

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.С. БАСКАКОВ, А.Л. КОСОВА

**ЦИФРОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ**

Методические указания по выполнению  
лабораторной работы №11

Самара  
2017

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол № 34 от 17.02.2017 г.

Рецензент:  
д.т.н., проф. Мелентьев В.С.

**Баскаков В.С., Косова А.Л.**

**Цифровые вольтметры** методические указания по выполнению лабораторной работы/ В.С. Баскаков, А.Л. Косова. – Самара: ПГУТИ, 2017. –19 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный изучению основных технических характеристик и устройства цифровых вольтметров.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, 11.03.01 Информационная безопасность, 27.03.04 Управление в технических системах, 27.03.05 Инноватика, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Баскаков В.С., 2017

© Косова А.Л., 2017

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основных технических характеристик и устройства цифровых вольтметров. Приобретение навыков практической работы с цифровыми вольтметрами.

## 2. ЛИТЕРАТУРА

2. 1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001, с. 140-151.

2. 2. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005, с.-140 –153.

## 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить принцип действия цифровых вольтметров с различными видами преобразований по структурным схемам.

3.2. Подготовить конспект с краткими ответами на контрольные вопросы.

3.3. Подготовить бланк отчета, содержащий таблицы и схемы измерений.

## 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Каковы достоинства и недостатки цифровых вольтметров?

4.2. Какова обобщенная структурная схема цифровых вольтметров?

4.3. Какова структурная схема цифрового вольтметра с время-импульсным преобразованием:

а) с генераторами линейно-изменяющегося напряжения;

б) с двухтактным интегрированием?

4.4. Какова структурная схема цифрового вольтметра с кодо-импульсным преобразованием с развертывающим и следящим уравниванием?

4.5. Какова структурная схема цифрового вольтметра с частотно-импульсным преобразованием?

4.6. Каковы источники погрешности меры в цифровых вольтметрах с время-импульсным, кодо-импульсным и частотно-импульсным преобразованием?

4.7. Что является источником погрешности преобразования в цифровых вольтметрах?

4.8. Как объяснить получение погрешности в дискретности в цифровых вольтметрах?

4.9. По каким формулам рассчитываются погрешности цифровых вольтметров при измерении сопротивления, постоянного напряжения, переменного напряжения?

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

5.1. Сделать проверку цифрового вольтметра при измерении сопротивления.

Проверка цифрового вольтметра состоит из внешнего осмотра и определения основной погрешности при измерении сопротивления:

1) Подключить кабель к магазину сопротивлений  $R_M$  и на магазине набрать сопротивление в соответствии с табл. 1 и записать показания индикаторного табло  $R_x$ ;

Таблица 1

| № варианта                          | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Сопротивление магазина, $R_M$ , кОм | 60 | 40 | 10 | 20 | 90 | 70 | 30 | 50 |

2) увеличивая сопротивление магазина до тех пор, пока на табло не появится показание, равное  $R_x+1$  единица младшего разряда, записать значение сопротивления магазина  $R_1$ ;

3) уменьшать сопротивление магазина так, чтобы на табло появилось показание, равное  $R_x-1$  единица младшего разряда, записать значение сопротивления магазина  $R_2$ ;

4) за погрешность прибора  $R$  принимается большая по модулю из двух разностей, определенных по формуле:

$$\Delta R_1 = |R_x - R_1|,$$

$$\Delta R_2 = |R_x - R_2|.$$

5) рассчитать основную допустимую погрешность измерения сопротивления при четырехзначном отсчете показаний по формуле:

$$\Delta R_{\text{доп}} = 2 \cdot 10^{-3} (0,1R_k + R_x) \quad (1),$$

при трехзначном отсчете:

$$\Delta R_{\text{доп}} = 2 \cdot 10^{-3} (R_k + R_x) \quad (2).$$

где  $R_k$  - конечное значение установленного предела измерений (это предел сопротивления, выставленный на вольтметре, например 2, 20, 200 кОм);

$R_x$  - показание прибора;

6) сравнить погрешность, определенные экспериментально с допустимой погрешностью, рассчитанной по формулам (1) или (2);

