



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

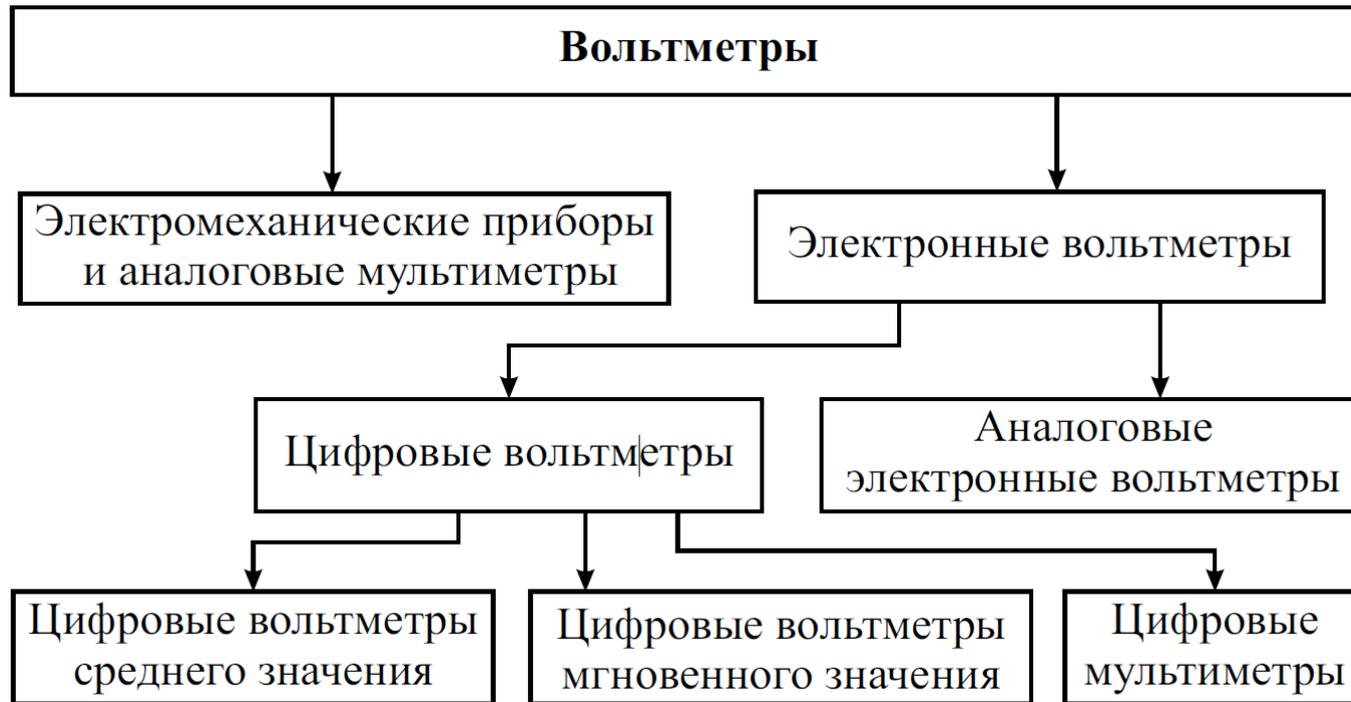
www.sfu-kras.ru

Метрология и радиоизмерения. Лекция 6

Вольтметры



Классификация вольтметров по принципу действия

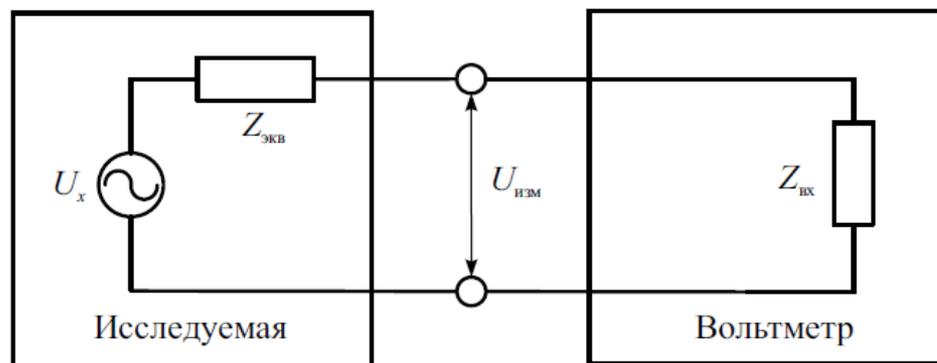


Классификация вольтметров по функциональному назначению согласно ГОСТ 15094-86

- В1 – образцовые приборы, применяемые для поверки других вольтметров;
- В2 – вольтметры постоянного напряжения (их традиционно называют «вольтметры постоянного тока»). Эти приборы измеряют значение постоянного напряжения или постоянную составляющую сигналов сложной формы;
- В3 – вольтметры переменного напряжения. Предназначены для измерения среднеквадратического значения как гармонических, так и сигналов произвольной формы;
- В4 – импульсные вольтметры. Эти приборы измеряют пиковое значение импульсных сигналов и амплитудное значение гармонических сигналов.
- В5 – фазочувствительные вольтметры для измерения комплексных амплитуд гармонических сигналов. Они представляют собой комбинацию вольтметра и фазометра;
