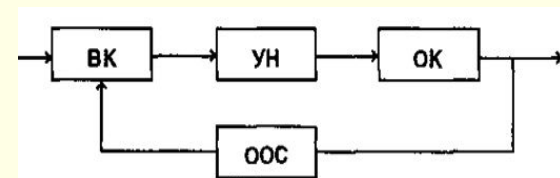
$$U_{вых} = -\Phi_T \left(\ln \frac{U_{вх}}{R1} - \ln I_0 \right)$$

применение на ОУ реализуется схемой повтор

аторов, сумматоров и др.

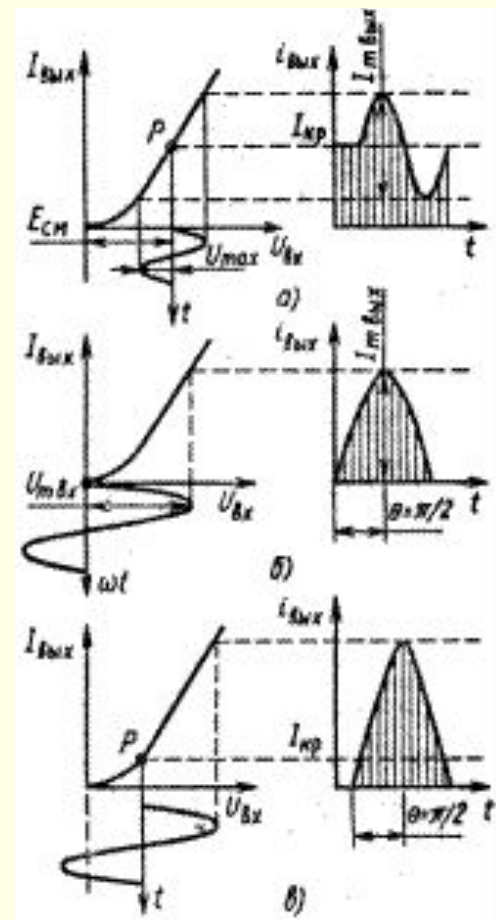
Усилитель мощности: определение, назначение, структурная схема. Выбор рабочей точки (режим А, В, АВ)

Усилители мощности (УМ) предназначены для передачи больших мощностей сигнала без искажений в низкоомную нагрузку. Обычно они являются выходными каскадами многокаскадных усилителей. Основной задачей УМ является выделение в нагрузке возможно большей мощности сигнала, усиление напряжения в нем является второстепенным фактором.



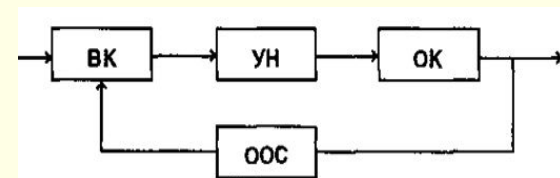
Выбор рабочей точки (режим А, В, АВ)

- **В режиме класса А** выбор рабочей точки покоя, например для БТ, производится таким образом, чтобы входной сигнал полностью помещался на линейном участке входной ВАХ транзистора. УМ в этом режиме будет иметь минимальные НИ (обычно $KГ \leq 1\%$) и малый КПД.
- **Режим класс В.** В режиме покоя транзистор закрыт и не потребляет мощности от источника питания, а открывается только в течение половины периода входного сигнала. Значение КПД до 70%. Основной недостаток УМ класса В — большой уровень НИ ($KГ \leq 10\%$). Применяется в двухтактных УМ
- **Режим класса АВ** занимает промежуточное значение между режимами класса А и В и применяется в двухтактных УМ. В режиме покоя через транзистор протекает небольшой ток покоя $I_{к0}$, выводящий основную часть рабочей полуволны входного гармонического сигнала на участок ВАХ с относительно малой нелинейностью.



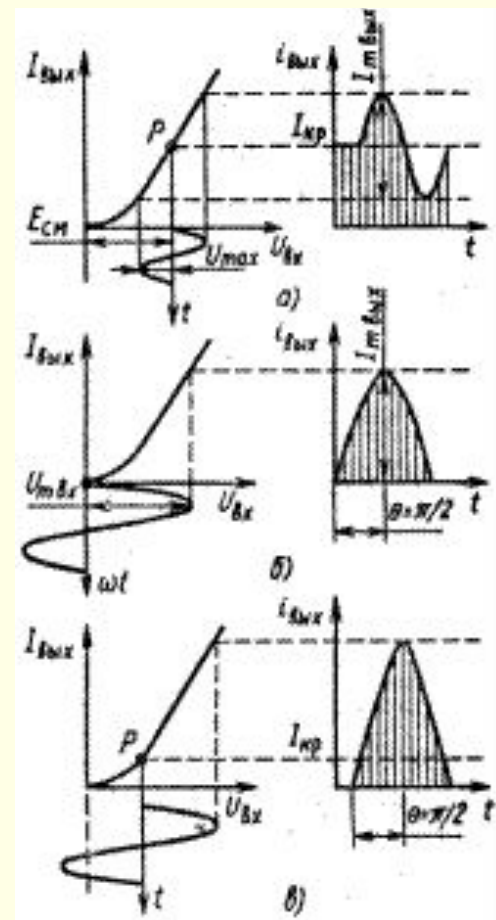
Усилитель мощности: определение, назначение, структурная схема. Выбор рабочей точки (режим А, В, АВ)

Усилители мощности (УМ) предназначены для передачи больших мощностей сигнала без искажений в низкоомную нагрузку. Обычно они являются выходными каскадами многокаскадных усилителей. Основной задачей УМ является выделение в нагрузке возможно большей мощности сигнала, усиление напряжения в нем является второстепенным фактором.



Выбор рабочей точки (режим А, В, АВ)

- **В режиме класса А** выбор рабочей точки покоя, например для БТ, производится таким образом, чтобы входной сигнал полностью помещался на линейном участке входной ВАХ транзистора. УМ в этом режиме будет иметь минимальные НИ (обычно $KГ \leq 1\%$) и малый КПД.
- **Режим класс В.** В режиме покоя транзистор закрыт и не потребляет мощности от источника питания, а открывается только в течение половины периода входного сигнала. Значение КПД до 70%. Основной недостаток УМ класса В — большой уровень НИ ($KГ \leq 10\%$). Применяется в двухтактных УМ
- **Режим класса АВ** занимает промежуточное значение между режимами класса А и В и применяется в двухтактных УМ. В режиме покоя через транзистор протекает небольшой ток покоя $I_{к0}$, выводящий основную часть рабочей полуволны входного гармонического сигнала на участок ВАХ с относительно малой нелинейностью.



Усилители мощности: трансформаторные, бестрансформаторные, одноконтные и двухконтные.

Когда требуется большая выходная мощность, применяются усилители мощности.

Они характеризуются высоким коэффициентом усиления по мощности, который достигается за счет высокого коэффициента усиления по току.

- **Одноконтный трансформаторный усилитель мощности режим класс А**

Для получения неискаженного выходного сигнала усилитель должен работать в режиме класса А. КПД такого усилителя мощности очень мал из-за большого тока, потребляемого от источника питания. От этого усилителя можно получить только небольшую мощность при высоком качестве выходного сигнала.

- **Двухконтный трансформаторный усилитель мощности режим класс В**

Из-за отсутствия начального смещения рабочей точки и нелинейного участка в начале передаточной характеристики усилителя появляются искажения выходного сигнала типа «ступенька».

- **Двухконтный трансформаторный усилитель мощности режим класс АВ**

Из-за наличия начального смещения рабочей точки (резисторы R1 и R2) влияние нелинейного участка в начале передаточной характеристики усилителя исключается, качество выходного сигнала значительно выше.

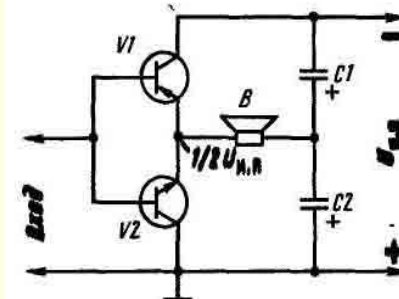
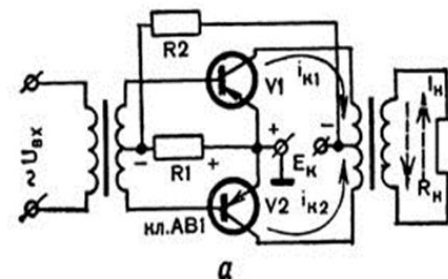
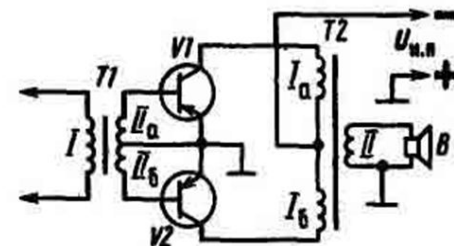
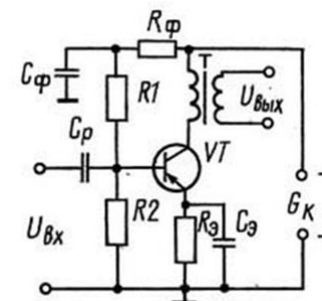
Двухконтные каскады усиления мощности выполняются и по схемам, исключающим применение трансформаторов.

Двухконтный бестрансформаторный усилитель мощности режим класс В

Эту задачу решают последовательным включением транзисторов в схему. Каскад питают источники +E и - E, имеющих общую точку, а нагрузку подключают между точкой соединения эмиттеров транзисторов и общей точкой источников питания.

В первом такте транзистор V1 усиливает положительную полуволну входного напряжения, а транзистор V2 заперт. Во втором такте усиливается другая полуволна сигнала транзистором V2 при закрытом транзисторе V1. Недостатки схемы:

необходимость в двух источниках питания, искажения выходного сигнала типа «ступенька».



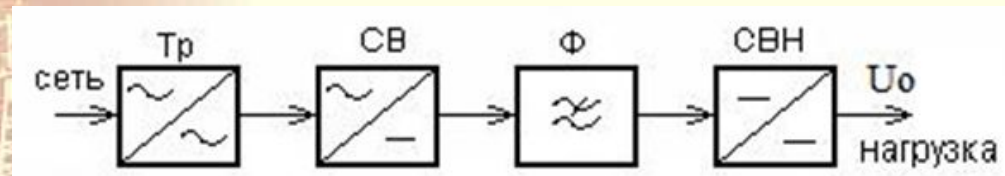
Вторичные источники электропитания : назначение, структурные схемы.

