

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
Институт высокоточных систем им. В.П. Грязева
Кафедра электротехники

В.В. Замятин Е.И.Феофилов

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ЗАДАНИЯ
К КОНТРОЛЬНО-КУРСОВОЙ РАБОТЕ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Уровень профессионального образования: высшее образование – бакалавриат

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профили подготовки:

Электрооборудование и электрохозяйство предприятий,
организаций и учреждений

Электроснабжение

Квалификация выпускника: 63, академический бакалавр

Форма обучения: очная, заочная

Тула 2020 г.

ОБЩИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТОКА И НАПРЯЖЕНИЯ
ПРИБОРАМИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ

При использовании стационарных режимов в цепях переменного тока используют приборы, которые в зависимости от принципа действия измерительной системы определяют одно из следующих значений измеряемой величины:

а) действующее значение

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}; \quad U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt}$$

б) среднее значение за половину периода (постоянная составляющая)

$$I_0 = I_{cp} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} i dt; \quad U_0 = U_{cp} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} u dt$$

в) амплитудное (максимальное) значение за период

$$I_m \quad \text{и} \quad U_m$$

г) средневывпрямленное значение

$$U_{cp.в} = \frac{1}{T} \int_0^T |u| dt$$

Если кривые тока и напряжения симметричны относительно оси абсцисс, то действующее, среднее и амплитудное значения связаны между собой известными соотношениями:

1) Коэффициентом формы кривой $k_\phi = \frac{U}{U_{cp}}$ (или $\frac{I}{I_{cp}}$);

2) Коэффициентом амплитуды $k_a = \frac{U_m}{U}$ (или $\frac{I_m}{I}$).

Очевидно, что значения этих коэффициентов зависят от формы кривой напряжения (тока). Так, для синусоиды

$$k_\phi = \frac{U}{U_{cp}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11 \quad \text{и} \quad k_a = \frac{U_m}{U} = \sqrt{2} = 1.41$$

При несинусоидальных кривых значения коэффициентов k_ϕ и k_a отличаются от этих значений. Чем ближе кривая измеряемой величины к прямоугольной форме, тем ближе к единице значения k_ϕ и k_a , и наоборот, чем острее кривая, тем больше значения k_ϕ и k_a по сравнению с соответствующими значениями коэффициентов для синусоиды.

Если измеряемая величина представляет собой несинусоидальную периодически изменяющуюся функцию, то ее можно представить в виде тригонометрического ряда. Отношение действующего значения основной гармоники U_1 ряда разложения

к действующему значению U всей кривой получило название коэффициента искажения k_u

$$k_u = \frac{U_1}{U}$$

Для синусоиды

$$k_u = 1$$

При несинусоидальной кривой тока или напряжения приборы различных систем будут вести себя по-разному и могут давать неодинаковые результаты измерения при одном и том же значении измеряемой величины.

Приборы электродинамической, электромагнитной, электростатической и термоэлектрической систем реагируют на действующее значение измеряемой величины, а приборы магнитоэлектрической системы – на постоянную составляющую измеряемой величины.

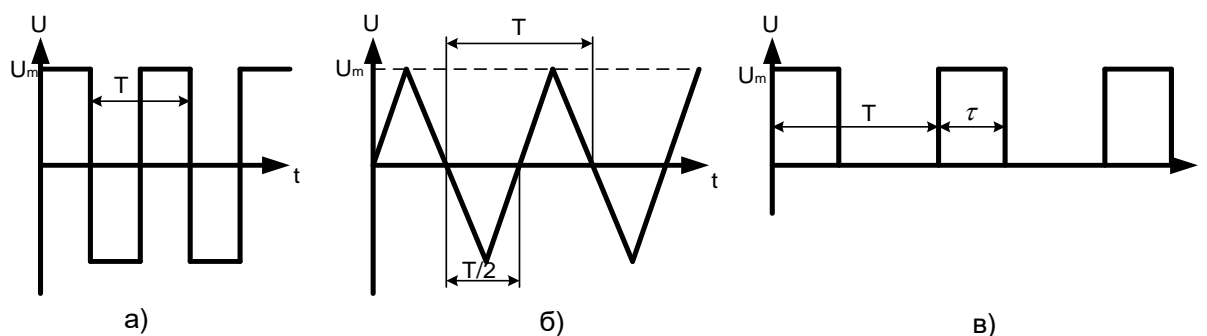


Рис.1 – формы кривой напряжения.