- В6 – селективные вольтметры. Содержат входной перестраиваемый узкополосный фильтр для выделения измеряемого гармонического сигнала на фоне шумов и помех.
- В7 (ВК7) – комбинированные приборы (аналоговые мультиметры); применяются для измерения постоянных и переменных напряжений, токов и сопротивлений резисторов.
- В8 – измерители отношения амплитуд двух гармонических сигналов;
- В9 – измерительные преобразователи напряжения для измерительных комплексов и систем.

Влияние входного импеданса вольтметра на результаты измерения напряжения

Важным параметром вольтметра является его входное сопротивление (или входной импеданс для гармонических сигналов). Его значение определяет методическую погрешность, которая возникает при подключении прибора к объекту исследования.



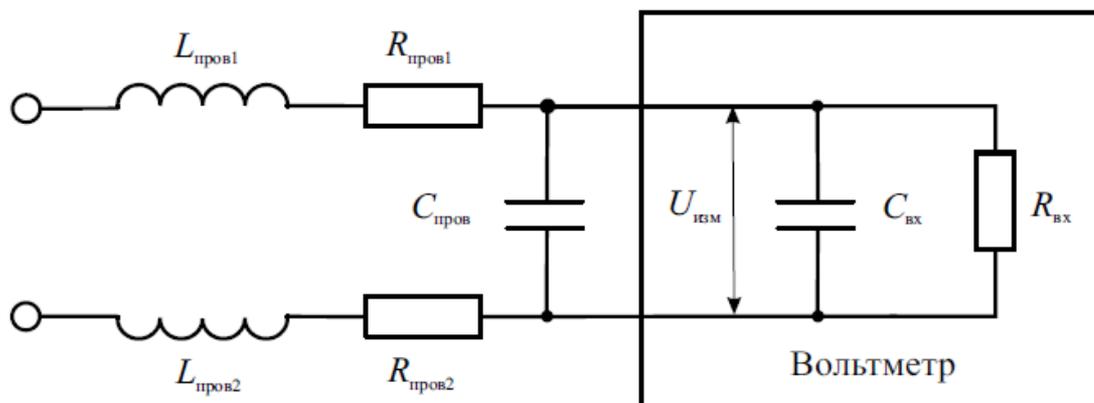
Подключение вольтметра к исследуемой цепи

$$U_{\text{изм}} = \left(\frac{Z_{\text{вх}}}{Z_{\text{вх}} + Z_{\text{эKB}}} \right) U_x = \left(\frac{1}{1 + Z_{\text{вх}} / Z_{\text{эKB}}} \right) U_x.$$

В измерениях постоянных напряжений обычно удается соблюдать соотношение $R_{\text{эKB}} \ll R_{\text{вх}}$ и влиянием входного сопротивления можно пренебречь.