Вторичный источник электропитания — устройство, предназначенное для обеспечения питания электроприбора электрической энергией, при соответствии требованиям её параметров: напряжения, тока, и так далее путём преобразования энергии других источников питания (эл. сеть 220 В, химический источник тока и др.)

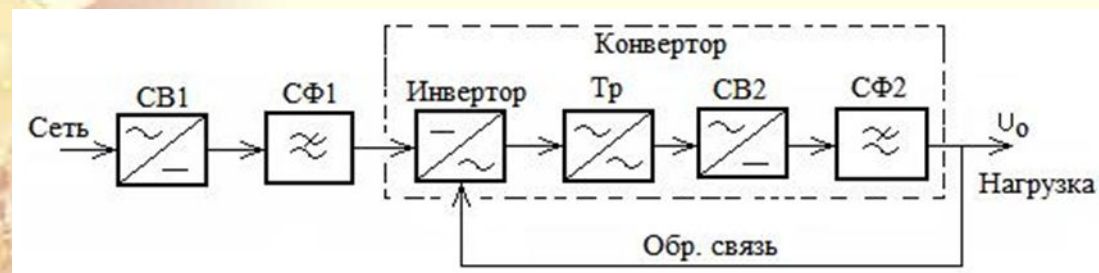
Задачи вторичного источника питания

- Преобразование формы напряжения
- Преобразование величины напряжения — как повышение, так и понижение.
- Стабилизация — напряжение, ток и другие параметры на выходе источника питания.
- Гальваническая развязка цепей
- Регулировка в процессе эксплуатации

Вторичный источник электропитания с сетевым трансформатором



Вторичный источник электропитания с бестрансформаторным входом

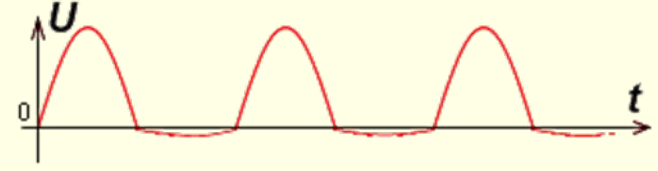
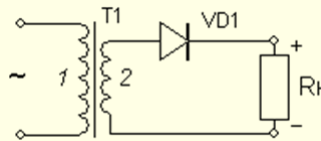


Выпрямители: назначение, схемы выпрямителей (однополупериодные , двухполупериодные , мостовые, трехфазные). Эюры напряжений ,сравнительные характеристики.

Выпрямитель - статическое устройство, служащее для преобразования переменного тока источника электроэнергии (сети) в постоянный. Выпрямитель состоит из трансформатора, вентильной группы и сглаживающего фильтра

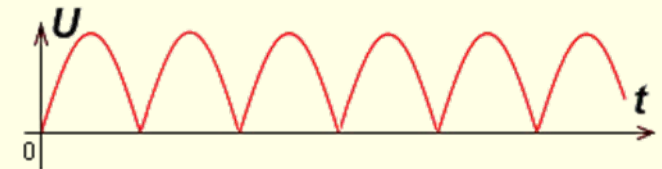
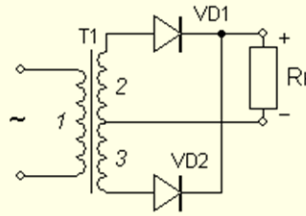
- Однополупериодный выпрямитель

$$U_0 = I_0 R_H = \left(\frac{I_{2max}}{\pi} \right) R_H = \frac{U_{2max}}{\pi} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} = 0,45U_2;$$



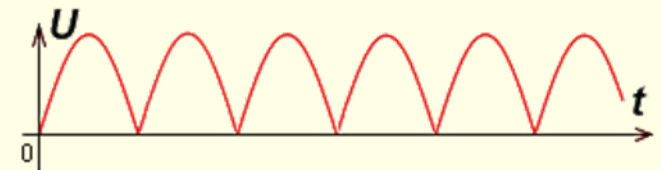
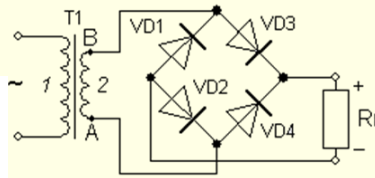
- двухполупериодный выпрямитель

$$I_0 = \left(\frac{2}{\pi} \right) I_{2max} \text{ и } U_0 = \left(\frac{2}{\pi} \right) U_{2max} = \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) U_2 \approx 0,9U_2.$$



- мостовой выпрямитель

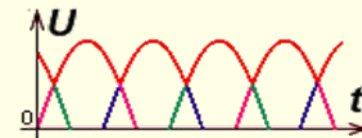
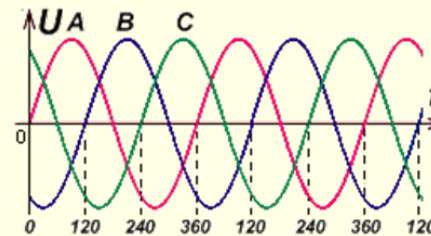
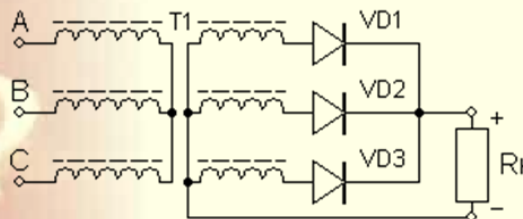
$$I_0 = \left(\frac{2}{\pi} \right) I_{2max} \text{ и } U_0 = \left(\frac{2}{\pi} \right) U_{2max} = \left(\frac{2\sqrt{2}}{\pi} \right) U_2 \approx 0,9U_2.$$



- Трёхфазный выпрямитель (Схема Ларионова)

$$U_0 = \left(\frac{3\sqrt{3}}{2\pi} \right) U_{2max} \approx 0,827U_{2max} \approx 1,17U_2;$$

$$U_{обр} = \sqrt{3} \cdot U_{2max} \approx 2,09U_0,$$



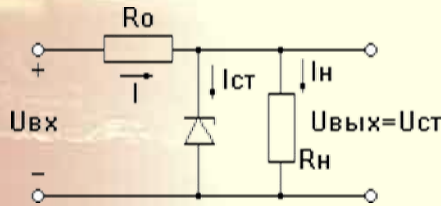
Стабилизаторы напряжения : определение , типы стабилизаторов . Параметрический стабилизатор, компенсационный стабилизатор - принципиальные схемы , принцип действия.

Для работы электронных схем необходимы источники постоянного напряжения. Если отклонения напряжения превышают допустимую величину, в схемы источников вводят **стабилизаторы– устройства обеспечивающие стабильность выходного напряжения.**

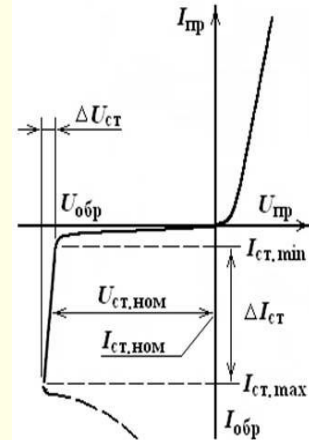
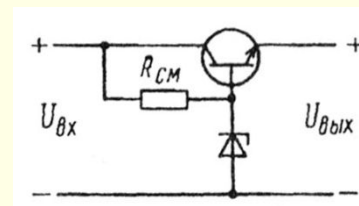
Существуют два типа стабилизаторов: **параметрические и компенсационные**

• В **параметрических стабилизаторах** напряжения в качестве регулирующих используют нелинейные элементы, имеющие участок ВАХ, на котором напряжение остается неизменным при изменении тока. Такой участок имеет обратная ветвь ВАХ стабилитрона.

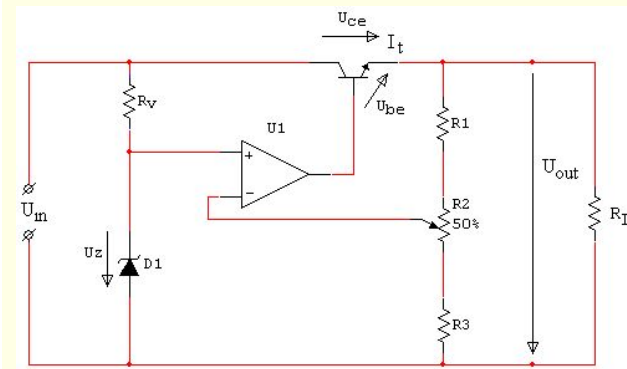
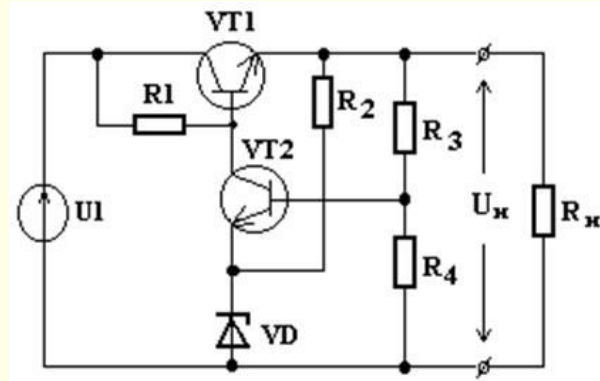
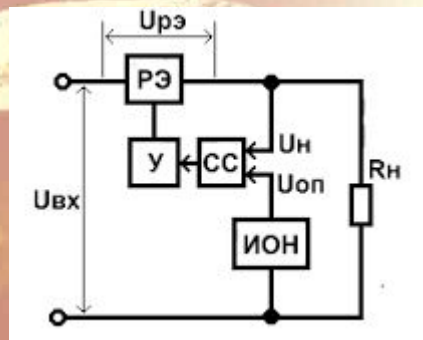
Простой
Параметрический



