

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);

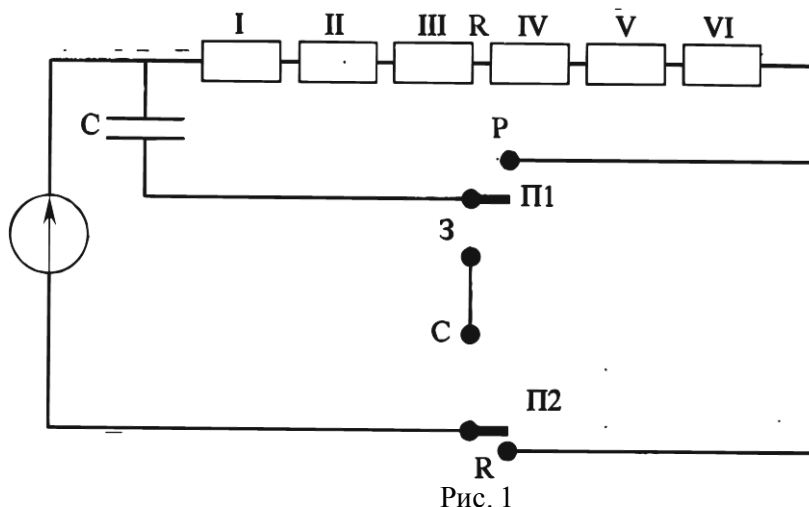
7) Если $\Delta R_1 < \Delta R_{\text{доп}}$ и $\Delta R_2 < \Delta R_{\text{доп}}$, то можно сделать вывод, что технические характеристики цифрового вольтметра соответствуют норме и он пригоден к дальнейшей работе. В противном случае показаниям вольтметра доверять нельзя;

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	ΔR_1 , кОм	ΔR_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 ΔR , 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 ΔU , 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 τ - 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 Δt_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 ΔT 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:

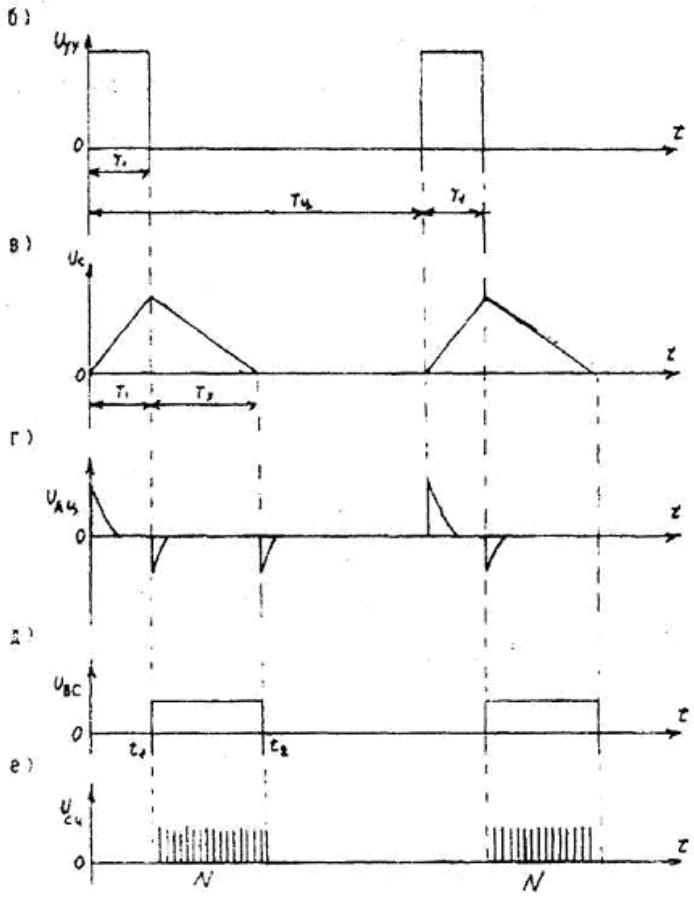
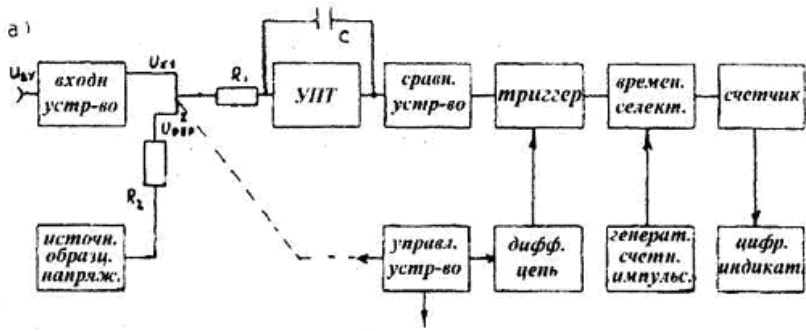
$$\frac{1}{R_1 C} \int_0^{t_1} U_x dt - \frac{1}{R_2 C} \int_{t_1}^{t_2} U_{обр} dt = 0,$$