Влияние входного импеданса вольтметра на результаты измерения напряжения

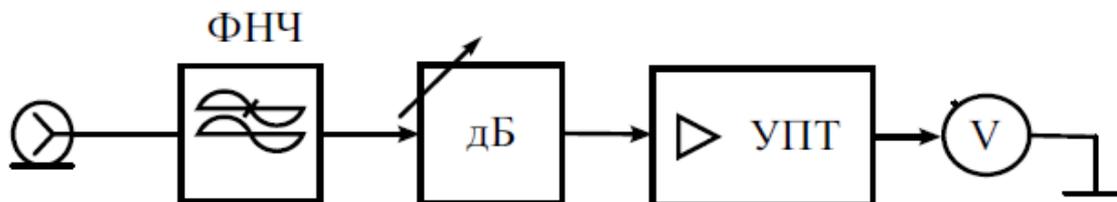
При измерении переменных напряжений (особенно на высоких частотах) на результаты оказывает сильное влияние реактивная составляющая входного импеданса вольтметра и соединительных проводов (кабеля).



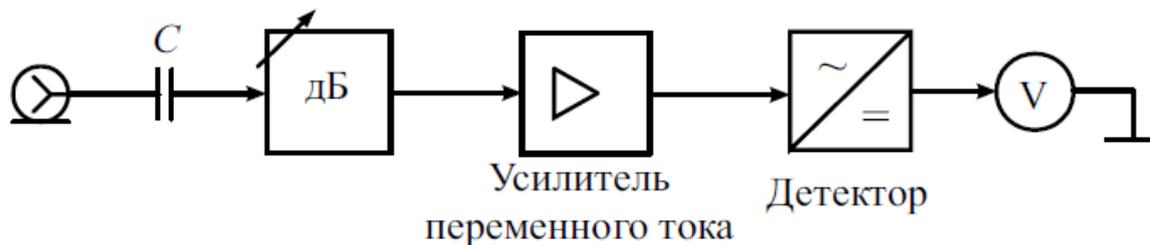
Эквивалентная схема ВЧ вольтметра

Снизить влияние паразитных параметров проводов можно переносом части схемы вольтметра в выносную головку (пробник, probe), которая подключается непосредственно в точки измерения. В импульсных вольтметрах в выносной головке размещают схему амплитудного детектора, в вольтметрах переменного тока – входной усилитель.

Аналоговые вольтметры



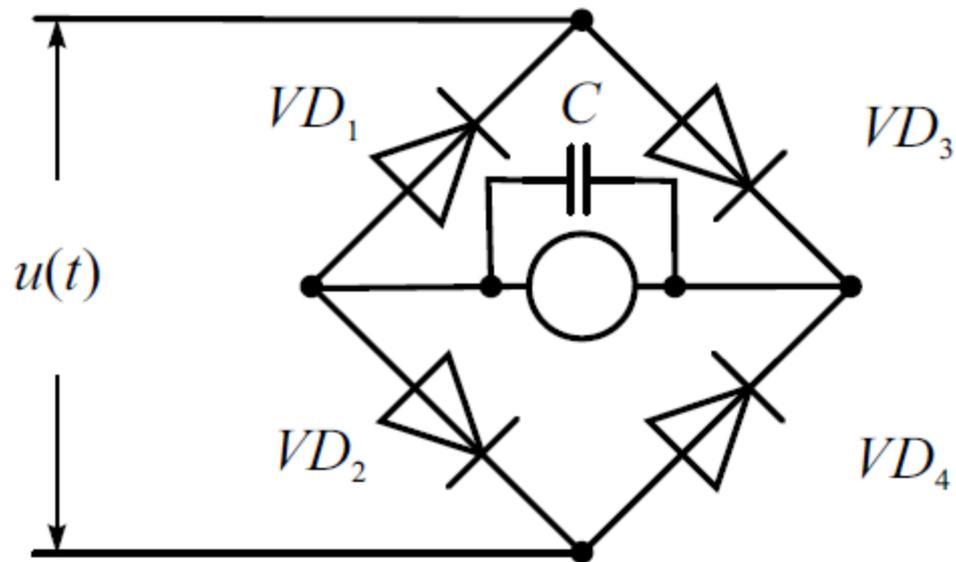
Структурная схема аналогового вольтметра постоянного тока