Параметрический с эмитерным повторителем

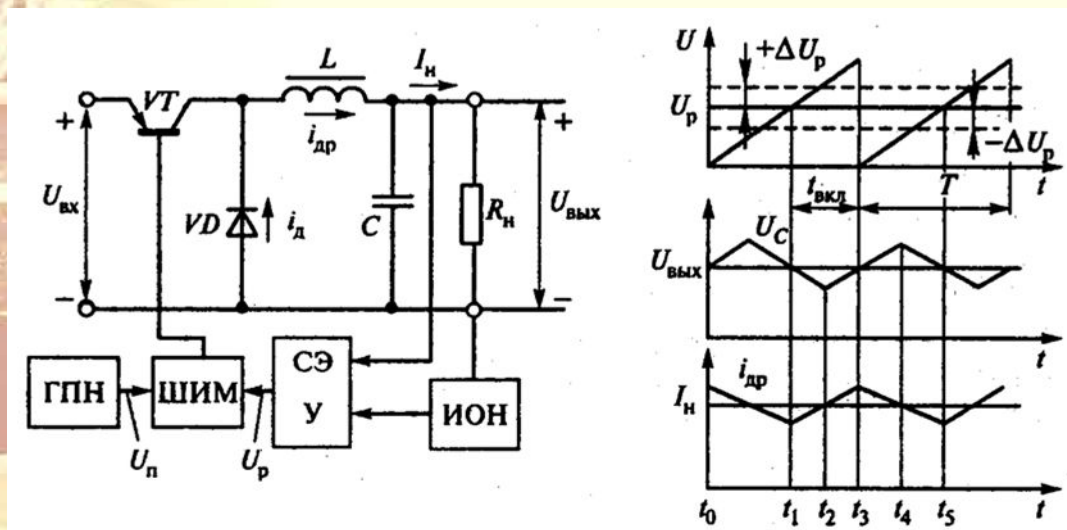


• **Компенсационный стабилизатор** представляет систему автоматического регулирования, в которой сопротивление регулирующего элемента изменяется под действием управляющего напряжения $U_{упр}$ полученного в результате сравнения выходного и эталонного (опорного) напряжений



Импульсный стабилизатор напряжения: структурная схема, принцип действия, достоинства и недостатки .

Импульсный стабилизатор напряжения, или ключевой стабилизатор напряжения — это стабилизатор напряжения, в котором **регулирующий элемент работает в ключевом режиме**, то есть регулирующий элемент находится или в режиме отсечки, когда его сопротивление максимально, или в режиме насыщения — с минимальным сопротивлением. Сглаживание пульсаций выходного напряжения происходит благодаря наличию интегрирующего элемента, способного накапливать электрическую энергию и отдавать её в нагрузку. **Импульсный стабилизатор напряжения позволяет значительно снизить потери энергии по сравнению с линейным стабилизатором.**

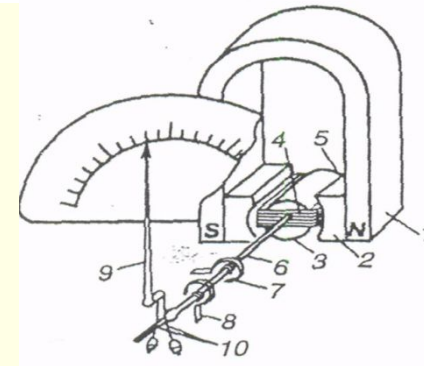


Достоинства: высокий КПД, малые габариты и вес, гальваническая развязка, большой диапазон питающих напряжений

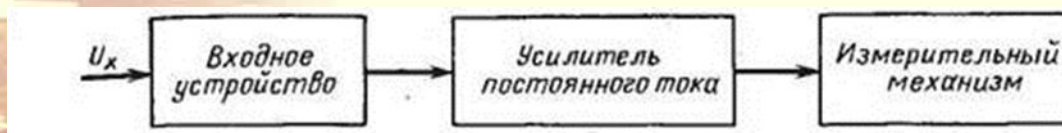
Недостатки: сложность, импульсные помехи, претензии к надежности.

Аналоговые электронные вольтметры постоянного тока: структурная схема, принцип действия основных частей, характеристики, недостатки .

Измерительный механизм — совокупность элементов средства измерений, которые обеспечивают необходимое перемещение указателя (стрелки, светового пятна и т. д.) Пример — **магнитоэлектрический прибор**. **Достоинством** приборов магнитоэлектрической системы являются равномерность шкалы, высокая точность и независимость показаний от посторонних магнитных полей. **К недостаткам** их относятся непригодность для измерения переменного тока, необходимость соблюдения полярности при включении и чувствительность к перегрузкам.



Электронные вольтметры постоянного тока выполняются по схеме



Измеряемое напряжение U , подается на **входное устройство**, представляющее собой многопредельный высокоомный делитель на резисторах.

С делителя напряжение поступает на **усилитель постоянного тока** и далее — на измерительный механизм. **Делитель и усилитель постоянного тока ослабляют или усиливают напряжение до значений, необходимых для нормальной работы измерительного механизма.**

Одновременно **усилитель обеспечивает согласование высокого сопротивления входной цепи прибора с низким сопротивлением катушки измерительного механизма.**

Входное сопротивление электронного вольтметра составляет обычно несколько десятков мегаом. Это позволяет производить измерения в высокоомных цепях без заметного потребления мощности от объекта измерения.

Диапазон, измеряемых напряжений постоянного тока — от десятков милливольт до нескольких киловольт.

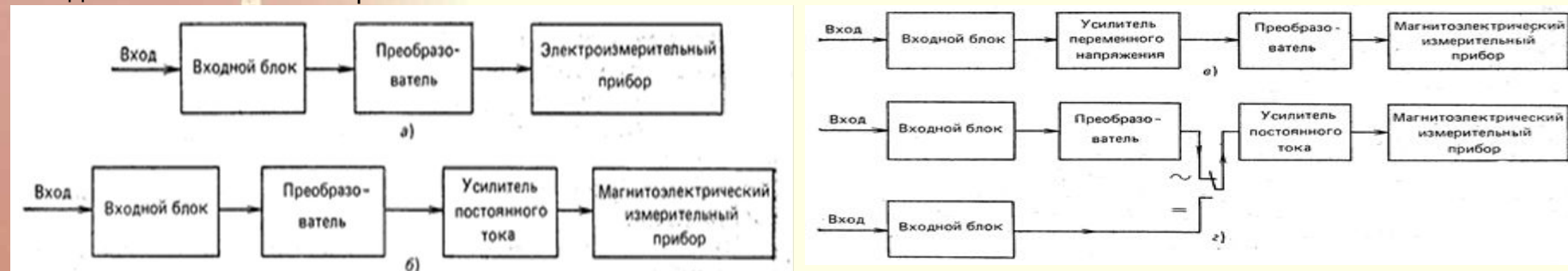
Электронные вольтметры переменного напряжения: классификация, параметры измеряемого переменного напряжения, структурные схемы

Вольтметры переменного тока.

Такие вольтметры состоят из преобразователя переменного напряжения в постоянное, усилителя и магнитоэлектрического измерительного механизма. Возможны две структурные схемы вольтметров переменного тока:

- измеряемое напряжение их сначала преобразуется в постоянное напряжение, которое затем подается на УПТ и являющиеся, по существу, вольтметром постоянного тока. Преобразователь представляет собой малоинерционное нелинейное звено, поэтому вольтметры с такой **структурой могут работать в широком частотном**. В то же время **недостатки УПТ и особенности работы нелинейных элементов при малых напряжениях** не позволяют делать такие вольтметры высокочувствительными. Обычно их верхний предел измерений при максимальной чувствительности составляет десятки — единицы милливольт.

В вольтметрах, выполненных по схеме в), благодаря предварительному усилению удастся повысить чувствительность. Однако создание усилителей переменного тока с **большим коэффициентом усиления, работающих в широком диапазоне частот**, — трудная техническая задача. Поэтому такие вольтметры имеют относительно низкий частотный диапазон (1 — 10 МГц); верхний предел измерений при максимальной чувствительности составляет десятки или сотни микровольт.

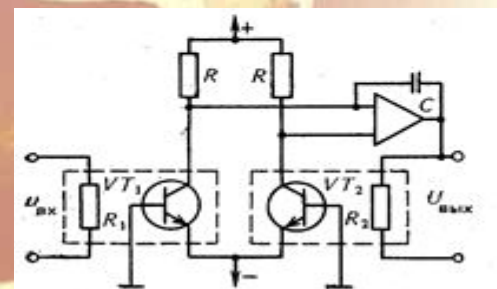
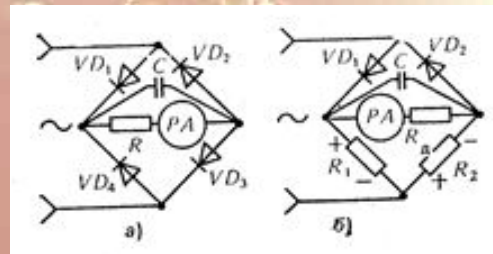
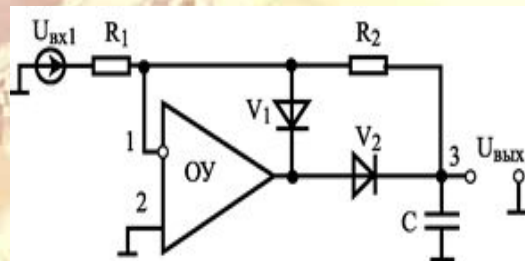


В зависимости от вида преобразователя переменного напряжения в постоянное отклонения указателя измерительного механизма вольтметров могут быть пропорциональны **амплитудному (пиковому), среднему (средневыпрямленному) или действующему (среднеквадратичному)** значениям измеряемого напряжения.

Виды преобразователей переменного напряжения: пиковый, средневывпрямленных и среднеквадратичных значений.

Формулы преобразования

В зависимости от характера изменений напряжения во времени различают постоянное и переменное напряжение. В свою очередь, переменное напряжение можно разделить на периодическое и непериодическое. Для периодически изменяющегося напряжения его форма может быть произвольна. Обычно на практике измеряют постоянное напряжение и параметры переменного напряжения. Такими параметрами являются: амплитудное, среднее, средневывпрямленное и среднеквадратичское значения напряжения.



