МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

НИУ МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

В.Ю.КОНЧАЛОВСКИЙ, В.Ф.СЕМЕНОВ, А.Н.СЕРОВ

**ИЗМЕРЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ, ТОКОВ И**

**СОПРОТИВЛЕНИЙ**

Лабораторная работа № 1

Методическое пособие

по курсу

*«Метрология, стандартизация и сертификация»*

для студентов, обучающихся по направлениям «Электроэнергетика»,

«Электротехника, электромеханика и электротехнологии»,

«Информатика и вычислительная техника»

Москва Издательский дом МЭИ

УДК

621.317

К652

# *Утверждено учебным управлением МЭИ (ТУ)*

# *Подготовлено на кафедре информационно-измерительной техники*

Рецензенты:доцент кафедры ВТ МЭИ (ТУ) М.А.Пирогова,

профессор кафедры ММ МЭИ (ТУ) А.Б. Фролов

**Кончаловский В.Ю.**

К:652 Измерение напряжений, токов и сопротивлений. Лабораторная работа №1/

В.Ю. Кончаловский, В.Ф.Семенов, А.Н Серов. М.: Издательский дом МЭИ,

– 20с.

В методическом пособии рассмотрены принципы действия аналоговых и цифровых приборов для проведения прямых измерений напряжений токов и сопротивлений. Приведены их основные метрологические характеристики. Приведены методы расчета погрешностей измерения этих величин.

Методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям «Электроэнергетика», «Электротехника, электромеханика и электротехнологии», «Информатика и вычислительная техника»

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

# *Учебное издание*

**Кончаловский** Вадим Юрьевич

**Семенов** Вячеслав Федорович

**Серов** Андрей Николаевич

Редактор издательства Н.А. Хрущева\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Темплан издания МЭИ 2008, метод Подписано в печать

Формат 6084/16 Печать офсетная Физ.печ. л.1,25

Тираж 250 Изд. № 9 Заказ\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

ЗАО «Издательский дом МЭИ» , 111250, Москва, Красноказарменная, д. 14

Отпечатано в типографии ФГУП «НИИ «Геодезия»»,141292, Московская обл.,

г. Красноармейск, пр-т Испытателей, д. 14

* Московский энергетический институт

# ВВЕДЕНИЕ

## Прямые измерения напряжений, токов и сопротивлений являются наиболее часто встречающимися в практике проведения измерений. Эти измерения осуществляются вольтметрами, амперметрами и омметрами.

Цель данной работы — изучение основных свойств и характеристик перечисленных приборов различ­ных систем для приобретения навыков их выбора в кон­кретных условиях измерения, а также основ расчета погрешностей измерения.

1. СОСТАВ СТЕНДА

В работе используются следующие приборы:

1.**В7-36 -** аналоговый многопредельный мультиметр, предназначенный для измерения постоянного и переменного напряжения, электрического сопротивления.

2. **В7-58 -** цифровой многопредельный мультиметр, предназначенный для измерения постоянного и переменного напряжения и тока, электрического сопротивления.

3. **В3-38 (или В3-39) -** аналоговый многопредельный вольтметр, предназначенный для измерения переменного напряжения.

4. **GVT-417B -** аналоговый многопредельный вольтметр, предназначенный для измерения переменного напряжения.

5. **Э390А -** щитовой узкопрофильныйаналоговый электромеханический вольтметр для измерения переменного напряжения.

6. **Генератор Г3-109 -** генератор синусоидальных сигналов в диапазоне частот 20 Гц -200 кГц.

7. **Группа зажимов:** **1 -0, ………, 8 – 0.** К этим зажимам выведены сигналы различного уровня, частоты и формы. Уровни сигналов и выходные сопротивления источников сигналов указаны ориентировочно.

1. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И СХЕМЫ ПРИБОРОВ

По реализации измерительные приборы делятся на электромеханические и электронные.

*Электромеханические приборы.* Среди электромеханических можно выделить: магнитоэлектрические, электромагнитные, элек­тродинамические [1] и др. Показания большинства этих приборов пропорциональны току, т.е. по принципу действия они являются амперметрами. Введение в их схему добавочных сопротивлений дает возможность измерять напряжения.

Магнито­электрические приборы по принципу действия пред­назначены для измерения только постоянного тока или напряжения и имеют равномерную шкалу. Если же подать на зажимы прибора перио­дический ток (напряжение) любой формы, частота которого не меньше, чем 10—20 Гц, то из-за инерционности подвижной части магнитоэлектрического механизма он будет усреднять этот ток (напряжение), т. е. его показание будет пропорционально среднему значению (постоянной составляющей) тока (напряжения):

*U*ср = , (1)

где T=1/f—период сигнала. Следовательно, при подаче сину­соидального тока (напряжения) показа­ние будет нулевым. При форме сигнала отличного от синусоиды среднее значение можно найти, подставив в (1) конкретное анали­тическое выражение сигнала и взяв ин­теграл. Например, на­пряжение u(t), представляющее собой положительные импульсы прямоугольной формы, характеризу­ется тремя параметрами (рис. 1): максимальным значением *Um* , длительностью импульса *t*и и периодом *T* . Применяя формулу (1) к такому напряжению, получим

*U*ср = *Um t*и / *T .*  (2)

*T*

*tи*

*Um*

Рис.1. Параметры прямоугольных импульсов

Следует заметить, что магнитоэлектрические приборы благодаря механической инерционности позволяют измерять среднее значение сигнала даже в случаях, когда максимальное значение сигнала значительно превышает предел измерения прибора.