Структурная схема вольтметра переменного тока

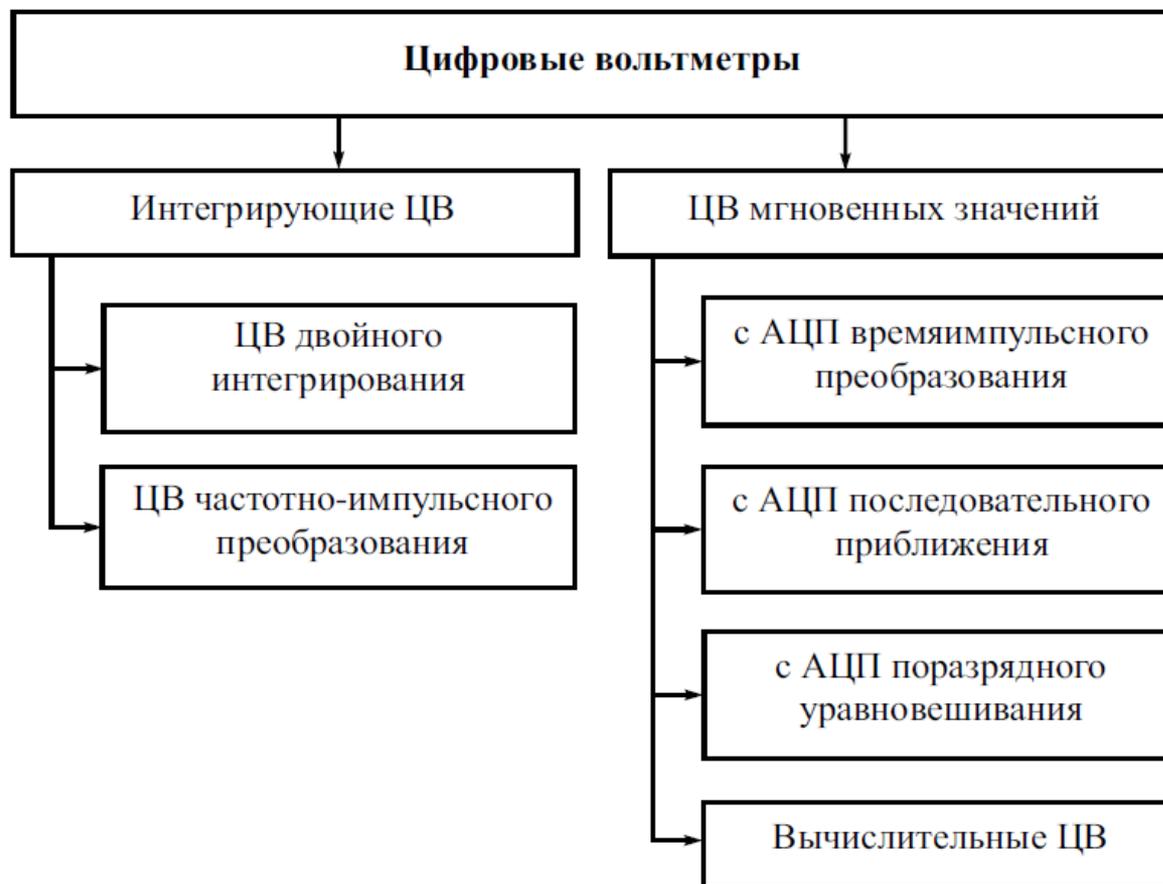
Вид измеряемого значения переменного напряжения определяется типом детектора