Амплитудное (пиковое) значение u_m - наибольшее мгновенное значение напряжения $u(t)$ за время измерения T . Если сигнал – несимметричный, то различают положительное u_m^+ (максимальное) и отрицательное u_m^- (минимальное) значения.

Среднее значение u_{cp} - среднее за время измерения значение напряжения, которое определяется выражением

$$u_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt.$$

Среднее значение, по существу, является постоянной составляющей сигнала за время T .

Средневывпрямленное значение $u_{cp.n.}$ - среднее за время измерения T значение модуля напряжения:

$$u_{cp.n.} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt.$$

Среднеквадратичское значение u - корень квадратный из среднего за время измерения квадрата напряжения:

$$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt.}$$

Электронный осциллограф: назначение, принцип действия ЭЛТ, структурная схема осциллографа, его характеристики.

Основное назначение электронно-лучевой трубки — образование видимого изображения с помощью электрических сигналов.

Подводя к электродам трубки соответствующие напряжения, можно рисовать на ее экране графики переменных напряжения и токов, характеристики различных радиоустройств, а также получать движущиеся изображения

Структурная схема осциллографа

Канал вертикального отклонения Y, или канал сигнала,

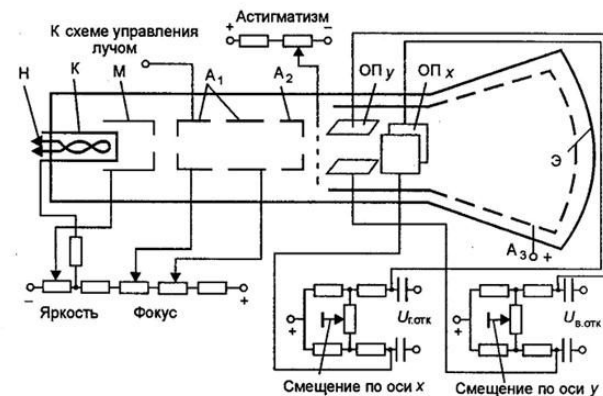
предназначен для передачи напряжения источника исследуемого сигнала на вход вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входной блок в этом канале содержит аттенюатор, позволяющий ослабить исследуемый сигнал в определенное число раз а согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением, кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; эмиттерный повторитель, уменьшающий влияние канала вертикального отклонения на источник исследуемого сигнала и позволяющий получить высокое сопротивление.

Линия задержки (в импульсных осциллографах) обеспечивает подачу исследуемого импульса на вертикально отклоняющие

пластины с задержкой относительно начала горизонтально отклоняющего напряжения, что дает возможность

наблюдать фронт импульса. Усилитель вертикального отклонения усиливает исследуемый сигнал, подаваемый со входного устройства, до значения, позволяющего получить достаточно большой размер видимого вертикального отклонения луча (размах изображения сигнала) на экране ЭЛТ.



Электронный осциллограф: назначение, принцип действия ЭЛТ, структурная схема осциллографа, его характеристики.

Основные характеристики осциллографа

Полоса пропускания

Количество лучей(каналов) ЭЛТ

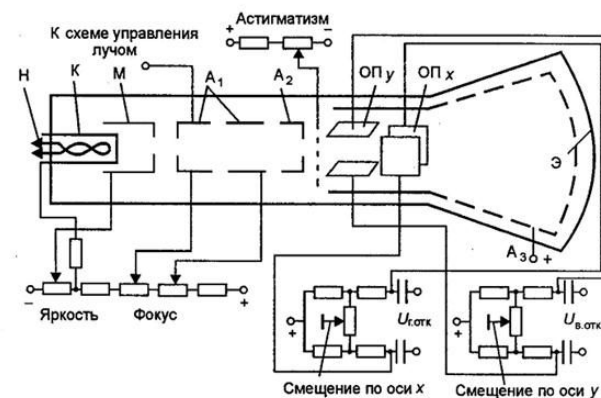
Диапазон измеряемых напряжений

Диапазон измеряемых интервалов времени

Время нарастания ПХ

Структурная схема осциллографа

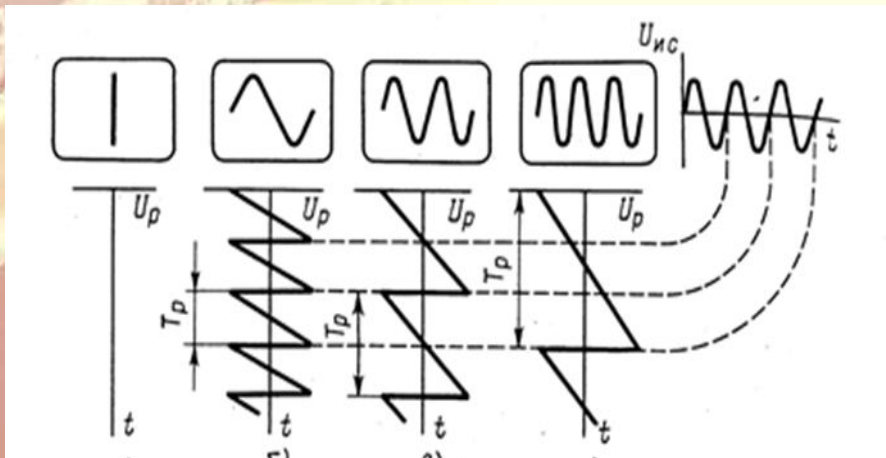
Канал горизонтального отклонения X, или канал развертки, служит для создания напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени. Вторая функция этого канала — усиление (ослабление) сигнала, передаваемого от входа X на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. В состав канала входят генератор развертывающего напряжения, создающего горизонтальное отклонение луча; усилитель, усиливающий вырабатываемое генератором напряжение до значения, необходимого для отклонения луча в горизонтальном направлении; схема синхронизации, предназначенная для преобразования и усиления, а также изменения полярности синхронизирующего напряжения, с помощью которого пользователь осциллографа получает устойчивую неискаженную осциллограмму, оптимальную в смысле точности измерения временных параметров исследуемого сигнала.



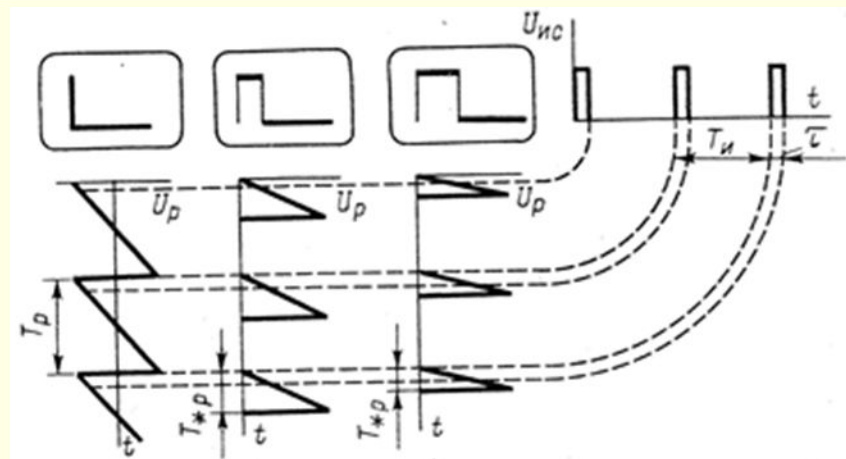
Развертки осциллографа: получение осциллограмм синусоидального и импульсного сигналов.

Развертка – это линия, которую вычерчивает луч на экране ЭЛТ при отсутствии исследуемого сигнала в результате действия только одного напряжения развертки.

Линейная развертка создается пилообразным напряжением генератора развертки, при этом луч вычерчивает прямую горизонтальную линию на экране ЭЛТ. В зависимости от режима работы генератора развертки линейная развертка подразделяется на несколько видов: **непрерывная (автоколебательная); ждущая; однократная.**



Непрерывная развертка синусоидального сигнала



Ждущая развертка импульсного сигнала

Элементы цифровой техники. Понятие электронных логических схем и логических элементов. Логические элементы "НЕ", "ИЛИ", "И": обозначения, схемы, таблицы истинности.

Основные положения алгебры логики

Логической переменной называют входную величину, которая может принимать только два противоположных значения: $x = 1$ или $x = 0$.

Логической функцией называют зависимость выходной величины от входных, и сам выходной сигнал, который тоже может принимать только два значения: $y = 1$ или $y = 0$.

Логическая операция — это действие, которое совершает логический элемент с логическими переменными в соответствии с логической функцией.

Устройства, предназначенные для формирования **функций алгебры логики**, называются **логическими устройствами**.

Любые цифровые микросхемы строятся на основе простейших логических элементов:

"НЕ" — выполняет функцию инвертирования;

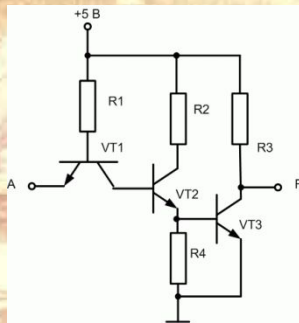
"И" — выполняет функцию логического умножения.

"ИЛИ" — выполняет функцию логического суммирования;

Название элемента	Условное обозначение элемента	Таблица истинности			Условное обозначение логической операции	Контактно-релейная схема
		X2	X1	Y		
2И		0	0	0	$X1 * X2$ $X1 \wedge X2$	
		0	1	0		
		1	0	0		
		1	1	1		
2ИЛИ		0	0	0	$X1 + X2$ $X1 \vee X2$	
		0	1	1		
		1	0	1		
		1	1	1		
НЕ		0	1	\bar{X} $1X$		
		1	0			
2И-НЕ		0	0	1	$\overline{X1 * X2}$ $\neg(X1 \wedge X2)$	
		0	1	1		
		1	0	1		
		1	1	0		
2ИЛИ-НЕ		0	0	1	$\overline{X1 + X2}$ $\neg(X1 \vee X2)$	
		0	1	0		
		1	0	0		
		1	1	0		
Исключающее ИЛИ		0	0	0	$X1 \oplus X2$	
		0	1	1		
		1	0	1		
		1	1	0		

Примеры реализации логических элементов TTL, КМОП: схемы, обозначения, логические функции.

Схемы транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ) базируются на биполярных транзисторах pnp-структуры. Базовым элементом данной технологии является схема И-НЕ. Логическое умножение осуществляется за счет свойств многоэмиттерного транзистора.