Однако при измерении синусоидального тока показание прибора не бу­дет нулевым, если этот ток (напряжение) сначала выпрямить, что использу­ется в выпрямительных приборах. В этом случае их показания пропорциональны средневыпрямленному значению *I*свз

*I*свз = . (3)

Для синусоидального тока при двухполупериодном выпрямлении

*I*свз = 2 *I*m /π . (4)

Показания электромагнитных и электродинамических приборов пропорциональны квадрату тока (напряжения) и поэтому в прин­ципе могут измерять как постоянный, так и периодический ток (напряже­ние) любой формы, но обычно для измерения постоянного тока не применяются, так

как уступают в этом магнитоэлектриче­ским. Таким образом, при измерении этими приборами периодического тока (на­пряжения) их показания соответствуют среднеквадратическим (действующим) значениям независимо от его формы при условии, что все его гармоники попадают в частотный диапазон прибора,

. (5)

Шкалы большинства приборов, предназначенных для измерения пе­риодических сигналов, градуируют именно в среднеквадратических значениях синусоидальной формы сигнала.

Из (5) следует, что для синусоидального сигнала

*I* = *Im* / = *Im* /*k*а, (6)

здесь *k*а= *Im*/ *I* – коэффициент амплитуды, зависящий от формы сигнала.

В свою очередь в выпрямительных приборах при двухполупериодном выпрямлении синусоидального тока значение *I*свз связано с *I* соотношением

*I*свз = 2 *I* /π = *I*/ *k*ф, (7)

здесь *k*ф= *I/I*свз= 1,11 - коэффициент формы (зависит от формы сигнала).

Шкалы выпрямительных приборов не совсем равномерные из-за нелинейности вольтамперных характеристик диодов. Шкалы электромагнитных и электродинамических приборов также неравномерны, поскольку их показания пропорциональны квадрату тока (напряжения). Поэтому начальные участки их шкал иногда оставляют без делений, т. е. не градуируют. Отсюда два понятия: «диапазон показаний», т. е. вся шкала и «диапазон измерений» (его границы отмечают на шкале точками).

В табл. 1 приведены ориентировочные данные некоторых типов электромеханических приборов (метрологические и другие общие характеристики рассматриваются в разделе 3).

*Электронные вольтметры и амперметры.* В состав этих приборов входят электронные измерительные преобразователи (ЭИП) и в зависимости от состава используемых преобразователей электронные приборы делят на аналоговые и цифровые.

Аналоговые электронные приборы как отличительную часть содержат показывающее устройство (ПУ) в виде магнитоэлектрического микроамперметра, а в состав цифровых электронных приборов (ЦП) входят аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и цифровое показывающее устройство (ЦПУ). АЦП является измерительным преобразователем, преобразующим непрерывное, т.е. могущим принимать бесчисленное число значений, напряжение в код (цифру). Число значений, получаемых на выходе АЦП и отражаемое ЦПУ, является ограниченным. В связи с этим возникает характерная для ЦП так называемая погрешность квантования, определяемая ценой единицы младшего разряда (ЕМР) цифрового отсчета.

Технические данные электромеханических приборов Таблица 1

|  |  |
| --- | --- |
| Тип прибора | Основные технические данные |
| Магнитоэлек-трические  приборы | *Пределы измерения по току*: от 0,1 мкА – до 10 А;  *Пределы измерения по напряжению*: от 50 мВ – до 1000 В;  *Сопротивление амперметров*: 10 Ом – 1000 Ом;  *Входное сопротивление вольтметров*: 50 Ом/В – 20 кОм/В;  *Классы точности*: 0,1 – 4,0 |
| Выпрямитель-  ные приборы | *Пределы измерения по току*: от 100 мкА – до 10 А;  *Пределы измерения по напряжению*: от 0,3В – до 1000В;  *Сопротивление амперметров*: 10 Ом – 1000 Ом;  *Входное сопротивление вольтметров*: 200 Ом/В – 10 кОм/В;  *Частотный диапазон*: 20Гц – 50 кГц;  *Классы точности*: 1,5 – 4,0. |
| Электромагнитные приборы | *Пределы измерения по току*: от 10 мА – до 500А;  *Пределы измерения по напряжению*: от 10В – до600 В;  *Сопротивление амперметров*: 0,10 Ом – 10 Ом;  *Входное сопротивление вольтметров*: 20 Ом/В – 100 Ом/В;  *Частотный диапазон амперметров*: 20Гц – 5 кГц;  *Частотный диапазон вольтметров*: 20 Гц – 500 Гц;  *Классы точности:* 0,5– 4,0. |

Общими функциональными узлами для электронных вольтметров и амперметров являются делители напряжения (ДН) или шунты (Ш), усилители постоянного (У=) или переменного (У~) напряжения, преобразователи средневыпрямленного (ПСВЗ), среднеквадратического (ПСКЗ) и амплитудного (ПАЗ) значения.

Структурные основные схемы приборов приведены на рис. 2.

В состав вольтметров постоянного напряжения входят ДН (см. рис.5), У=, при этом выходной частью аналогового вольтметра является микроамперметр магнитоэлектрической системы (рис.3), а в цифровых вольтметрах – АЦП и ЦПУ (рис. 4). Нижний предел измерения зависят от свойств усилителя постоянного напряжения. В аналоговых вольтметрах погрешность измерения в основном определяется классом точности микроамперметра, а в цифровых – погрешностями АЦП.