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

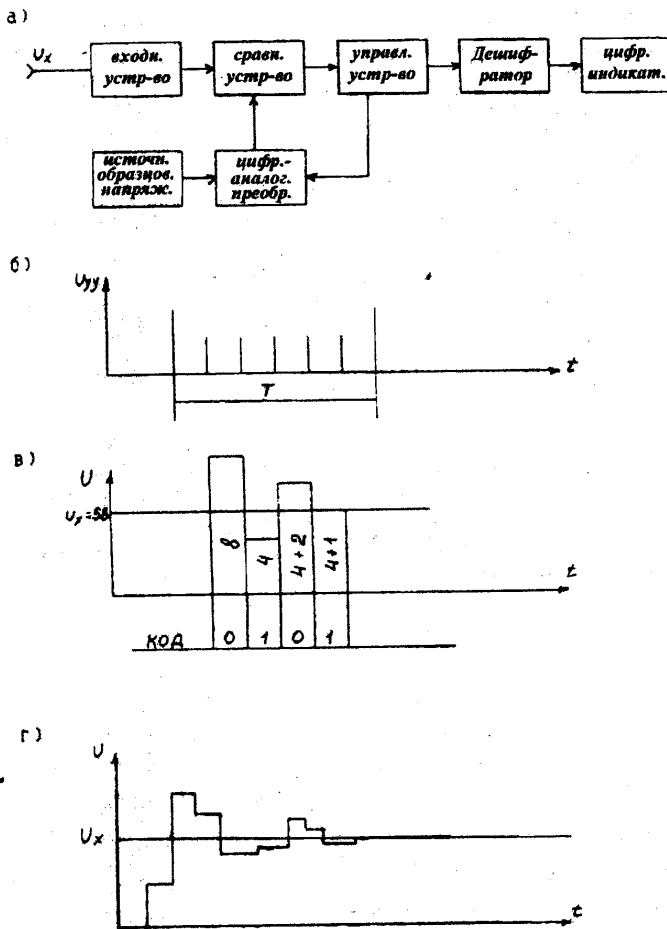


Рис. 6

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

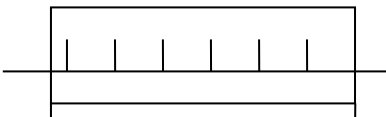
При измерении напряжения сравнение сопровождается погрешностью дискретности. Она возникает в результате квантования непрерывной измеряемой величины и обусловлена конечностью числа уровней квантования.

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

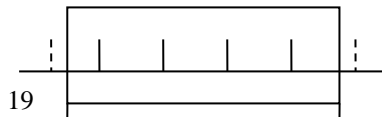
Эта погрешность равносильна наложению на истинные значения X помехи n_x . Поэтому последовательность помех (погрешностей округления) n_x в теории сигналов называют шумом квантования. В измерительной технике погрешность, возникающую в результате квантования, называют погрешностью дискретности.

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.