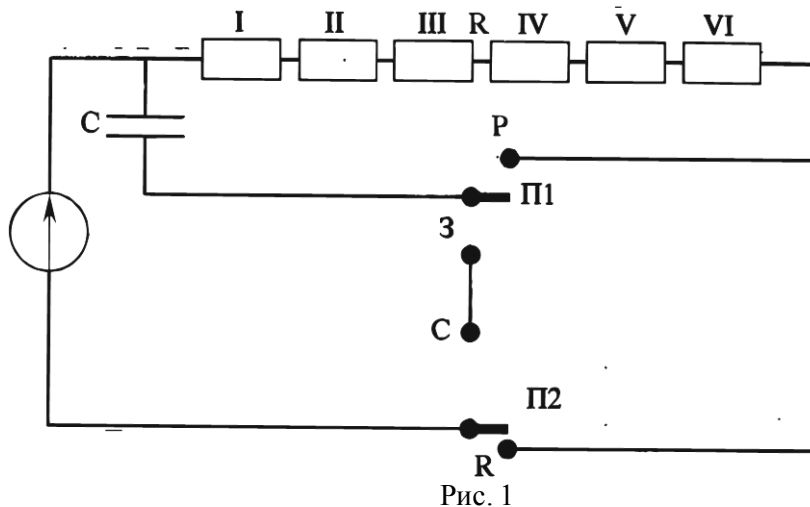
7) Если  $\Delta R_1 < \Delta R_{\text{доп}}$  и  $\Delta R_2 < \Delta R_{\text{доп}}$ , то можно сделать вывод, что технические характеристики цифрового вольтметра соответствуют норме и он пригоден к дальнейшей работе. В противном случае показаниям вольтметра доверять нельзя;

8) сделать окончательные выводы о пригодности цифрового вольтметра к работе. Все данные занести в табл. 2.

Таблица 2

| $R_m$ , кОм | $R_1$ , кОм | $R_2$ , кОм | $\Delta R_1$ , кОм | $\Delta R_2$ , кОм | $\Delta R_{\text{доп}}$ , кОм | Вывод |
|-------------|-------------|-------------|--------------------|--------------------|-------------------------------|-------|
|             |             |             |                    |                    |                               |       |

5.2. Измерить величины сопротивлений, заданных схемой макета рис. 1. Для чего переключатели П1 и П2 в такое положение, чтобы отключить от сопротивлений источник и емкость.



Результаты измерений занести в табл. 3, рассчитать погрешность измерений сопротивлений и сделать запись результата измерения.

Таблица3

| Измеряемое сопротивление на резисторе, номер: | I | II | III | IV | V | VI |
|---|---|----|-----|----|---|----|
| Показания вольтметра, R, кОм                  |   |    |     |    |   |    |
| Погрешность измерения $\Delta R$ , кОм        |   |    |     |    |   |    |
| Результат измерения $R \pm \Delta R$ , кОм    |   |    |     |    |   |    |

5.3. Измерить постоянные напряжения на сопротивлениях макета, для чего переключатели П1 и П2 поставить в такое положение, чтобы источник оказался подключенным к сопротивлениям, а емкость — отключенной.

Результаты измерений занести в табл. 4, Рассчитать погрешность измерения постоянного напряжения по формулам:

При четырехзначном отсчете показаний

$$\Delta U = 5 \cdot 10^{-4}(U_x + U_k);$$

При трехзначном отсчете показаний

$$\Delta U = 10^{-3}(U_x + U_k).$$

$U_k$  - конечное значение установленного предела измерений (это предел напряжения, выставленный на вольтметре, например 200 мВ, 2 В, 20 В и т.д.);

Таблица4

| Измеряемое напряжение на резисторе, номер: | I | II | III | IV | V | VI |
|--|---|----|-----|----|---|----|
| Показания вольтметра, U, В                 |   |    |     |    |   |    |
| Погрешность измерения $\Delta U$ , В       |   |    |     |    |   |    |
| Результат измерения $U \pm \Delta U$ , В   |   |    |     |    |   |    |

5.4. Измерить косвенным методом емкость конденсатора "С", используя зависимость напряжения на конденсаторе от времени при

разряде его через цепочку RI-RVI, для чего переключатели П1 и П2 поставить в такое положение, чтобы конденсатор зарядился до величины источника.