Аналоговые вольтметры



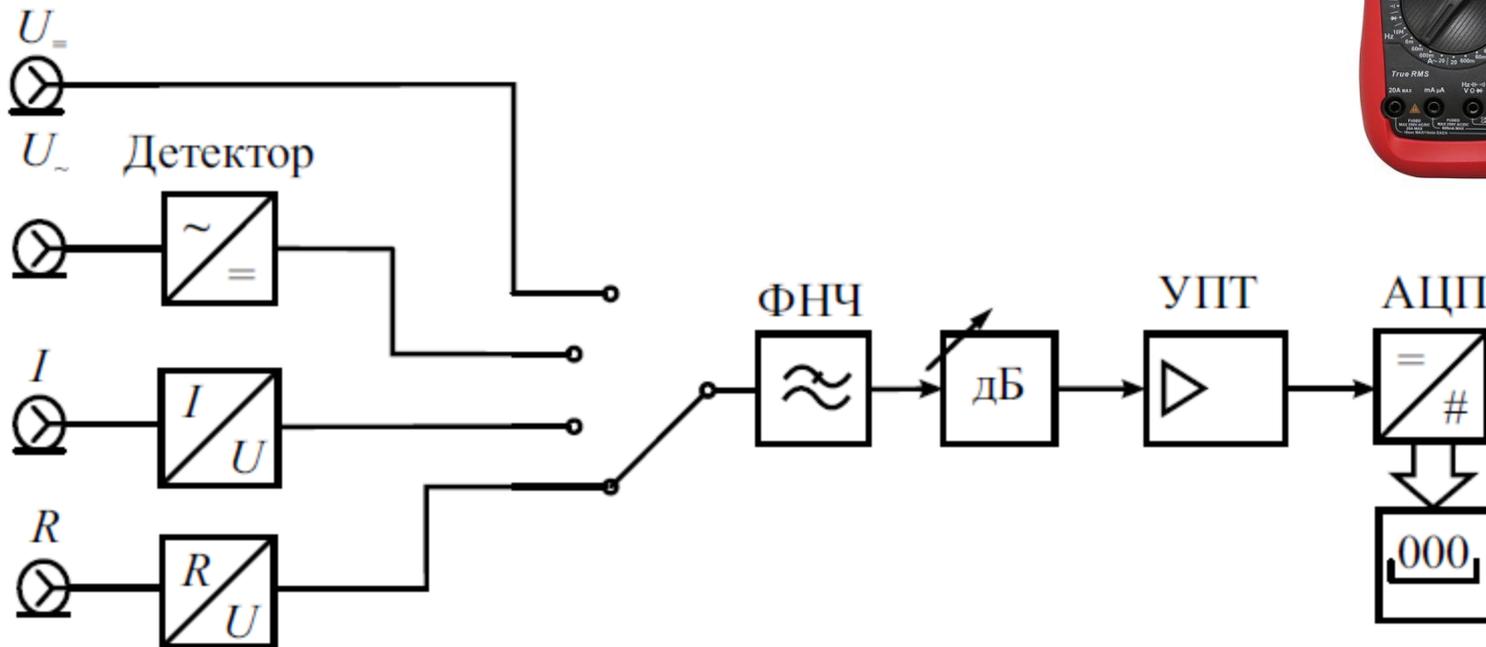
Детектор средневыпрямленных значений

Цифровые вольтметры



Классификация цифровых вольтметров

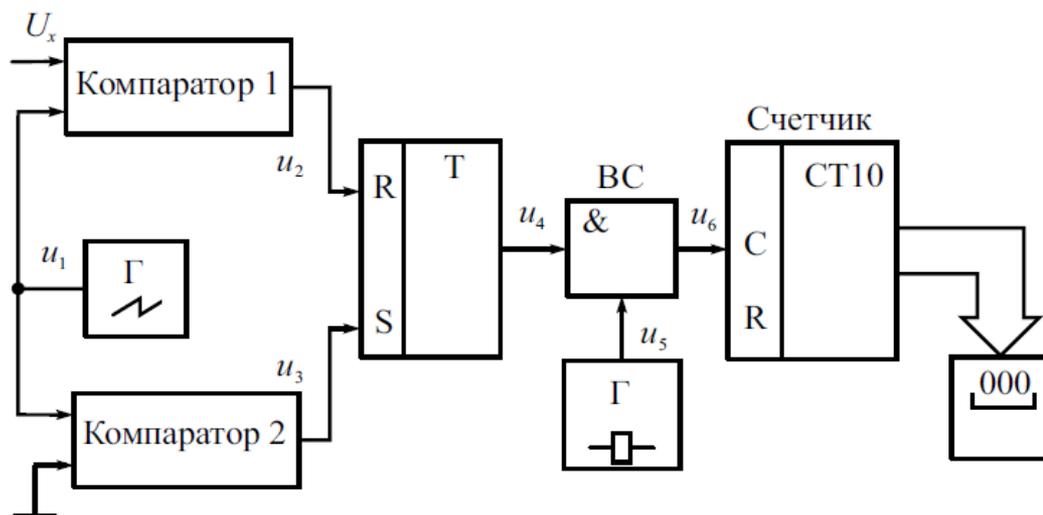
Цифровые мультиметры



Структурная схема цифрового вольтметра-мультиметра

Цифровые вольтметры с времяимпульсным преобразованием

Вольтметры данного типа используют АЦП, осуществляющее преобразования «напряжение – временной интервал – код». Принцип действия – сравнение измеряемого сигнала с эталонным линейно нарастающим напряжением.