Инвертор («НЕ»)

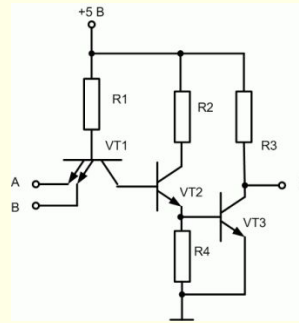


Схема «2И-НЕ»

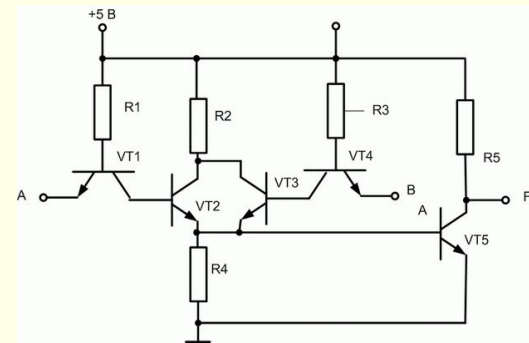
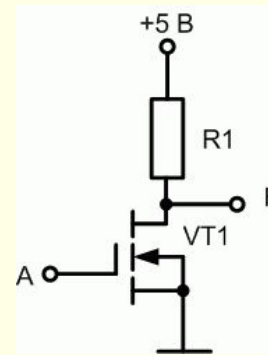


Схема «2ИЛИ-НЕ»

Логические элементы КМОП-технологии

Схемы КМОП-технологии базируются на полевых (МОП) транзисторах с индуцированным каналом n-типа. Базовым элементом данной технологии является схема И-НЕ. Логическое умножение осуществляется за счет последовательного соединения каналов транзисторов VT1 и VT2. Канал между истоком и стоком в КМОП-транзисторе индуцируется в том случае, когда на затвор (вход схемы) подается положительный относительно подложки потенциал.



Инвертор («НЕ»)

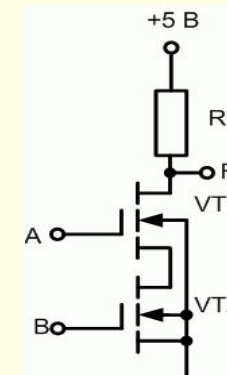


Схема «2И-НЕ»

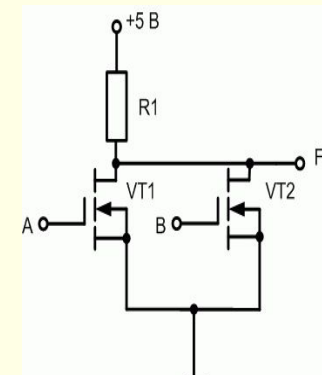


Схема «2ИЛИ-НЕ»

Основные правила алгебры логики (Булевой алгебры): правила сложения, умножения, соотношения де Моргана

Одним из мощных методов решения логических задач является решение с помощью **законов алгебры логики**.

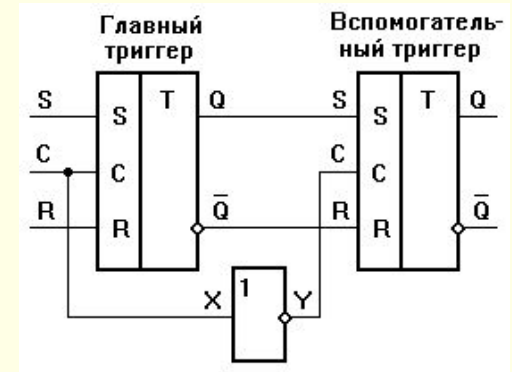
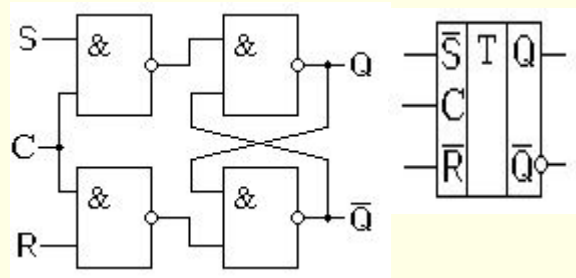
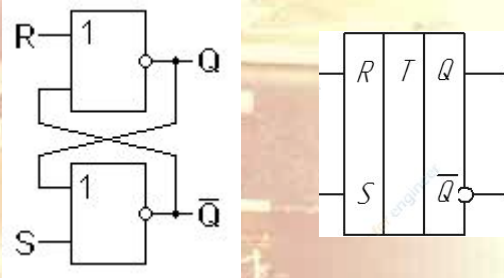
Законы алгебры логики

название	для И	для ИЛИ
двойного отрицания	$\overline{\overline{A}} = A$	
исключения третьего	$A \cdot \overline{A} = 0$	$A + \overline{A} = 1$
операции с константами	$A \cdot 0 = 0, A \cdot 1 = A$	$A + 0 = A, A + 1 = 1$
повторения	$A \cdot A = A$	$A + A = A$
поглощения	$A \cdot (A + B) = A$	$A + A \cdot B = A$
переместительный	$A \cdot B = B \cdot A$	$A + B = B + A$
сочетательный	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$	$A + (B + C) = (A + B) + C$
распределительный	$A + B \cdot C = (A + B) \cdot (A + C)$	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$
законы де Моргана	$\overline{A \cdot B} = \overline{A} + \overline{B}$	$\overline{A + B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$

Триггерные схемы, определение, виды триггеров: асинхронный RS-триггер, синхронный RS-триггер, двухтактный RS-триггер - эл. схемы, обозначения, таблицы истинности.

Триггеры — это устройства с двумя состояниями. Они предназначены для запоминания двоичной информации. Использование триггеров позволяет реализовывать устройства оперативной памяти (то есть памяти, информация в которой хранится только на время вычислений). Триггеры широко используются для построения цифровых устройств с памятью, таких как счётчики, преобразователи последовательного кода в параллельный, последовательные порты или цифровые линии задержки.

RS-триггеры



S	R	Q	\bar{Q}
0	0	хранение	хранение
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	запрет	запрет

Асинхронный RS-триггер

C	S	R	Q	\bar{Q}	Комментарий
0	x	x	$Q_{пред}$	$\bar{Q}_{юла}$	Хранение
1	0	0	$Q_{пред}$	$\bar{Q}_{юла}$	Хранение
1	1	0	1	0	Установка 1
1	0	1	0	1	Сброс в 0
1	1	1	0	0	Запрещенное состояние

x – не имеет значения

Синхронный RS-триггер

C	S	R	Q	\bar{Q}	Комментарий
0	x	x	$Q_{пред}$	$\bar{Q}_{юла}$	Хранение
1	0	0	$Q_{пред}$	$\bar{Q}_{юла}$	Хранение
1	1	0	1	0	Установка 1
1	0	1	0	1	Сброс в 0
1	1	1	0	0	Запрещенное состояние

x – не имеет значения

Синхронный двухтактный RS-триггер

JK- триггер, D-триггер, T-триггер - схема, принцип действия, таблицы истинности, сдвигающий регистр.

JK-триггер (универсальный RS-триггер)

JK-триггер работает аналогично RS-триггеру, но при подаче запрещенной комбинации перебрасывается в противоположное состояние.

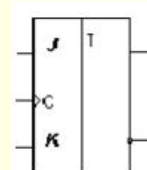
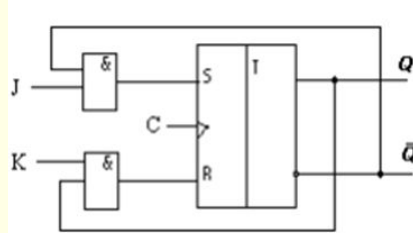


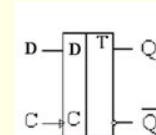
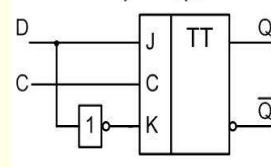
Таблица истинности работы JK-триггера

J	K	Q_t	\bar{Q}_t
0	0	хранение	хранение
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	\bar{Q}_{t+1}	Q_{t+1}

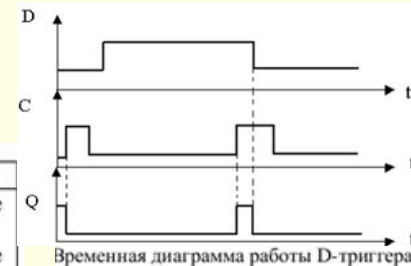
D-триггер (триггер задержки) (D-delay)

D-вход данных. По синхроимпульсу D-триггер переводит выход Q в то состояние, которое он имеет на входе, и с задержкой по времени. На базе D-триггера строятся счетчики и регистры.

D-триггер на основе JK-триггера



D	C	Q
0	0	хранение
0	1	0
1	0	хранение
1	1	1



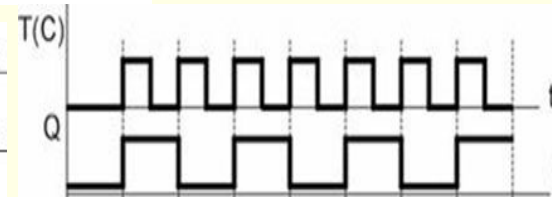
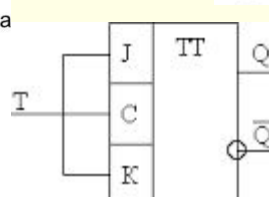
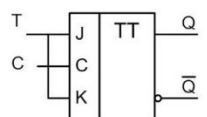
T-триггер (со счетным входом) T (toggle) – релаксатор.

T-триггер бывает двух типов:

- синхронный;
- асинхронный.

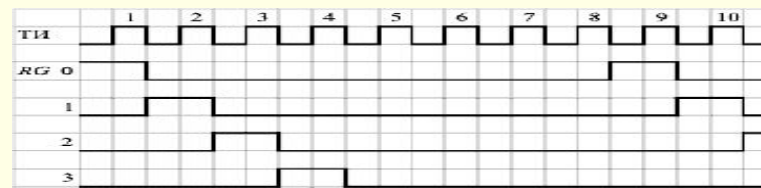
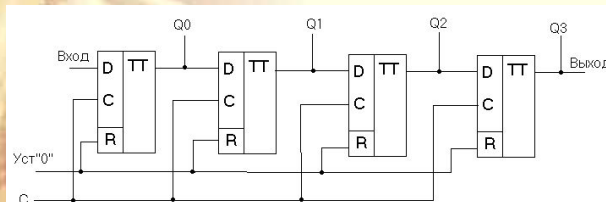
На базе T-триггеров строятся счетчики.