Подключить цифровой вольтметр к клеммам "С", для измерения напряжения на конденсаторе в момент " $t_0$ ". Пустить секундомер и одновременно переключить тумблер макета П1 в положение "р" (разряд).

Через каждые 5 секунд записывать показания напряжения на конденсаторе в табл. 5

Таблица 5

|                      |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Время (с)            | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 |
| Показания вольтметра |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |

Построить график зависимости  $U_C(t)$ . Из графика определить  $\tau = RC$ , помня, что  $\tau$  - это время, в течении которого экспонента уменьшается в  $e$  раз.

Рассчитать величину емкости  $C$ .

5.5. Проверить класс точности вольтметра генератора низкой частоты:

- 1) подключить вольтметр к выходу генератора;
- 2) установить на генераторе частоту 1000 Гц и предел напряжения согласно табл.6.

Таблица 6

|   |   |   |    |    |   |   |    |    |
|---|---|---|----|----|---|---|----|----|
| № бригады                                 | 1 | 2 | 3  | 4  | 5 | 6 | 7  | 8  |
| Предельное значение напряжения, $U_k$ , В | 1 | 3 | 10 | 30 | 1 | 3 | 10 | 30 |

3) переключатель рода работ цифрового вольтметра в положение " $=U$ ";

4) изменяя выходное напряжение генератора, установить стрелку вольтметра последовательно на все оцифрованные деления шкалы, показания вольтметров занести в таблицу, аналогично табл.7, приведенную для  $U_k = 10$  В.

По результатам данного пункта рассчитать класс точности вольтметра генератора, сравнить с нормой и сделать вывод о пригодности вольтметра генератора.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 1) титульный лист с указанием кафедры, наименования работы, Ф.И.О. студента, номера учебной группы;
- 2) цель работы;
- 3) перечень приборов, используемых в работе;
- 4) расчетные формулы;
- 5) таблицы с результатами измерений и расчетов;
- 6) выводы о пригодности цифрового вольтметра к работе;
- 7) подпись и дата выполнения работы.

Таблица 7

| Деление шкалы вольтметра | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Показания вольтметра     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| Абсолютная погрешность   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВОЛЬТМЕТРА

Цифровой вольтметр (ЦВ) — это средство измерений, в котором измеряемая непрерывная величина — напряжение автоматически преобразуется в дискретную, подвергая цифровому кодированию, а результат измерения представляется в цифровой форме.

Цифровые вольтметры позволяют измерять как постоянное, так и переменное напряжения.

В первом случае применяются цифровые вольтметры постоянного тока (ЦВПТ), во втором случае переменное напряжение предварительно преобразуют в постоянное напряжение, измеряемое ЦВПТ.

На рис. 2 показана обобщенная структурная схема ЦВ.





При измерении постоянного напряжения оно может поступать на выходное устройство непосредственно или через фильтр, необходимый для подавления помех промышленной частоты 50 Гц и ее гармоник. Входное устройство обеспечивает высокоомный вход и расширение пределов измерения. С его выхода аналоговый сигнал поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) "напряжение — код", а цифровой код с выхода последнего на цифровое отчетное устройство, а также на цифровой выход.

Метрологические характеристики ЦВ определяются видом используемого АЦП. Поэтому ЦВ классифицируется в соответствии с применяемым видом АЦП, из которых наибольшее применение получили преобразователи:

- 1) время-импульсные;
- 2) частотно-импульсные;
- 3) кодо-импульсные.

## ЦИФРОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ С ВРЕМЯ-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

В цифровых вольтметрах, содержащих АЦП с время-импульсным преобразованием, входное напряжение  $U_x$  сперва преобразуется по временной интервал  $\Delta t_x$ , который затем преобразуется в цифровой унитарный код и измеряется числом заполняющих его импульсов  $N$  со стабильной частотой следования.

Наибольшее распространение получили:

- 1) АЦП с генераторами линейно-изменяющегося напряжения (ГЛН)
- 2) АЦП с двухтактным интегрированием.

## ЦИФРОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ С ГЕНЕРАТОРАМИ ЛИНЕЙНО-ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ

На рис. 3а приведена структурная схема цифрового вольтметра с ГЛН и временные диаграммы, поясняющие его работу.