Необходимо отметить, что при измерении среднего значения сигнала максимальное значение этого сигнала не должно превышать предел измерения прибора, так как в противном случае работа усилителя выйдет за пределы линейного участка амплитудной характеристики, что приведет к искажению сигнала и показания прибора. При использовании цифровых вольтметров для измерения среднего значения помимо указанного обстоятельства необходимо учитывать и принцип действия АЦП.

В вольтметрах переменного напряжения используются ПСВЗ, ПСКЗ и

ПАЗ, выходные постоянные напряжения которых пропорциональны соответствующим значениям переменного напряжения (рис.2,б, в). Эти вольтметры также могут исполняться в виде аналоговых и цифровых приборов. Вольтметры по структуре рис. 2,б отличаются высокой чувствительностью и сравнительно небольшим частотным диапазоном (см. данные табл.2). При использовании ПСВЗ по схеме рис. 6,а практически исключается нелинейность шкалы из-за нелинейных вольтамперных характеристик диодов. В этом случае благодаря введению отрицательной обратной связи по току имеем при градуировке прибора в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения (ср. с (7))

*I*свз = = *U/ k*ф *R*ос,

ДН

У=

ВЧ

*U*=

ПСВЗ

или

ПСКЗ

ДН

ВЧУ

У

ПАЗ

У=

ВЧУ

а) Вольтметр постоянного напряжения б) Вольтметр переменного напряжения

Ш

В

в) Вольтметр переменного напряжения г) Электронный амперметр

АЦП

ЦПУ

Рис. 3. Выходная часть аналогового Рис.4. Выходная часть цифрового

прибора прибора

Рис.2. Структурные схемы электронных приборов

*U*

*U*

***I=***

***U*=**

***I***

*Ux*

*U*вых

*Ix*

*U*вых

Рис. 5. Многопредельный делитель напряжения (а) и многопредельный шунт (б)

а

б

т.е. функция преобразования ПСВЗ не зависит от сопротивлений диодов и микроамперметра. Форма сигнала влияет на показания прибора при использовании в его составе ПСВЗ, тогда как при использовании ПСКЗ влияние формы сигнала исключается (существенно ослабляется), если спектр сигнала соответствует частотному диапазону прибора.

В схеме вольтметра (рис. 2,в) используется ПАЗ (рис.6,б). При подаче на его вход синусоидального напряжения на частотах больше 20 - 40 Гц конденсатор *C* заряжается до амплитуды сигнала (см. рис. 6,в) *U*вых = *Uk*а.

*u*вых(*t*)

*u*вх(*t*)

*u*вх(*t*)

*C R*

*i*вых (*t*)

*u*вх(*t*)

*R*ос

*i*вых(*t*)

ПСВЗ

б

а

в

*u*вых(*t*)

ПАЗ

Рис. 6. Преобразователи средневыпрямленного (а) и амплитудного (б) значений.

Временные диаграммы сигналов (в).

Технические данные электронных вольтметров Таблица 2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип прибора | Основные характеристики | Аналоговый  вариант | Цифровой  вариант |
| Электронные  вольтметры  постоянного  напряжения  (рис.2,а) | *Пределы измерения по напряжению* | от 100 мВ – до 1000 В | |
| *Входное сопротивление* | (1 – 10) МОм | |
| *Классы точности* | 1,5 – 4,0 | 0.05/0,02-  0,5/0,2 |
| Электронные  вольтметры  переменного  напряжения  (рис. 2,б) | *Пределы измерения по напряжению* | от 1 мВ – до 1000 В | |
| *Входные сопротивление и емкость* | (1 – 10) МОм; (30 – 50) пФ | |
| *Частотный диапазон* | 45 Гц – (5-10) МГц | |
| *Классы точности* | 1,5 – 4,0 | 0.05/0,02- 0,5/0,2 |
| Электронные  вольтметры  переменного  напряжения  (рис. 2,в) | *Пределы измерения по напряжению* | от 0,5 В – до 100В | |
| *Входные сопротивление и емкость* | (1 – 10) МОм; (30 – 50) пФ | |
| *Частотный диапазон* | 45 Гц – 1000 МГц | |
| *Классы точности* | 2,5 – 25,0 | 1,0/0,5 – 2,0/1,0 |

Благодаря простоте схемы ПАЗ и исполнению его в качестве выносного пробника вольтметр позволяет измерять напряжение в широком частотном диапазоне (см. табл.2). Показания вольтметров с ПАЗ, отградуированного в среднеквадратических значениях синусоидального сигнала зависят от формы сигнала.

Электронные амперметры представляют сочетание шунта и вольтметра постоянного или переменного напряжения В (рис.2,г и рис. 6), причем вольтметр может быть как аналоговым, так и цифровым (см. табл.3).