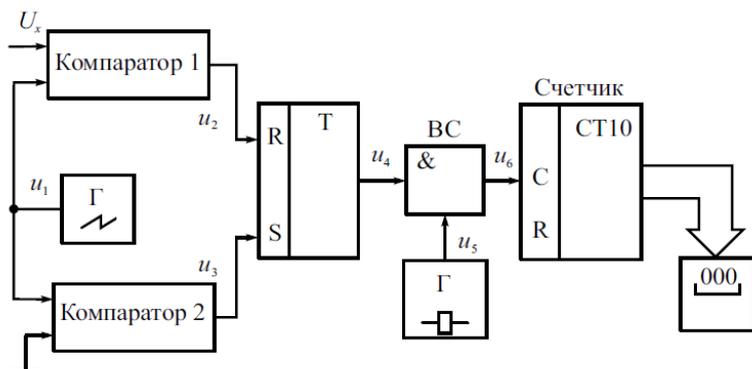


Структурная схема АЦП времяимпульсного преобразования

ЦВ данного типа измеряет мгновенное значение напряжения.

Вольтметры времяимпульсного преобразования просты и дешевы, имеют достаточно высокую точность. Основной их недостаток – низкая помехоустойчивость.

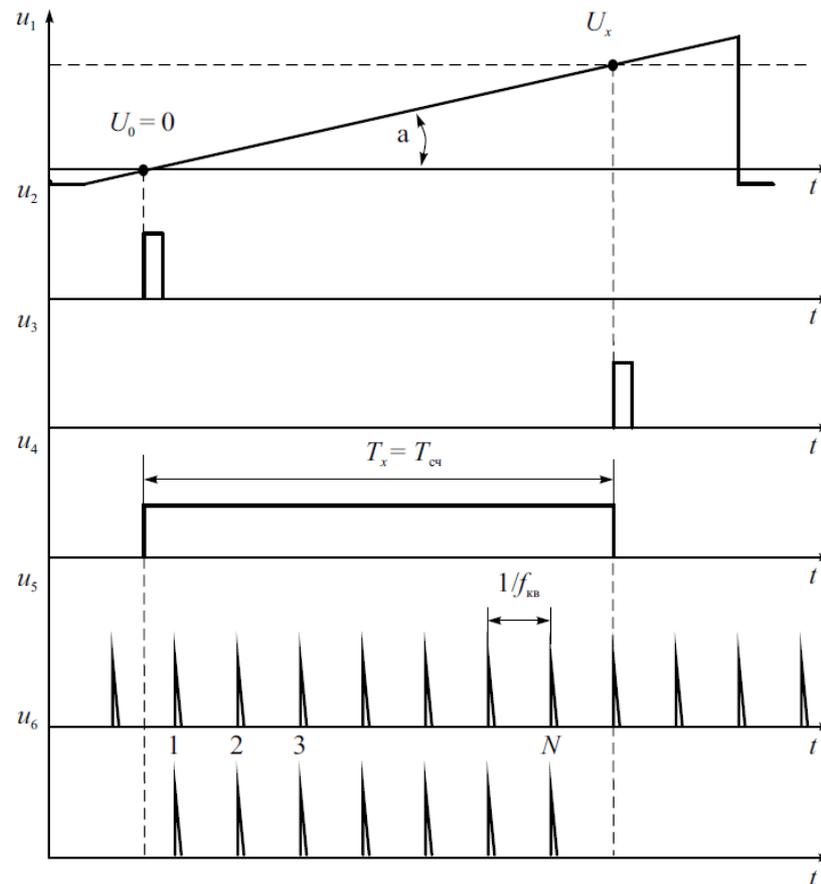
Цифровые вольтметры с времяимпульсным преобразованием