Вольтметр работает циклами, длительность которых  $T$  устанавливается с помощью управляющего устройства и обычно равна или кратна периоду питающей сети. В начале цикла импульс управляющего устройства запускает генератор линейно-изменяющегося образцового напряжения и сбрасывает показания предыдущего цикла, заполнявшие счетчик (рис. 3б). Входное напряжение  $U_x$  и образцовое напряжение  $U_{обр}$  поступают на входы сравнительного устройства и в момент их равенства  $t_1$  (рис. 3в) на выходе последнего возникает импульс, открывающий временной селектор (рис. 3г); через него на электронный счетчик начинают проходить импульсы от генератора счетных импульсов с частотой  $f_{cr}$  (рис. 3е), или периодом  $T_{cr}$ .

В момент времени  $t_2$  когда образцовое напряжение достигнет нуля, второе сравнивающее устройство вырабатывает импульс, закрывающий временной сектор; прохождение счетных прекращается, и на табло цифрового отчетного устройства появляются показания, пропорциональные числу счетных импульсов  $N$ , прошедших через временной селектор за интервал времени:

$$\Delta T = t_2 - t_1$$

Из диаграммы напряжений следует, что

$$U_x = \Delta T \cdot tg\beta; \Delta T = NT_{cr} = \frac{N}{f_{cr}}.$$

Множитель  $tg\beta$  численно равен скорости  $v$ -изменения образцового напряжения, В/С. Подставляя  $\Delta T$  и  $v$ , получаем

$$U_x = \frac{vN}{f_{cr}} = kN,$$

где  $k = \frac{v}{f_{cr}} = const.$  Коэффициент  $k$  устанавливается равным  $10^{-m}$ ,

где  $m = 0,1,2 \dots$

Показатель степени  $m$  изменяется при переключении пределов измерения, что отражается в положении запятой в цифровом отсчете. Главным достоинством этих вольтметров является их сравнительная простота.

## ЦИФРОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ С ДВУХТАКТНЫМ ИНТЕГРИРОВАНИЕМ

Структурная схема и временные диаграммы работы цифрового вольтметра с двухтактным интегрированием приведены на рис. 4. Управляющее устройство задает цикл измерений  $T_1$  и вырабатывает импульс первого такта длительностью  $T$ , (рис. 4б.). В течение известного интервала  $T$ , ключ находится в положении 1 и измеряемое напряжение  $U_x$ .

В момент окончания импульса  $T$  его срез дифференцируется (рис. 4г) и короткий отрицательный импульс переводит триггер в состояние "1", открывающие временной селектор (рис. 4д). Одновременно ключ перебрасывается в положение 2 и к интегратору подается известное напряжение  $U_{обр}$  от источника опорного напряжения в течении интервала  $T_x$  от конца первого такта до момента равенства нулю выходного напряжения интегратора (второй такт интегрирования) (рис. 4в). Для того, чтобы в течении второго такта происходит разряд интегратора, полярность напряжения  $U_{обр}$  должна быть противоположна полярности напряжения  $U_x$ . В момент равенства нулю напряжение на выходе интегратора сравнивающее устройство переводит триггер в состояние "0" и временной селектор закрывается (рис. 4д). Следовательно, счетные импульсы, вырабатываемые генератором счетных импульсов, проходят через временной селектор на электронный счетчик и цифровой индикатор в течении интервала времени второго такта  $T_x$  (рис. 4с).

Таким образом в течении первого такта интегратор заряжается до некоторого напряжения, в течении второго такта разряжается до нуля.

Значит справедливо соотношение:

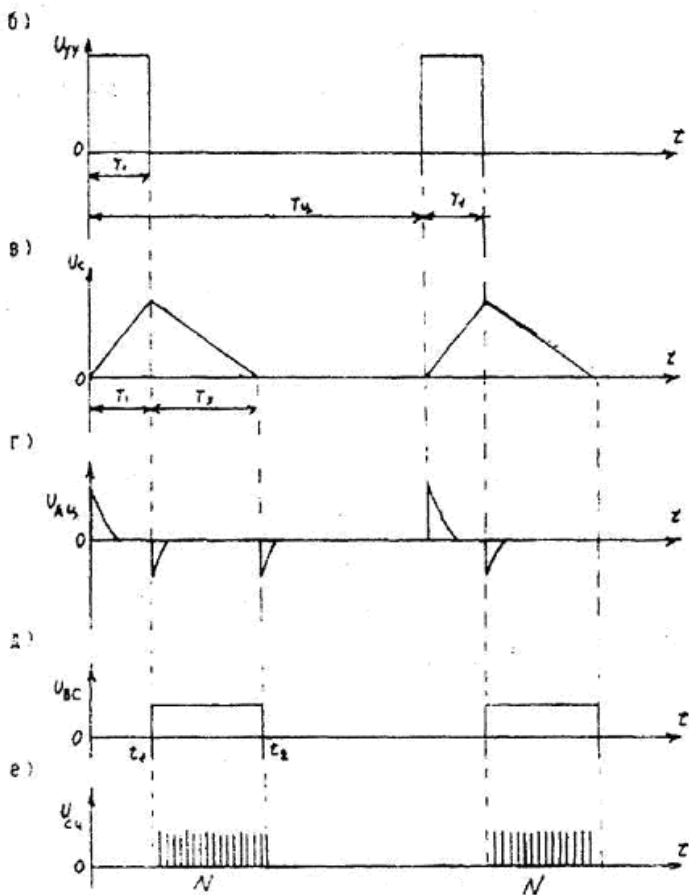
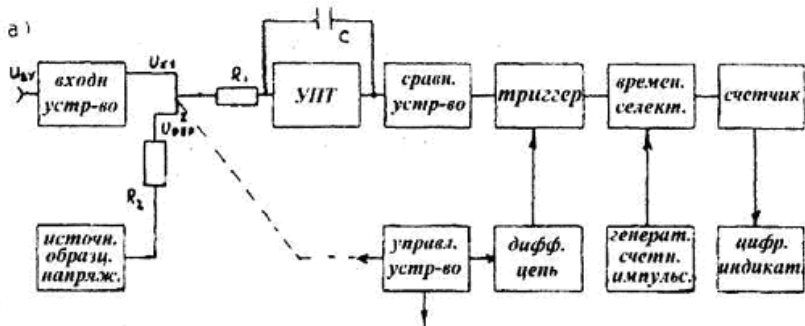
$$\frac{1}{R_1 C} \int_0^{t_1} U_x dt - \frac{1}{R_2 C} \int_{t_1}^{t_2} U_{обр} dt = 0,$$

где  $\tau_{зар} = R_1 C$  и  $\tau_{зар} = R_2 C$ .

Вычислив интегралы, получим  $\frac{U_x T_1}{R_1 C} - \frac{U_{обр} T_1}{R_2 C}$ , откуда  $U_x = \frac{U_{обр} R_1}{T_2 C}$

$$T_x = k T_x = k T_{cr} N = k_1 N, \text{ где } N = \frac{T_x}{T_{cr}} \quad k_1 = k T_{cr}.$$

Из этого соотношения видно, что измеряемое напряжение пропорционально полученному временному интервалу  $T_x$  и значит числу импульсов  $N$ , прошедших на счетчик за интервал  $T_x$ . Важнейшим достоинством этого метода преобразования является высокая помехоустойчивость (порядка 60 дБ) при условии, что длительность первого такта интегрирования кратна периоду помехи.



## ЦИФРОВОЙ ВОЛЬТМЕТР С ЧАСТОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

Принцип действия заключается в преобразовании измеряемого напряжения в пропорциональную ему частоту следования импульсов, измеряемую цифровым частотомером.

Структурная схема такого вольтметра содержит преобразователь "напряжение частота", на вход которого подается измеряемое напряжение  $U_x$ , а на выходе образуется импульс с частотой  $f_x = pU_x$ , где  $p$  — коэффициент преобразования.

Существует много разновидностей преобразователей "напряжение частота".

Одна из схем вольтметра с преобразователем "напряжение частота" на базе интегратора и временные диаграммы работы приведены на рис. 5.