Технические данные электронных амперметров Таблица 3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики приборов при измерении  постоянных и переменных токов | Аналоговый  вариант | Цифровой  вариант |
| *Диапазон измерения* | от 10 мкА– до10 А | |
| *Сопротивление амперметров* | 0,01Ом – 1кОм | |
| *Классы точности* | 2.5 – 4,0 | 0,02 /0,01-  0,5/0,1 |

*Электронные омметры.* Омметры предназначаются для измерения активных сопротивлений на постоянном токе. На рис. 7,а представлена схема аналогового электронного омметра. Измеряемое сопротивление *Rx* включается последовательно в цепь, состоящую из источника напряжения *E* и известного сопротивления *R*о, напряжение с которого поступает на вход аналогового вольтметра постоянного напряжения В=,

*U*вх = *ER*о/(*R*о+*Rx*) ≈ *ER*о/*Rx,*

*E*

*R*о

В=

*Rx*

*E*

*R*о

АЦП

*Ux*

*U*о

*r*лс

*Rx*

*U*вх

ЦПУ

а

б

Рис.7. Структурные схемы омметров: аналогового(а) и цифрового (б)

так как обычно *Rx* значительно больше *R*о. Таким образом, шкала такого омметра неравномерна (гиперболическая шкала).

Многие цифровые омметры имеют структуру, близкую к приведенной на рис. 7,б. Как и в предыдущей схеме, измеряемое сопротивление *Rx* и известное сопротивление *Ro* включены последовательно с источником напряжения *Е*. Код (число) *Nx*, вырабатываемый АЦП (например, АЦП с двухтактным интегрированием [3]), связан с напряжениями на сопротивлениях *Rx* и *Ro* соотношением

*Nx*= *К*АЦП *URx /URo*,

здесь *К*АЦП  - коэффициент преобразования АЦП.

Так как эти напряжения создаются протеканием по сопротивлениям одного и того же тока, то

*Nx* = *К*АЦП *Rx* / *R*o.

Такие омметры имеют линейную шкалу, а использование четырех проводной линии связи позволяет практически исключить влияние *r*лс на результат измерения сопротивления. Технические данные электронных омметров приведены в табл. 4.

Технические данные электронных омметров Таблица 4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Характеристики приборов | Аналоговый  вариант | Цифровой  вариант |
| *Диапазон измерения* | 100 Ом- 10 МОм | 10 Ом – 20 МОм |
| *Классы точности* | 2.5 – 4,0 | 0,02 /0,01- 0,5/0,1 |

3. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИБОРОВ

*Погрешность измерения физической величины* определяется суммой инструментальной погрешности используемого средства измерения, погрешностью отсчитывания (для аналоговых приборов) и методической погрешностью.

Расчет инструментальной погрешности производится в соответствии с классом точности средства измерения.

*Класс точности прибора* – обобщённая метрологическая характеристика средств измерений, определяющая допускаемые пределы основной и дополнительных погрешностей, а также некоторые другие характеристики средств измерений.

*Основная погрешность* соответствует нормальным условиям измерений, которые устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа и характеризуются совокупностью значений или областей значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

*Дополнительные погрешности* нормируют для рабочих условий измерений, когда значения влияющих величин находятся в пределах установленных рабочих областей.

Основные сведения по обозначению классов точности и формам выражения погрешностей приведены в табл. 5. В Российской Федерации кассы точности для электроизмерительных приборов устанавливаются в форме приведенной (два варианта) или относительной (два варианта) погрешностей.

Численные значения пределов допускаемых погрешностей устанавливаются нормируемым рядом чисел:

(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6)10 *n* , где *n* =1; 0; -1; -2 и т.д.

Числа этого ряда используются также для обозначения классов точности. В таблице приведены примеры обозначения классов точности.

Пределы основной погрешности определяет класс точности.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначеие класса  точности | Форма выражения  погрешности | Пределы основной  погрешности, % | Расчет других погрешностей, связанных  с основной | Обозначения |
| 1,0 1) | *,* [%] | нп,о = –1, вп,о= +1 |  *=*  *Х*N10*-*2   *=*  *ХN* /*Хизм* |  = *Хизм-Хд* - абсолютная погреш-ность;  *Хизм-*измеренное значение;  *Хд*- действительное значение3);  *ХN*– нормирующее значение3);   - относительная погрешность;   - приведенная  погрешность;  *L*шк –длина шкалы  в мм;  *l*шк – абсолютная погрешность в мм;  *m*шк – масштаб шкалы в точке отсчета (един.изм./мм);  изм – абсолютная погрешность измерения в единицах измеряемой величины |
| 1,0 2)   | *,*[%] | нп,о = –1, вп,о= +1 | *lшк* *=* L*шк* 10-*2*  *изм**=*l*ш*к m*шк* |
| 0,05 | [%] |  *нп,о*= –0,05,  нп,о= +0,5 | *=* *Х*изм10-2 |
| 0,2 / 0,1 | *,*[%] | *нп,о* =–[0,2+0,1],  *вп,о* =+[0,2+0,1] |  *=* [*Xкd+*(*c–d*)*Хизм*]10-2  *или*  *=*  *Х*изм10-2 |

*Классы точности Таблица 5*

Примечания: 1) Для приборов с линейной или параболической шкалой;

2) Для приборов с гиперболической или логарифмической шкалой;

11

3)  См.текст

Пределы дополнительных погрешностей и другие характеристики средств измерений, влияющие на точность результатов измерений, указываются в технических описаниях или частных стандартах на отдельные виды средств измерений.

Дадим дополнительные пояснения по табл. 5.

Абсолютная погрешность определяется, строго говоря, как разность между измеренным значением и истинным значением физической величины. Получение истинного значения реальными средствами недостижимо, поэтому в каждом конкретном измерительном эксперименте оно заменяется действительным значением, измеренным средством измерения, обеспечивающим проведение измерения той же величины с погрешностью в 3 – 5 раз меньшей, чем при исходном измерении.