Структурная схема АЦП времяимпульсного преобразования

Длительность T_x прямо пропорциональна измеряемому напряжению и обратно пропорциональна тангенсу угла наклона напряжения ГЛИН

$$T_x = \left(\frac{U_x}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \cdot \quad N \cong T_x f_{\text{КВ}} = \frac{U_x}{\operatorname{tg} \alpha} f_{\text{КВ}} \cdot$$

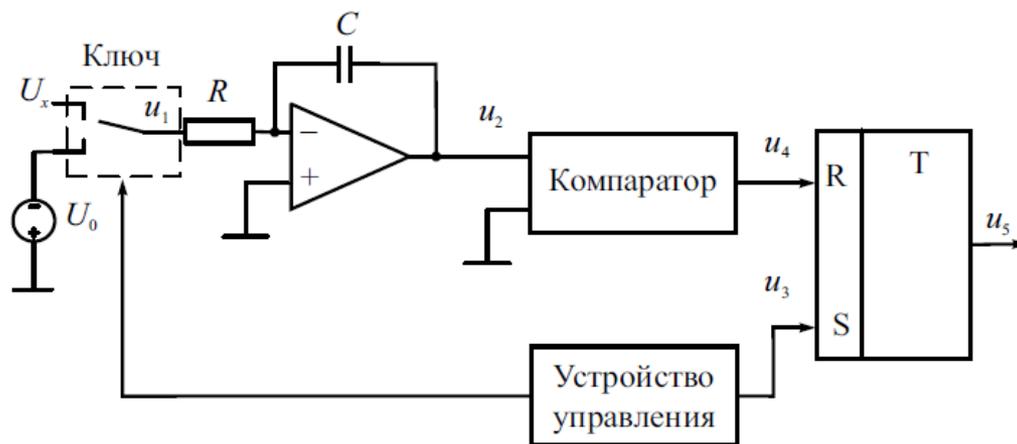


Временные диаграммы АЦП времяимпульсного преобразования

Цифровые вольтметры с двойным интегрированием

В ЦВ с двойным интегрированием преобразование «напряжение – временной интервал» (в отличие ЦВ с впеямпульсным преобразованием) происходит с использованием интегратора. Интегратор – это функциональный блок на операционном усилителе, обеспечивающий связь между входным $u_{\text{ВХ}}$ и выходным $u_{\text{ВЫХ}}$ напряжениями в виде

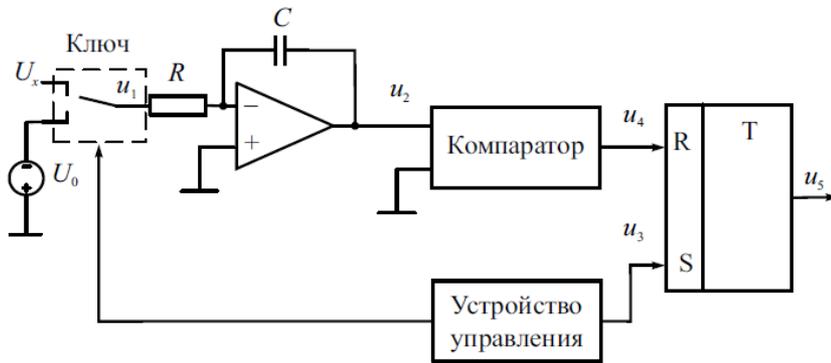
$$u_{\text{ВЫХ}}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t u_{\text{ВХ}}(t) dt ,$$



Входная часть АЦП с двойным интегрированием

Вольтметры двойного интегрирования – наиболее популярная разновидность цифровых вольтметров и мультиметров. Основные их достоинства – простота, высокая помехоустойчивость при достаточной точности.