Измеряемое напряжение  $U_x$  поступает на вход интегратора и конденсатор  $C$  заряжается по закону

$$U_c = \frac{1}{R_1 C} \cdot \int_0^1 U_x dt$$

Через интервал времени  $T_1$ , напряжение на конденсаторе достигает значения  $U_{обр}$  получаемого от источника образцового напряжения (рис. 5б)

$$U_c = U_x T_1 / R_1 C = U_{обр}(1)$$

В этот момент сравнивающее устройство включает формирующее устройство, вырабатывающее отрицательный импульс обратной связи с постоянной площадью, равной произведению  $U_{0c} T_2$  (рис. 5в). Этот импульс поступает через резистор  $R_2$  на вход интегратора и разряжает конденсатор  $C$  до нуля. Время разряда равно  $T_2$ . Далее процесс повторяется с периодом  $T_x = T_1 + T_2$  или с частотой  $f = 1/T_x$

Процесс разряда конденсатора можно записать так:

$$\int_0^{T_2} \frac{U_{0c}}{R_2 C} - \frac{U_x}{R_1 C} dt = U_c$$

Приравняв результат интегрирования (2) напряжению  $U_c$  из

формулы (1), получаем

$$\frac{U_{0c}T_2}{R_2C} - \frac{U_xT_2}{R_1} = \frac{U_xT_1}{R_1}$$

и измеряемое напряжение прямо пропорционально  $f_x$ , т. е.

$U_x = \frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{T_2 U_{0c}}{T_1 + T_2}$ ,  $U_x = k f_x$ , где  $k = \frac{R_1 T_2 U_{0c}}{R_2}$  - постоянная величина для данного вольтметра.

Изменение  $U_x$  приведет к изменению  $T_1$ , а значит и  $f_x = \frac{1}{T_x}$ ,  $f_x = \frac{1}{T_1 + T_2}$

Измерение  $f_x$  осуществляется цифровым частотомером.

Импульсы частоты  $f_x$  пропускаются через временной селектор в течении известного интервала времени (рис. 5г). С помощью электронного счетчика число прошедших импульсов  $N = f_x T_{\text{обр}}$  фиксируется и отображается на цифровом индикаторе в единицах напряжения  $U_x$ . Интервал  $T_{\text{обр}} = 20\text{мс}$ , выбирается равным периоду сетевой помехи, которая усредняясь, ослабляется.

## ЦИФРОВЫЕ ВОЛЬТМЕТРЫ С КОДОИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ

В этих вольтметрах измеряемое напряжение уравнивается компенсирующим образцовым напряжением, которое вырабатывается в цифро-аналоговом преобразователе (ЦАП).

Компенсирующее напряжение на выходе ЦАП представляет собой систему дискретных образцовых напряжений, величина которых изменяется по закону, например, с весами 1-2-4-8 или 1-2-4-4.

Цифровые вольтметры с кодоимпульсным преобразованием могут быть с развертывающим (поразрядными) уравниванием или следящего уравнивания.

Структурная схема вольтметра с развертывающим уравниванием приведена на рис. ба.

Принцип его работы заключается в сравнении измеряемого напряжения с рядом образцовых напряжений, величина которых изменяется в течении цикла измерений по жесткой программе до получения равенства или максимального значения.

Измеряемое напряжение  $U_x$  через входное устройство подается на сравнивающее устройство. Управляющее устройство вырабатывает импульсы, устанавливающие длительность цикла  $T$  (рис. 6.б) в течении которого тактовые импульсы воздействуют на ЦАП. ЦАП представляет собой делитель напряжения быстродействующими электронными или электромагнитными переключателями. При поступлении очередного тактового импульса ЦАП последовательно выдает от источника образцового напряжения  $U_{обрi}$  в коде 8-4-2-1 (например 8, 4, 2, 1 В), проходящие на один из входов сравнивающего устройства.

Работу вольтметра рассмотрим на примере измерений  $U_x = 5В$  (рис. 6в).

При воздействии первого импульса управляющего устройства на сравнивающее устройство с выхода ЦАП поступает первое значение  $U_{обр1}$ . Если  $U_{обр1} > U_x$ , сравнивающее устройство вырабатывает сигнал "много", который поступает на управляющее устройство, и в дешифраторе записывается "0" первого разряда, а напряжение  $U_{обр1}$  снимается.

Под действием второго тактового импульса поступает  $U_{обр2}$ , если  $U_{обр2} < U_x$ , то сравнивающее устройство вырабатывает сигнал "мало" и в дешифраторе записывается "1" второго разряда. Аналогичное сравнение дискретных значений образцовых напряжений и сумм напряжений тех разрядов, которые оказались записанными в дешифраторе, происходит до конца цикла и до получения равенства

$$U_x = \sum U_{обрi}$$

Таким образом, измеряемому напряжению  $U_x = 5В$ , соответствует кодовая запись 0101 (4+1), которая преобразуется в цифровом индикаторе в показание.