Для случаев, когда классы точности устанавливаются по приведенным погрешностям, в качестве нормирующего значения принимается конечное значение для приборов с диапазоном измерений от нуля до конечного значения или полная длина шкалы в миллиметрах.

*Сопротивление амперметра* (*R*А) определяется между входными зажимами прибора. Влияние входной емкости амперметра в большинстве случаев не учитывается.

*Входное сопротивление и входная емкость* (при измерении переменных напряжений)являются важными характеристиками вольтметров. При необходимости учитывается также емкость входного кабеля.

*Сопротивление изоляции* междувходными зажимами омметров иногда указывается в описании или косвенно определяется погрешностями прибора при измерении соответствующих значений сопротивлений.

*Частотный диапазон приборов* при измерении синусоидальных токов и напряжений задается нормальной и рабочими областями частот. При измерении сигналов, частота которых соответствует рабочей области, рассчитываются дополнительные погрешности.

4. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ,

ТОКОВ И СОПРОТИВЛЕНИЙ

Как отмечалось выше, суммарная погрешность измерения находится как сумма всех возможных составляющих инструментальной и методической погрешностей и погрешности отсчитывания [2].

Таким образом, при измерении неизменных во времени физических величин (не учитывается динамическая погрешность) пределы суммарной погрешности (рассматривается случай предельного суммирования, когда доверительная вероятность равна единице) определяются следующими выражениями

ВП, = вп, осн.++ вп.отс. + вп.мет,

(8)

НП, = нп, осн.++ нп.отс. + нп.мет,

где ВП, и НП, - верхние и нижние пределы суммарной погрешности;

вп, осн и нп, осн - верхние и нижние пределы основной погрешности;

и - сумма верхних и нижних пределов дополнительных погрешностей при отклонении влияющих величин от нормальных условий;

вп.отс и нп.отс - верхние и нижние пределы погрешности отсчитывания;

вп.мет и нп.мет - верхние и нижние пределы методической погрешности.

*Пределы основной погрешности* рассчитываются в соответствии с классом точности прибора.

*Пределы дополнитель*

*ных погрешностей* рассчитываются с учетом значений влияющих величин и нормированием пределов дополнительных погрешностей.

*Пределы погрешности отсчитывания,* обусловленной неправильным оцениванием на глаз доли деления шкалы, соответствующей положению указателя, и округления при интерполяции внутри деления (например, округле­ние до половины деления или до одной десятой деления). Для аналоговых вольтмет­ров погрешностью отсчитывания в большинстве случаев можно пренебречь по сравнению с инструментальной, если производить отсчет с округлением до 0,1- 0,2 доли деления

п.отс =  0,2дел.*С*дел,

где *С*дел = *ХN* /шк - цена деления шкалы;

шк– число делений шкалы, соответствующее нормирующему значению *ХN;*

[*С*дел]=[Х]/дел – размерность *С*дел.

Для цифровых приборов  отс = 0.

*Методическая погрешность при измерении напряжений* возникает из-за конечности значений выходного сопротивления источника измеряемого напряжения (ИИН) и входного сопротивления и входной емкости вольтметра. Обычно эту погрешность называют погрешностью взаимодействия.

Для нахождения погрешности взаимодействия рассмотрим сначала случай, когда измеряется постоянное напряжение. Эквивалентная схема ИИН всегда сводится к двухполюснику, содержащему ЭДС Е и выходное сопротивление Rвых (рис. 8,а). Подключение вольтметра с входным со­противлением Rвх к источнику напряжения уменьшает на­пряжение на зажимах источника (*UV* <E).

Погрешность взаимодействия определяется как

вз = *UV* - *E* = - *UV R*вых /*R*вх . (9)

На рис. 8,б показана эквивалентная схема, справедливая для случая, когда выходное сопротивление источника можно считать чисто активным, а входную цепь вольтметра представить па­раллельным соединением входного сопротивления (*R*вх) и входной емкости (Свх).

*E*

*R*вх

*R*вых

*UV*

*E*

*R*вх

*R*вых

*UV*

*C*вх

*V*

ИИН

*Rx*д

*r*лс

*R*из



ИИН

*V*=

а б в

Рис. 8. К вопросу о методических погрешностях

Можно показать (см. приложение 1), что для этой схемы в соответствии с (П.1) и (П.2) имеем

вз=, (10)

вз–*UV*(*R*вых/*R*вх)–0,5*UV*2. (11)

Большей частью неизвестны точные значения *R*вых, *R*вх, *C*вх, входящие в (10) - (11). Тогда, задаваясь крайними возможными значениями этих величин и пользуясь соответствующими комбинациями при вычислениях, можно оценить верхние и нижние пределы погрешности взаимодействия.

*Методическая погрешность* *при измерении тока* также обусловлена взаимодействием амперметра со схемой, в одну из ветвей которой включается прибор. В этом случае

вз = - *I*A*R*А /*R*вых. (12)

*Методическая погрешность* *при измерении сопротивлений* обусловлена влиянием сопротивления соединительных проводов (линии связи) *r*лс и сопротивлением изоляции между входными клеммами омметра () *R*из (рис.8,в), Поэтому

мет = *R*изм - *Rx*д = *r*лс – *R2 x*д /*R*из . (13)

В двух последних случаях предельные значения методических погрешностей оцениваются аналогичным образом.