Приборы выпрямительной системы измеряют среднее по модулю значение измеряемой величины, а амплитудные электронные вольтметры – максимальное (амплитудное) значение. Но обычно всеми приборами (кроме магнитоэлектрических) пользуются для измерения действующих значений синусоидальных величин, и поэтому шкалы этих приборов градуируются в действующих значениях. Так, в выпрямительных приборах шкалы градуируется на напряжение $U = 1.11U_{cp}$, в амплитудных электронных вольтметрах на $U = \frac{1}{\sqrt{2}}U_m$. Так как отношения U, U_{cp} и U_m при несинусоидальной форме кривой отличаются от значений коэффициентов 1.11 и $\sqrt{2}$ (для синусоиды), то выпрямительные и электронные приборы дают большую погрешность при измерении действующих значений несинусоидальной величины.

Посмотрим, что будут показывать приборы разных систем при различных формах кривой измеряемого напряжения (рис.1). Допустим, что $U_m = 100 В$.

В случае, приведенном на рис.1-а, магнитоэлектрический вольтметр покажет нуль, так как отсутствует постоянная составляющая; электродинамический вольтметр покажет 100 В ; выпрямительный вольтметр покажет $100 \cdot 1.11 = 111\text{ В}$; амплитудный электронный вольтметр покажет $100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 71\text{ В}$.

В случае, приведенном на рис.1-б магнитоэлектрический вольтметр покажет нуль, так как отсутствует постоянная составляющая; электродинамический вольтметр покажет $\frac{100}{\sqrt{3}} = 58\text{ В}$; выпрямительный вольтметр покажет $50 \cdot 1.11 = 55.5\text{ В}$; амплитудный электронный вольтметр покажет $100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 71\text{ В}$.

В случае, приведенном на рис.1-в, при $\tau = 0.25T$ магнитоэлектрический вольтметр покажет постоянную составляющую $U_0 = 25\text{ В}$; электродинамический вольтметр покажет $100 \cdot \sqrt{0.25} = 50\text{ В}$; выпрямительный вольтметр покажет $25 \cdot 1.11 = 27.25\text{ В}$; амплитудный вольтметр покажет $100 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} = 71\text{ В}$.

В приведенной ниже таблице приведены некоторые виды простейших форм кривой напряжения (тока) и соответствующие им действующие и средние значения напряжения (тока), а также значения коэффициентов K_ϕ , K_a и K_u .

В ряде практических случаев представляет интерес среднее значение измеряемой величины. В этом случае следует применять только приборы выпрямительной системы, так как даже отградуированные в средних значениях приборы других систем при отличии формы кривой измеряемой величины от синусоиды будут давать погрешность. Почти все типы приборов изменяют показания в зависимости от формы кривой измеряемой величины. Исключение составляют лишь приборы термоэлектрической и электростатической систем.

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ АНАЛОГОВЫХ ВОЛЬТМЕТРОВ ОТ ФОРМЫ КРИВОЙ