Цифровые вольтметры с двойным интегрированием

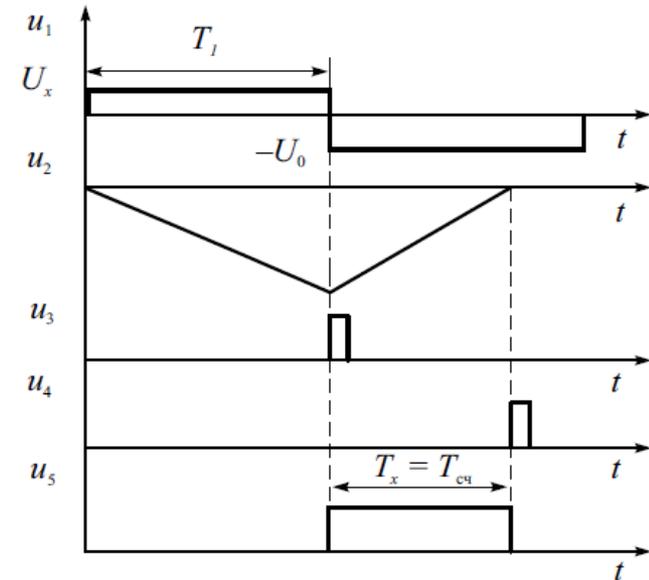


Входная часть АЦП с двойным интегрированием

Вольтметр с двойным интегрированием измеряет среднее значение напряжения за время T_1

$$u_{\text{ВЫХ}}(T_1) = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_1} u_{\text{ВХ}}(t) dt = -\frac{\overline{U_x} n}{RC f_{\text{КВ}}}$$

$$u_{\text{ВЫХ}}(T_1 + T_x) = -\frac{\overline{U_x} n}{RC f_{\text{КВ}}} + \frac{1}{RC} \int_{T_1}^{T_1+T_x} U_0 dt = 0 \Rightarrow T_x = T_{\text{сч}} = \frac{\overline{U_x} n}{U_0 f_{\text{КВ}}}$$

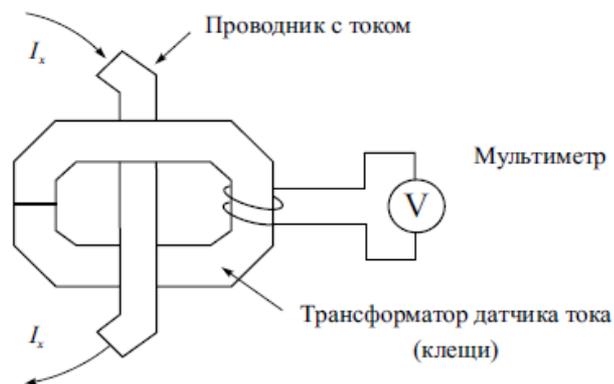


Временные диаграммы АЦП двойного интегрирования

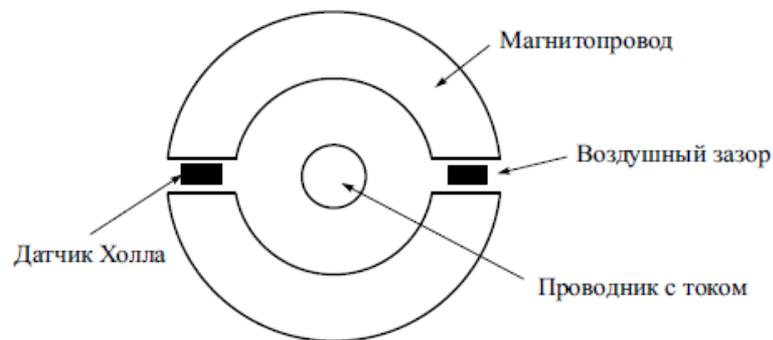
Измерительные датчики цифровых мультиметров – токовые клещи



В современных мультиметрах для измерения переменного тока широко применяют бесконтактные датчики тока – токовые клещи (Clamp meter). Они представляют собой разъемный захват, который охватывает проводник с измеряемым током.



Токовые клещи трансформаторного типа



Токовые клещи с датчиками Холла

Измерительные датчики цифровых мультиметров - термопары



Наибольшее распространение в цифровых мультиметрах получили термодатчики на основе термопары. Термопара — два проводника из разнородных материалов, соединенных на одном конце. Принцип действия термопары основан на эффекте Зеебека, когда между соединёнными проводниками (электродами) имеется контактная разность потенциалов.

Тип термопары	Материал термопары	Диапазон измеряемых температур, °С	Чувствительность, мкВ/°С
K (ТХА)	Хромель – алюмель	-200...+1000	40
J (ТЖК)	Железо – константан	-210...+1000	51
T (ТМК)	Медь – константан	-270...+400	40
R (ТПП), S (ТПП)	Платина – платиновый	-50...+1600	7