*Правила округления чисел при записи результата измерения:*

Допускается округление значений погрешностей на ±5%. Обычно

значения ВП, и НП, округляют до двух значащих цифр, напри­мер, +1,1 В или –1,3 В. Округление до двух значащих цифр нужно производить после выполнения всех вычислений; по крайней мере один, два лишних знака надо при вычислениях сохранять.

Число, выражающее результат измерения, т. е. Xизм, должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значения ВП, и НП,, например, 120,0 В при ВП, = +1,1 В и НП,= –1,3 В. Округление чисел, выражающих Xизм и ВП, и НП,, произ­водится по обычному правилу.

ЗАДАНИЕ

Ознакомиться с вольтметрами, имеющимися на лаборатор­ном стенде. Внести в отчет их названия, обозначения типов, симво­лические обозначения механизмов и основные характеристики.

1. Определить влияние частоты сигнала на показания всех используемых в работе вольтметров. Значения частот 50, 500, 5000 и 10000 Гц при измерении напряжения 15 В.
2. Выбрать вольтметр и измерить им среднее значение напря­жения на зажимах 3—0. По полученным данным рассчитать среднеквадратическое значение напряжения U на зажимах 3—0, считая, что отношение периода Т к длительности импульса tи равно 1,5.
3. На зажимах, указанных преподавателем, измерить напряже­ние вольтметром, обеспечивающим наименьшую погрешность из­мерения. Записать результат и рассчитать погрешности измерения.
4. Между зажимами, указанными преподавателем, измерить ток. Записать результат и рассчитать погрешности измерения.
5. Измерить сопротивление, указанное преподавателем, омметрами, входящими в состав стенда. Записать результат с указанием погрешности измерения.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

*Общие указания*.

1. Более подробные схемы, характеристики и указания по применению используемых приборов приведены в наглядных материалах, расположенных на стенде, а также в факультативном дополнении к лабораторной работе №1, размещенном на сайте кафедры.

2. Ориентировочные данные источников сигналов, присое­диненных изнутри стенда к зажимам 1—0; 2—0; ... , приведены на лабораторном стенде около этих зажимов. Эти данные необходимы для правильного выбора прибора и для расчета погрешности из­мерения.

3. Необходимо помнить, что при неправильном выборе ис­правный и точный прибор может дать показание, весьма далекое от истины (например, когда прибором измеряется сигнал такого вида, для которого он не предназначен; или, когда частота измеряемого сигнала находится за пределами рабочего частотного диа­пазона прибора; или, когда соотношение входного сопротивле­ния прибора и выходного сопротивления источника сигнала таково, что подключение прибора существенно изменяет измеряемую величину на зажимах источника и т. п.).

4. При использовании многопредельных приборов обязательным является правильный выбор пределов измерения с желательным отсчетом результата измерения во второй части шкалы.

5. При расчете погрешностей измерения следует пользоваться материалами раздела 4, а также примерами расчета, приведенными в приложениях.

*Указания по выполнению пунктов задания.*

1. Перед выполнением п.1 по классам точности вольтметров рассчитать погрешность измерения напряжения 15 В; с учетом заданного частотного диапазона выбрать наиболее точный прибор. Все вольтметры подключаются параллельно к зажимам двух параллельных шин при этом общие точки электронных приборов должны быть подключены к одной шине, которая в свою очередь соединяется с зажимом «0» из пары 1- 0.

2. Для выполнения п. 2 задания нужно установить связь между среднеквадратическим и средним значениями импульсного напряжения. Для этого нужно применить общую формулу (5) и получить частную формулу, подобно тому, как из общей формулы (1) была получена частная формула (2).

3. При выполнении п. 3 задания нужно иметь в виду, что если для измерения данного напряжения в принципе подходят несколько вольтметров, то критерием для оптимального выбора одного из них должен быть минимум суммарной погрешности измерения, а не погрешности вольтметра (см. раздел 4). Следует также выполнять п.п. 2,3,4 общих указаний.

4. При измерении тока следует также выполнять п.п. 2,3,4 общих указаний.

5. При измерении сопротивлений помимо перечисленных рекомендаций при необходимости следует измерить и сопротивления соединительных проводов.

**Контрольные вопросы**

1. Показания, каких из электромеханических приборов, пропорциональны постоянному или среднему значению сигнала?
2. Какие приборы называются выпрямительными?
3. Почему форма сигнала влияет на результат измерения выпрямительных приборов?
4. Каким значениям переменного сигнала пропорциональны показания электромагнитных приборов?
5. Каков состав структурной схемы вольтметра переменного напряжения, имеющего наибольший частотный диапазон?
6. С какими измерительными преобразователями электронные вольтметры переменного напряжения имеют наименьшие пределы измерения?
7. Что такое класс точности прибора?
8. В форме каких погрешностей устанавливаются классы точности приборов?
9. Какая погрешность называется основной?
10. Как найти основную погрешность?
11. Какая погрешность называется погрешностью взаимодействия?
12. Как рассчитать погрешность взаимодействия при измерении напряжения, тока и сопротивления?
13. Из каких составляющих складывается погрешность измерения напряжения?
14. Дан вольтметр со шкалой 0 – 30 В, класс 1,0. Найти п,осн и п,осн измерения *U*= 25 B?
15. Дан вольтметр со шкалой 0 – 200 В, класс 0,5/0,2. Найти п,осн и п,осн измерения *U*= 100 B?
16. Когда необходимо учитывать и дополнительные погрешности?
17. Рассчитать пределы погрешности взаимодействия при измерении напряжения вольтметром c *R*вх = 100 кОм и выходном сопротивлении источника *R*вых= (0,5–2) кОм, *UV* = 50
18. Дан вольтметр с пределом 0 – 200 В, класс 0,2/0,1. Найти п,осн и п,осн

измерения *U* = 100 B?