Вольтметр следящего уравнивания работает не циклами, а в нем осуществляется непрерывное слежение за разностью между  $U_x$  и  $\sum U_{обрi}$ , (сумма образцовых напряжений принимает большее или меньшее значение в зависимости от значения измеряемого напряжения).



Когда достигается равенство  $\sum U_{обри} = U_x$  (рис 6г) код преобразуется в показание, а состояние прибора остается неизменным до тех пор пока не изменится значение

Преимуществом вольтметров следящего уравнивания является меньшая погрешность и большее быстродействие, чем у вольтметров поразрядного уравнивания. Основным недостатком является возможность возникновения автоколебательного режима прибора.

15

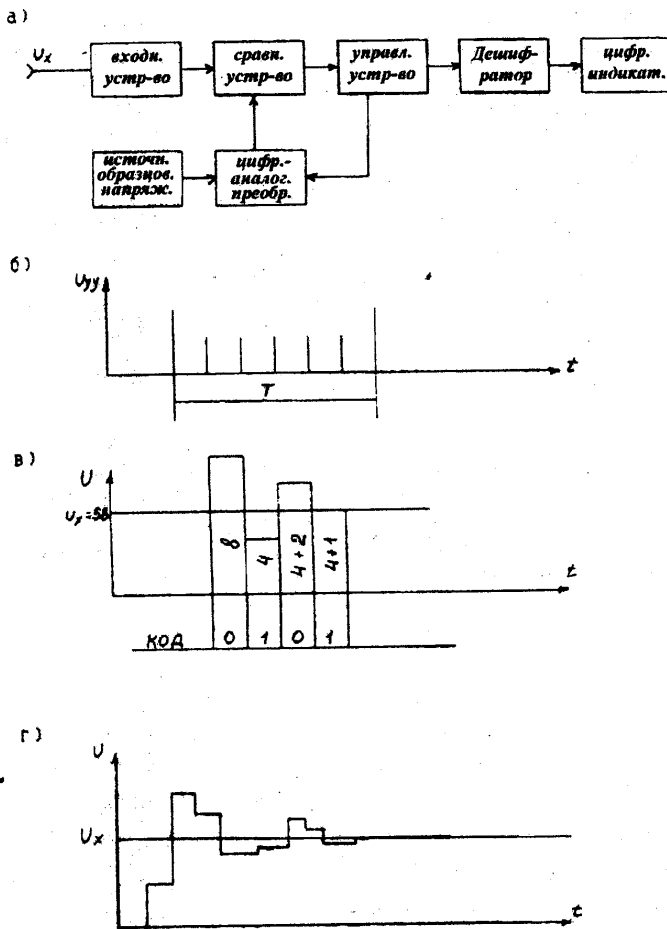


Рис. 6

## ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИФРОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ

Важнейшими метрологическими характеристиками ЦВПТ является диапазон измерений ( $10^{-7} - 10^3$ В), погрешность, быстродействие и помехоустойчивость. Общая погрешность (у лучших образцов порядка  $10^{-5}$ ) нормируется обычно по двучленной формуле

$$\Delta = \pm(a + bx), \delta = \pm \frac{100\%}{x} = [c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1\right)]\%,$$

где  $a, b, c, d$  - постоянные коэффициенты;

$x$  - измеряемая величина;

$x_k$  - значение предела измерения.

Значения коэффициентов  $c$  и  $d$  можно выразить через  $a$  и  $b$ :

$$c = 100(b - a/x_k)\%, d = 100\%a/x_k$$

Класс точности ЦВ обозначается в виде  $c/d$ .

Проанализируем погрешности цифровых вольтметров, придерживаясь классификации их по слагаемым измерениям.

1. Погрешность меры. В вольтметрах различных типов применяются разнообразные меры, что обусловлено принципом построения прибора:

а) у вольтметров с время-импульсным преобразованием мерой служит кварцевый генератор счетных импульсов, с помощью которых измеряется интервал времени. Следовательно, погрешность меры - это нестабильность частоты кварцевого генератора;

б) у вольтметров с частотно-импульсным преобразованием мерой является кварцевый генератор образцового интервала времени, используемого для измерения среднего за интервал значения частоты. Поэтому погрешности меры те же, что и у вольтметров с время-импульсным преобразованием;

в) у вольтметров с кодо-импульсным преобразованием мера - это источник образцовых напряжений. Ее погрешности обусловлены недостаточной точностью и нестабильностью образцовых напряжений.