Синхронный T-триггер на основе JK-триггера



Сдвигающий регистр — это группа триггеров,

соединенных таким образом, что информация из каждого триггера может передаваться в следующий триггер, сдвигая код, записанный в регистре. В зависимости от направления сдвига различают регистры: со сдвигом вправо, со сдвигом влево, реверсивные (сдвигающие и вправо и влево).

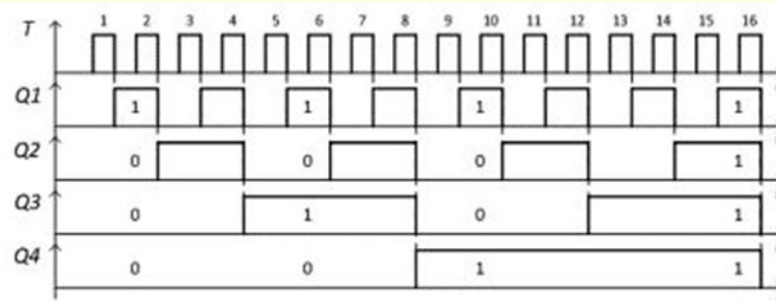
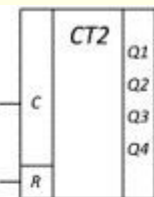
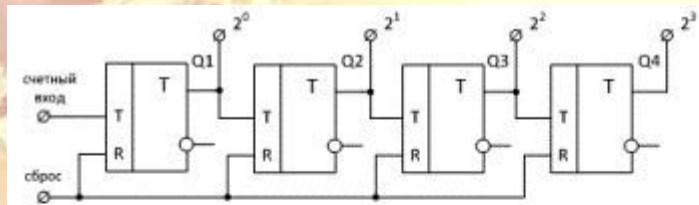


Двоичные и двоично-десятичные счетчики: схема, принцип действия, временные диаграммы.

Счётчик – это цифровая схема, которая под действием входных импульсов переходит из одного состояния в другое, фиксируя тем самым число поступивших на её вход импульсов в том или ином коде.

Двоичные счётчики

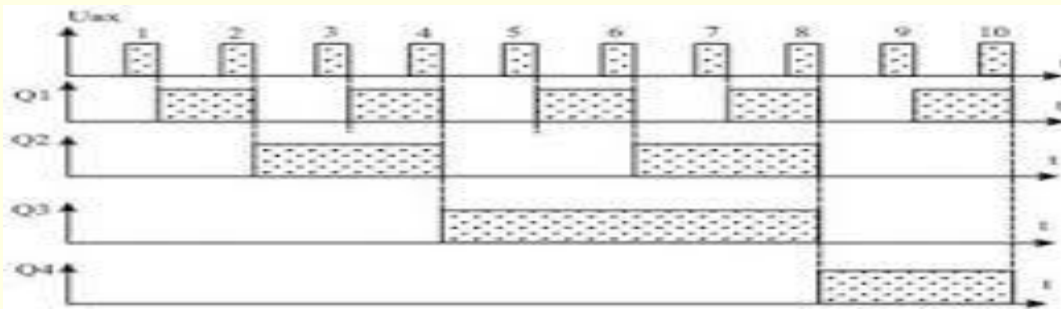
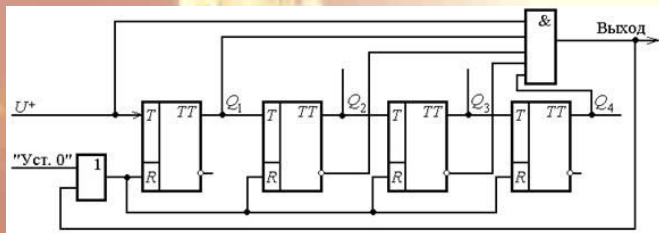
Двоичный счётчик-это счётчик, имеющий модуль пересчёта $M=2^n$, где n – целое число и имеющий в состоянии счёта на выходах код количества поступивших на вход импульсов.



В некоторых схемах используют счетчики с модулем, отличным от 2. Например, в электронных часах используют счетчики по модулю 10 для подсчета единиц секунд, минут и часов, счетчики по модулю 6 для подсчета десятков секунд и минут, а также счетчики по модулю 2 или 3 для подсчета десятков часов.

Двоично-десятичный счетчик (по модулю 10) можно получить из счетчика по модулю 16, т.е. четырехразрядного двоичного счетчика.

Исходное (нулевое) состояние счетчика устанавливается сигналом «Уст. 0». При поступлении входных импульсов счетчик начинает их подсчет как суммирующий двоичный счетчик. После девятого импульса счетчик переходит в состояние «1001». С приходом десятого импульса на всех входах элемента И устанавливаются единичные значения и сигнал с его выхода обнуляет счетчик.



Системы счисления

Система счисления — это способ записи чисел с помощью заданного набора специальных знаков (цифр).

Существуют системы **позиционные** и **непозиционные**. В **непозиционных системах** счисления вес цифры не зависит от позиции, которую она занимает в числе. В **позиционных системах** счисления вес каждой цифры изменяется в зависимости от ее позиции в последовательности цифр, изображающих число. Любая позиционная система характеризуется своим основанием. **Основание позиционной системы счисления** — это количество различных знаков или символов, используемых для изображения цифр в данной системе.

Двоичная система счисления позволяет закодировать любое натуральное число — представить его в виде последовательности нулей и единиц. Для перевода двоичного числа в десятичное необходимо его записать в виде многочлена, состоящего из произведений цифр числа и соответствующей степени числа 2, и вычислить по правилам десятичной арифметики:

$$X_2 = A_n \cdot 2^{n-1} + A_{n-1} \cdot 2^{n-2} + A_{n-2} \cdot 2^{n-3} + \dots + A_2 \cdot 2^1 + A_1 \cdot 2^0$$

Пример: $11101000_2 = 1 \cdot 2^7 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = 232_{10}$

Восьмеричная система счисления В этой системе счисления 8 цифр: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Чтобы перевести в двоичную систему число (восьмеричное), надо заменить каждую цифру эквивалентной ей двоичной триадой (тройкой цифр — нулей и единиц). Если надо число 75013_8 перевести в десятичную систему счисления. Выполняем алгоритм:

$$X_8 = A_n \cdot 8^{n-1} + A_{n-1} \cdot 8^{n-2} + A_{n-2} \cdot 8^{n-3} + \dots + A_2 \cdot 8^1 + A_1 \cdot 8^0 \quad 75013_8 = 7 \cdot 8^4 + 5 \cdot 8^3 + 0 \cdot 8^2 + 1 \cdot 8^1 + 3 \cdot 8^0 = 31243_{10}$$

Шестнадцатеричная система счисления — позиционная система счисления по целочисленному основанию 16. В качестве цифр этой системы счисления обычно используются цифры от 0 до 9 и латинские буквы от A, B, C, D, E, F.

Перевод выполняется аналогично:

$$X_{16} = A_n \cdot 16^{n-1} + A_{n-1} \cdot 16^{n-2} + A_{n-2} \cdot 16^{n-3} + \dots + A_2 \cdot 16^1 + A_1 \cdot 16^0$$

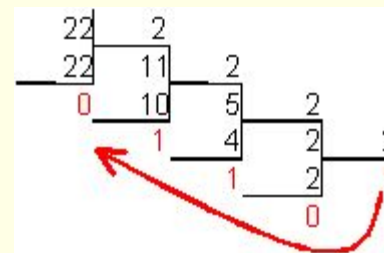
Для числа

$FDA1_{16}$

$$FDA1_{16} = 15 \cdot 16^3 + 13 \cdot 16^2 + 10 \cdot 16^1 + 1 \cdot 16^0 = 64929_{10}$$

Для перевода десятичного числа в двоичную систему его необходимо последовательно делить на 2 до тех пор, пока не останется остаток, меньший или равный 1. Число в двоичной системе записывается как последовательность последнего результата деления и остатков от деления в обратном порядке.

Пример. Число 22_{10} перевести в двоичную систему счисления.



$$22_{10} = 10110_2$$

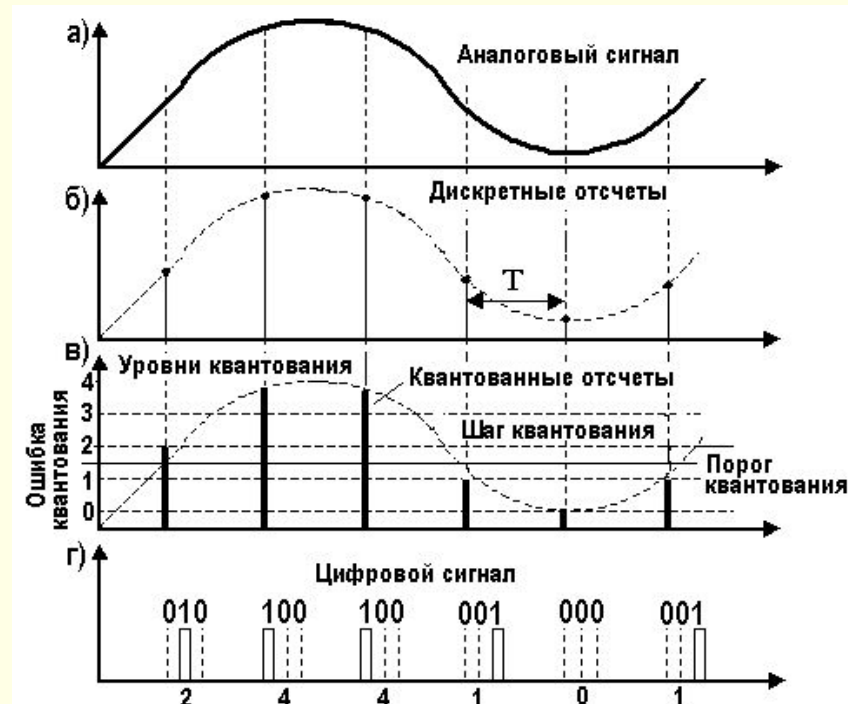
Определение дискретизации, квантования

Дискретизация – замена непрерывного аналогового сигнала последовательностью отдельных во времени значений уровня сигнала (отсчетов).