**Библиографический список**

1. Тартаковский Д.Ф., Ястребов А.С. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: Учеб. Для вузов. – М.: Высш. шк., 2001. – 205 с.: ил.

2. Метрология и электроизмерительная техника. В.И.Диденко, И.Н.Жел-баков, В.Ю.Кончаловский, В. А. Панфилов / Под редакцией В.Н.Мали-новского. - М.: Изд-во МЭИ, 1991. - 80с.

3. Цифровой мультиметр: Методическое руководство к лабораторной работе № 7/ В.Ю.Кончаловский. – М.:Издательский дом МЭИ, 2006.- 18 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

# К РАСЧЕТУ ПОГРЕШНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Для схемы рис. 8,б имеем

= *R*вх /(*R*вх+*R*вых + *j**C*вх *R*вых *R*вх) =

== *UV,*а *– jUV,*р.

Вектор образован геометрической суммой вектора и вектора , модуль вектора равен (см. рис. П.1)

.

Вольтметром измеряется модуль вектора . Погрешность взаимодействия равна разности модулей и вз = *UV* – *E*. Выразив *E* через *UV*  и обозначив *R*вых/*R*вх = 1 и 2= 2 , получим

вз = (П.1)

Обычно 1 1 и2 1 и, пренебрегая величинами 12, 22, получим приближенную формулу для расчета погрешности взаимодействия

вз – *UV* (*R*вых/*R*вх) – 0,5 *UV* 2=– 1 *UV* – 0,52 *UV*. (П.2)

Например, при 1 = 2 *=* 0,1 результат расчета по (П2) меньше результата расчета по (П1) на 4 %, а при 1 = 2 *=* 0,05 разница составляет несколько десятых процента, что вполне допустимо при оценке погрешностей.

Интересно отметить два момента.

1. Частота, на которой первый и второй члены в (П.2) равны, определяется величиной

.

2. Частота, на которой *UV,*а и *UV,*р равны, –  = 1/*C* вх(*R*вых || *R*вх ).



вз

Рис. П.1. К расчету погрешности взаимодействия

## 

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

1. Исходные данные.

Вольтметр с характеристиками:

1. Предел измерения 3 В;

2. Класс точности 4,0;

3. Нормальная область частотного диапазона: от 50 Гц до 1 МГц;

4. Шкала имеет к = 60 делений;

5. Показание прибора с округлением до десятых долей деления равно отс =52,3 дел.;

6. Входное сопротивление вольтметра Rвх > 1 МОм, входная емкость Свх < 50 пФ.

7. Частота источника сигнала 50 кГц; выходное сопротивление источника чисто активное, с возможным интервалом значений 2 кОм Rвых 10 кОм.

8. Условия – нормальные.

2. Расчет измеренного значения напряжения

Uизм= отс Сдел = 52,3дел 3 В/ 60 дел =2,615 В.

3. Расчет составляющих суммарной погрешности и пределов суммарной погрешности

1. Предельные значения основ­ной абсолютной погрешности вольтметра:

 п,осн = ± 4% 3 В/100% = ±0,120 В;

2. Расчет погрешности отсчитывания дает

 п,отс = ± 0,20,05 = ± 0,01 В;

3. Дополнительные погрешности отсутствуют.

4. Расчет погрешности взаимодействия вз

Расчет проведем по точным и приближенным формулам

вз,вп =–2,615 В0,002 = – 0, 00523 В (*R*вых= 2 кОм; *C*вх= 0);

вз,нп =–2,615 В0,02213 = – 0.05786 В – по (10) (*R*вых=10 кОм; *C*вх= 50 пФ);

вз,нп =–2,615 В0,01 – 0,5 2,615 В0,02465 =– 0.05838 В – по (11) (*R*вых=10 кОм;

*C*вх= 50 пФ); из чего следует, что расчет по (11) дает разницу всего в 0,02 %.

5. Расчет пределов суммарной погрешности в соответствии с (8)

ВП, = вп, осн.+ вп.отс. + вп.мет= +0,120 +0,01– 0,00523 = + 0,1248 В;

НП, = нп, осн.+ нп.отс. + нп.мет= – 0,120 – 0,01– 0.05786 = - 0,1878 В.

4. Представление результата измерения.

Округленное до двух значащих цифр значение границ интервала:

ВП, = 0,12 В и НП, = – 0,20 В.

Значение результата Uрез,округленное таким образом, чтобы последние разряды чисел, выражающих значения Uрез, ВП, и НП, , совпадали: Uрез = 2,62 В.

Результат измерения:

Uрез = 2,62 В; ВП, = 0,12 В; НП, =– 0,20 В;*Р*д=1.