## 2. Погрешность преобразования:

а) для вольтметров время-импульсного типа с генераторами линейно - изменяющегося напряжения при преобразовании измеряемого напряжения в пропорциональный ему интервал времени возникает погрешность, связанная с нелинейностью и непостоянством скорости измерения пилообразного напряжения, погрешностями сравнивающего устройства и формирования стробирующего импульса;

б) для вольтметров время-импульсного типа с двухтактным интегрированием определяется погрешностью интегратора, нестабильностью образцового напряжения, погрешностями сравнивающего устройства;

в) у вольтметра с частотно-импульсным преобразованием рассматриваемая погрешность — это погрешность преобразования напряжения в частоту;

г) у вольтметров с кодо-импульсным преобразованием зависит от погрешности сравнивающего устройства (от чувствительности и стабильности порога срабатывания).

## 3. Погрешность сравнения

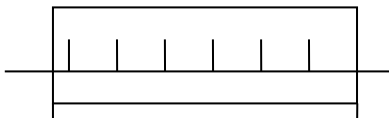
При измерении напряжения сравнение сопровождается погрешностью дискретности. Она возникает в результате квантования непрерывной измеряемой величины и обусловлена конечностью числа уровней квантования.

Замена истинных значений сигнала  $X$  квантовыми  $X_{КВ}$  вносит погрешность округления  $n_x = X_{КВ} - X$

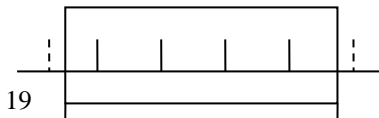
Эта погрешность равносильна наложению на истинные значения  $X$  помехи  $n_x$ . Поэтому последовательность помех (погрешностей округления)  $n_x$  в теории сигналов называют шумом квантования. В измерительной технике погрешность, возникающую в результате квантования, называют погрешностью дискретности.

Погрешность дискретности присуща время-импульсным методам измерения напряжения, характерна для вольтметра с частотно-импульсным преобразованием и проявляется после преобразования напряжения в частоту. Она возникает в следствии того, что моменты появления счетных импульсов не синхронизированы с фронтом и срезом заполняемы им временных ворот.

а)



б)



$t'$  $t''$ 

В реальной схеме непосредственно подсчитываются счетные импульсы, а не периоды их следования, и поэтому округление может производиться как в сторону большего, так и в сторону меньшего значения. Максимальная величина абсолютной погрешности (при правильно выбранной схеме стробирования) составляет один период следования счетных импульсов, т. е. единицу младшего разряда счета. Это иллюстрируют рисунки рис. 7а и 7б.

Длительность  $t'$  и  $t''$  почти одинаковы и приблизительно равны пяти периодам следования счетных импульсов, однако в ситуации, показанной на рис. 7б, - только четыре импульса.

Быстродействие — скорость измерений есть максимальное число измерений в единицу времени, выполняемых с нормированной погрешностью. Быстродействие современных ЦВ может достигать  $10^2$  —  $10^7$  измерений в секунду (кодо-импульсные). Быстродействие приборов обычно не выше  $10^2$  измерений в секунду и определяется полосой пропускания входного устройства и быстродействие АЦП.

Помехоустойчивость нормируется обычно для сетевой помехи и оценивается степенью подавления помехи в децибелах

$$P = 20 \lg(U_{\text{вх}}/U_{\text{вых}})$$

где  $U_{\text{вх}}$ , И  $U_{\text{вых}}$  — напряжения помехи на входе и выходе прибора соответственно.

В заключении отметим, что время-импульсные вольтметры наиболее просты по схемному построению, кодо-импульсные наиболее быстродействующие, позволяющие реализовать достаточно высокую точность ( $10^{-4}$ ), частотно-импульсные — наиболее помехоустойчивые (до 60 дБ) имеют более высокую точность измерения ( $10^{-3}$ ), чем время-импульсные.