Процесс квантования – замена мгновенных значений отсчетов ближайшими из набора отдельных фиксированных уровней (уровней квантования). Это тоже дискретизация, но не времени, а по уровню. При этом разница между уровнями квантования называется шагом квантования, а округление отсчетов до верхнего или нижнего уровня определяется порогом квантования. Операция квантования предполагает появление ошибки между истинным значением сигнала и его квантованным приближением.

Заключительная операция преобразования аналогового сигнала в цифровую форму - **кодирование** – заменой квантованного значения отсчета соответствующим двоичным числом кодовой комбинацией символов .

Дискретизация, квантование и кодирование обычно выполняются одним устройством – **аналого-цифровым преобразователем (АЦП)**, а обратное преобразование производится в **цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП)**.



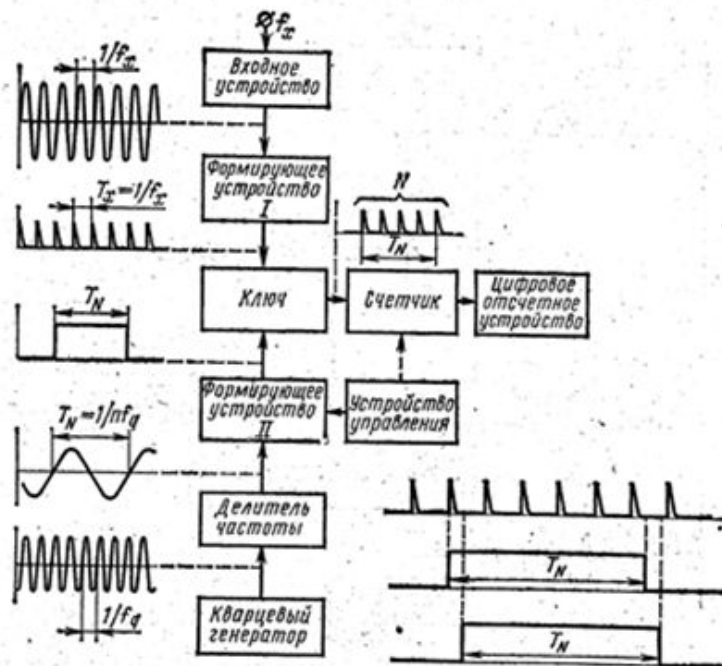
Структурные схемы и принцип действия цифровых частотомеров (прямого измерения частоты и на основе измерения периода)

Принцип действия **цифрового частотомера** основан на измерении частоты в соответствии с ее определением, т. е. на счете числа импульсов за интервал времени. Переменное напряжение, частоту f_x которого необходимо измерить, преобразуют в последовательность коротких импульсов с частотой следования, равной f_x . Если сосчитать число импульсов N за интервал времени T_N , то частота равна

$$f_x = \frac{N}{T_N}$$

Существуют два основных метода измерения частоты в частотомерах: непосредственного измерения частоты и методе измерения периода измеряемой частоты.

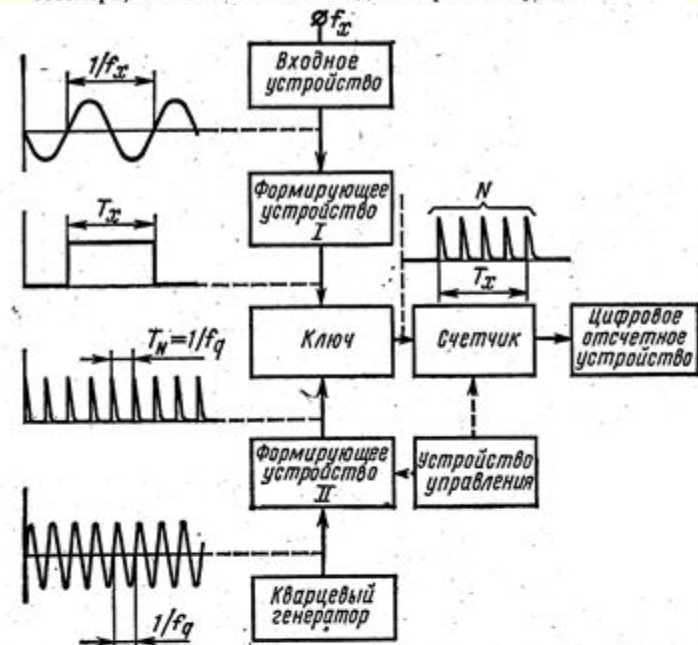
3. Структурная схема и временные диаграммы цифрового частотомера непосредственного измерения частоты



$$T_N = NT_x = N/f_x,$$

$$f_x = N/T_N.$$

4. Структурная схема и временные диаграммы цифрового частотомера, основанного на методе измерения периода



$$1/f_x = T_x = NT_N.$$

Основные характеристики цифровых вольтметров, цифровой вольтметр с времяимпульсным преобразованием: структурная схема, принцип действия, временные диаграммы.

Основные характеристики цифровых вольтметров

- 1.Разрядность n** – характеризует количество разрядов для отображения аналоговой преобразуемой величины на индикаторе.
- 2.Диапазон входного напряжения $U_{вх}$.** Выражается в единицах Вольт и характеризует полный диапазон входного напряжения, которое вольтметр в состоянии отобразить принятым выходным кодом.
- 3.Разрешающая способность (чувствительность)** – значение минимального изменения входного сигнала, которое вызывает изменение цифрового кода на единицу.
- 4.Напряжение смещения нуля $U_{см.0}$** – напряжение на входе вольтметра, при котором на выходе устанавливается нулевой код.
- 5.Абсолютная погрешность** измерения в конечной точке шкалы dU_f характеризует отклонение реального максимального входного напряжения от идеального значения, определенного технической документацией .
- 6.Интегральная нелинейность dUL** характеризует максимально возможное отклонение реальной передаточной характеристики от заданной идеальной при нулевых значениях $U_{см.0}$ и dU_f).

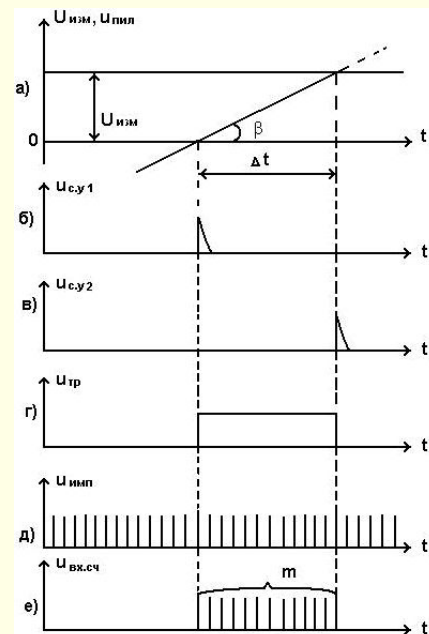
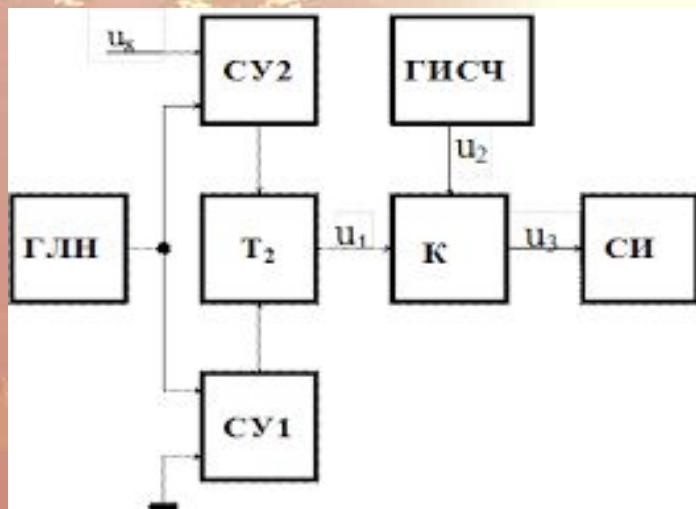
Вольтметр с времяимпульсным преобразованием

Напряжение ген. лин. напряжения

$$U_{г\text{лин}} = \beta * t;$$

$$T_x = U_x / \beta$$

$$U_x = \beta * T_N * m$$

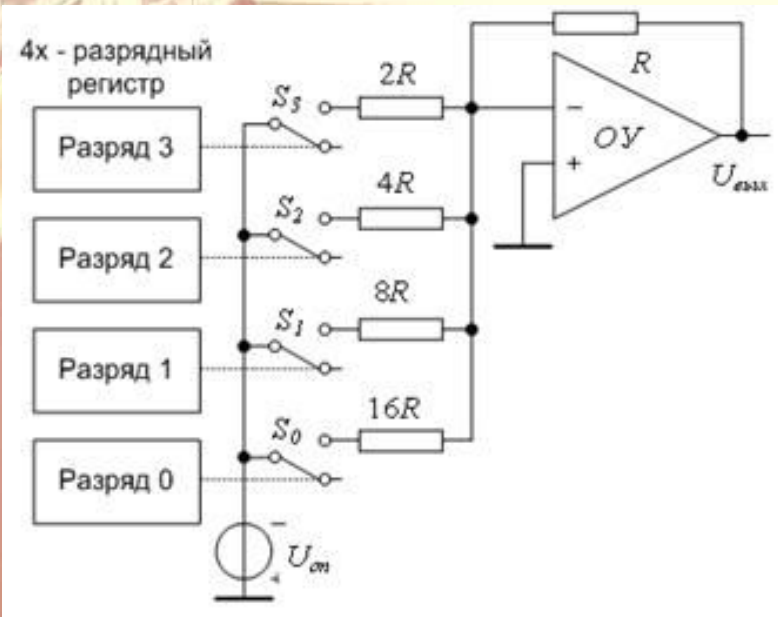


Цифроаналоговые преобразователи: назначение, схемы ЦАП с резисторами веса и матрицей R-2R.