*2. Расчет результата измерения с учетом поправки на среднее значение пределов суммарной погрешности.*

В проведенном расчете все составляющие погрешностей, кроме погрешности взаимодействия, имели симметричные относительно нуля пределы. Поэтому введение поправки на среднее значение пределов суммарной погрешности означает введение поправки на среднее значение погрешности взаимодействия. Если несколько составляющих погрешностей имеют несимметричные пределы, то введение поправки на среднее значение суммарной погрешности означает также введение поправки на среднее значение всех средних значений несимметричных составляющих погрешностей.

На рис. П.2,а,б,в дано графическое пояснение этих положений.

На рис. П.2,а изображена ось значений погрешности, на которой относительно нулевого значения отложены значения ВП, , НП, и ср,. Верхний ВП,,п и нижний НП,,п пределы суммарной погрешности после введения поправки находятся как

ВП,,п=ВП,–ср, и НП,,п= НП, – ср,, причем |ВП,,п| = |НП,,п | = |П,,п|.

На оси напряжений (рис.П.2,б) нанесены Uрез и верхняя и нижняя границы ин-тервала напряжений, в котором лежит истинное значение измеряемого напряжения.

*U*нг =*U*рез– ВП, *U*рез *U*вг=*U*рез– НП,

НП ср 0 ВП



*U*нг=*U*рез,п –П,,п  *U*рез,п *U*вг=*U*рез,п+П,,п

НП,,п ВП,,п

а

б

в

# *U*

# *U*

Рис.П.2. К вопросу о введении поправок

После внесения поправки на среднее значение суммарной погрешности положение Uрез,п на оси напряжений изменилось, но границы интервала, в котором лежит истинное значение измеряемого напряжения, остались неизменными (рис.П.2,в).

Поясним это на основе результатов предыдущего расчета:

ср,= (ВП, + НП, )/2 = (+0,12–0,20)/2= - 0,040 В;

ВП,,п= ВП,–ср,= +012– (–0,04)= +0,16 В; НП,,п= НП,–ср,= –0,20– (–0,04)= –0,16 В;

П,,п=0,16 В; *U*рез = 2,62 В; *U*нг =*U*рез– вп = 2,62 – 0,12 = 2,50 В;*U*вг=*U*рез– нп=2.62 – (–0,20) =2,82 В;

*U*рез,п = *U*рез – ср,= 2.62– (–0,04)=2,66 В; *U*нг=*U*рез,п–п,п=2,66 – 0,16=2.50 В;

*U*вг=*U*рез,п+п,п=2,66+0,16=2,82 В.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА

Исходные данные.

Миллиамперметр с характеристиками:

1. Предел измерения 200 мА;

2. Класс точности 0,2/0,04;

3. Показание прибора *I*изм =160,0 мА;

4. Сопротивление миллиамперметра RА < 20 Ом;

5. Выходное сопротивление источника сигнала 20 кОм Rвых 100 кОм.

*Расчет погрешностей*

1. Предельные значения основ­ной относительной и абсолютной погрешности измерения:

п,осн=±[0,2+0,04(|200/160| - 1)]= ±0,21 %;

 п,оcн = ± 0,21160/100 = ± 0,336 мА;

2. Дополнительные погрешности отсутствуют.

3. Расчет погрешности взаимодействия вз  в соответствии с (13):

вз,вп =–16020/105 = – 0, 032 мА;

вз,нп =–16020/210 4 = –0.16 мА;

4. Расчет пределов суммарной погрешности в соответствии с (8)

ВП, = вп, осн.+ вз,вп.= +0,336– 0,032 = + 0,304 мА;

НП, = нп, осн.+ вз,нп.=– 0,336– 0.16 = - 0,496 мА.

Представление результата измерения.

Округленное до двух значащих цифр значение границ интервала:

ВП, = 0,30 мА и НП, = – 0,50 мА.

Значение результата Iрез,округленное таким образом, чтобы последние разряды чисел, выражающих значения Iрез, ВП, и НП, , совпадали: Iрез = 160,00 мА.

Результат измерения:

Iрез = 160,00 мА; ВП, = 0,30 мА; НП, =– 0,50 мА;*Р*д=1.

Iнг =Iрез–ВП = 160,0 – 0,30 = 159,70 мА;Iвг=Iрез–НП,п=160.00+0,50=160,50 мА;

*Расчет погрешностей и результата измерения с учетом поправки*

ср,= (вп + нп )/2 = (+0,30–0,50)/2= - 0,10 мА; ВП,,п= вп–ср,= +0,30– (–0,10)= =+0,40 мА; НП,,п= нп–ср,= –0,50– (–0,10)= –0,40 мА; П,,п=0,40 мА;

Iрез,п = Iрез – ср,= 160,00– (– 0,10)= 160,10 мА; П,,п=0,40 мА; *Р*д=1;

Iнг =Iрез,п– П,п = 160,10 – 0,40 = 159,7 мА;Iвг=Iрез,п– П,п=160.10+0,40=160,50 мА;

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Исходные данные.

Омметр с характеристиками:

1. Предел измерения 0- 200 Ом;

2. Класс точности 0,2/0,1;

3. Результат измерения 157,3 Ом;

4. Результат измерения *r*лс = 0,14 Ом.

Предельные значения основ­ной погрешности измерения:

п,осн=±[0,2+0,1(|200/157,3| - 1)]= ±0,227 %;

 п,оcн = ± 0,227157,3/100 = ± 0,357 Ом ≈±0,36 Ом.;

Результат измерения с учетом поправки (14) на *r*лс: Rрез= (157,16 ±0,36) Ом, *Р*д=1.