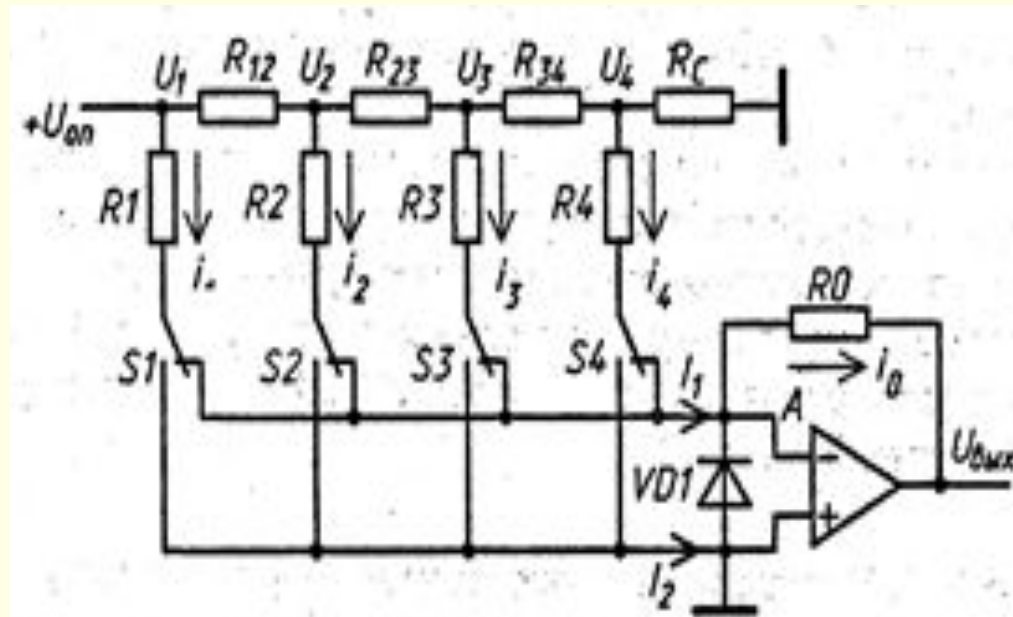
Цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП) — устройство для преобразования цифрового (обычно двоичного) кода в аналоговый сигнал (ток, напряжение или заряд). Цифро-аналоговые преобразователи являются интерфейсом между дискретным цифровым миром и аналоговыми сигналами.

ЦАП можно построить на основе суммирующего усилителя, если сопротивления на его входах будут отличаться друг от друга в 2^N раз (**резисторы веса**) или используя **матрицу R-2R**.

Двоичное число описывается следующей формулой: $A_p = a_n 2^n + a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + a_2 2^2 + a_1 2^1 + a_0 2^0 + a_{-1} 2^{-1} + a_{-2} 2^{-2} + \dots + a_{-k} 2^{-k}$
тогда переключатели $S_0 - S_n$ будут выполнять функцию a_n , а резисторы формировать ток пропорциональные 2^n



ЦАП с резисторами веса



ЦАП с матрицей R-2R

АЦП: определение, типы, схема АЦП двойного интегрирования, временные диаграммы..

Аналого-цифровой преобразователь (АЦП, англ. Analog-to-digital converter, ADC) — устройство, преобразующее входной аналоговый сигнал в дискретный код

Существуют три основных типа АЦП:

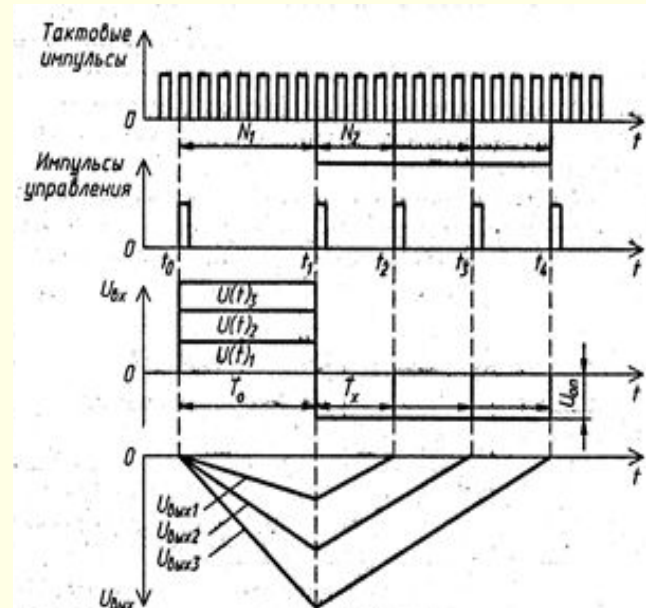
1. Двойного интегрирования
2. Последовательных приближений (поразрядного взвешивания)
3. Параллельного типа

АЦП двойного интегрирования

Двухтактный интегрирующий АЦП состоит из интегратора, компаратора, устройства управления, счётчика и источника опорного напряжения. В течение фиксированного интервала времени происходит интегрирование преобразуемого сигнала, с которым вначале разряженный интегрирующий конденсатор C заряжают в течении интервала времени T_0 время током $I_{вх} = U(t)/R$, пропорциональным измеряемому напряжению, а затем разряжают фиксированным током $I_{раз} = U_{оп}/R$ до нуля. Время, в течение которого происходит разрядка конденсатора, будет пропорционально измеряемому напряжению (T_{x1}) – для входного напряжения U_1 , (T_{x2}) – для входного напряжения U_2 , (T_{x3}) – для входного напряжения U_3 ,



$$\frac{1}{RC} \int_{t_0}^{t_1} U(t) dt - \frac{1}{RC} \int_{t_1}^{t_2} U_{оп} dt = 0.$$



Полагая, что за время $t_1 - t_0 = T$ $U(t)$ практически не изменяется, т. е. $U(t) = U(t)$, то получим $U(t)T_0 = U_{оп}T_x$.

Так как $T_0 = N_1/f$, $T_x = N_2/f$, где f — частота тактовых импульсов, то $U(t) = U_{оп}N_2/N_1$. Таким образом, величина выходного сигнала пропорциональна числу импульсов N_2 .

АЦП последовательных приближений (поразрядного взвешивания): структурная схема, принцип действия.

АЦП последовательных приближений (поразрядного взвешивания) относится к АЦП среднего быстродействия.

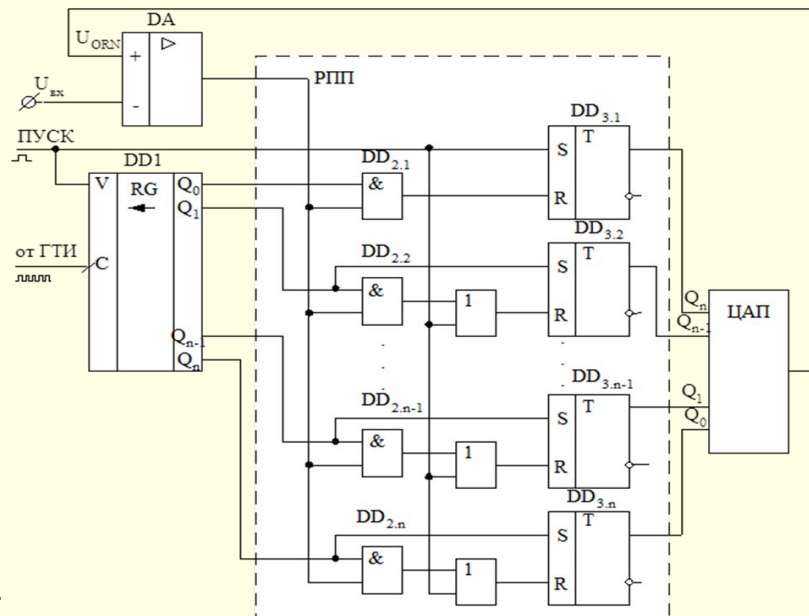
Принцип действия

В момент времени t_0 по сигналу «ПУСК» в выходной статический регистр РПП, выполненный на RS-триггерах DD3.1, DD3.2 ... DD3.n, записывается код, содержащий «1» только в старшем разряде Q_n . Этот код при помощи ЦАП преобразуется в напряжение U_{ORN1} , которое на выходе компаратора DA сравнивается с входным напряжением устройства. Если $U_{ORN1} > U_{вх}$, то на выходе компаратора формируется единичный сигнал, если $U_{ORN1} < U_{вх}$ — нулевой сигнал.

Одновременно сигналом «ПУСК» в младший разряд Q_0 сдвигового регистра DD1 РПП по фронту ГТИ так же записывается сигнал логической 1. Этот сигнал открывает логический переключатель на элементе 2И DD2.1 и выходной сигнал компаратора передается на вход R триггера DD3.1. При этом если $U_{ORN1} > U_{вх}$, то триггер DD3.1 сбрасывается и на выходе РПП формируется нулевой код. В противном случае ($U_{ORN1} < U_{вх}$) триггер DD3.1 остается установленным и на выходе РПП сохраняется код с единицей в старшем разряде.

Следующий фронт ГТИ сдвигает код записанный в DD1 влево. В результате этого сигнал логической «1» перемещается в его первый разряд (Q_1), что устанавливает триггер DD3.2. На выходе РПП формируется код, содержащий единицу в разряде Q_{n-1} , а на выходе ЦАП — новое значение

напряжения, равное U_{ORN2} . Это напряжение также сравнивается с $U_{вх}$. Так как сигнал логической единицы присутствует только на выходе Q_1 регистра DD1, то выходной сигнал компаратора DA может воздействовать на вход R только триггера DD3.2. При этом, если $U_{ORN2} > U_{вх}$, то DD3.2 сбрасывается, а если $U_{ORN2} < U_{вх}$ — триггер остается установленным. Следующий импульс ГТИ сдвигает код, записанный в DD1 влево и процесс продолжается аналогично описанному до тех пор, пока сигнал логической 1 не достигнет старшего разряда Q_n регистра DD1. В этом случае по импульсу ГТИ регистр DD1 устанавливается в нуль и процесс преобразования завершается. Значение выходного кода считывается с выхода РПП.



Благодарю за внимание
Буду рад ответить на ваши вопросы

**Преподаватель Саяно-Шушенского
филиала Сибирского
федерального университета
А.М. Волошин**