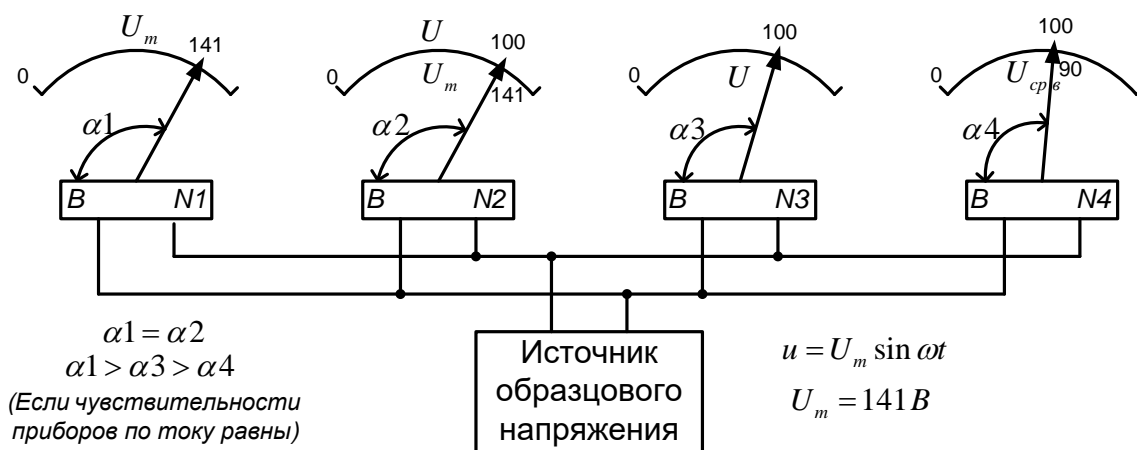
ИЗМЕРЯЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Шкалы подавляющего большинства аналоговых (стрелочных) вольтметров, предназначенных для измерения переменных напряжений, градуируют в среднеквадратичных значениях синусоидального напряжения. Шкалы импульсных вольтметров градуируют в пиковых значениях напряжения.

Соотношения между максимальным U_m , среднеквадратичным U и средневывпрямленным $U_{cp.в}$ значениями синусоидального напряжения таковы:

$$U_m = \sqrt{2}U, U = 1,11U_{cp.в}$$

При измерении напряжений, отличных по форме от синусоидальных, лишь показания квадратичных электронных вольтметров с открытым входом, а также вольтметров электромагнитной, электродинамической (ферродинамической) и электростатической систем соответствуют среднеквадратичному значению измеряемого напряжения. Показания всех других типов вольтметров (детекторы которых неквадратичны) не будут соответствовать этому значению измеряемого напряжения.



Для уяснения выше сказанного кратко познакомимся с процессом градуировки вольтметров. Пусть имеются четыре электронных вольтметра, шкалы которых нужно проградуировать. Вольтметр №1, имеющий пиковый детектор с закрытым входом, предназначается для измерения высоты импульсов. Вольтметр №2, имеющий пиковый детектор с закрытым входом, предназначается для измерения синусоидальных напряжений в среднеквадратичных значениях. Вольтметр №3 имеет квадратичный детектор; вольтметр №4 – детектор средневывпрямленного значения и предназначается для измерения синусоидальных напряжений в среднеквадратичных значениях.

Подключим эти вольтметры к стабилизированному источнику синусоидального напряжения и проведем градуировку их шкал.

Пусть максимальное значение напряжения источника $U_m = 141 \text{ В}$. В этом случае стрелка измерителя вольтметра №1 повернется на угол, пропорциональный U_m . Так как прибор предназначается для измерения высоты импульсов, то против конца стрелки измерителя ставят риску и число 141 ($U_m = 141 \text{ В}$). Стрелка измерителя вольтметра №2 также повернется на угол, пропорциональный максимуму калибрующего напряжения, однако против конца стрелки нужно поставить число 100, так как прибор градуируется в среднеквадратичных значениях синусоидального напряжения. Угол поворота стрелки вольтметра №3 пропорционален среднеквадратичному значению калибрующего напряжения и против конца стрелки следует поставить число 100. Угол поворота стрелки измерителя вольтметра №4 пропорционален средневывпрямленному значению калибрующего напряжения ($U_{\text{ср.в}} = 90 \text{ В}$), однако против конца стрелки нужно поставить число 100, так как прибор предназначен для измерения синусоидальных напряжений в среднеквадратичных значениях.

При измерении напряжений, форма которых отлична от синусоидальной, всегда нужно учитывать характер градуировки шкалы вольтметра. Так, например, если при измерении неизвестного напряжения вольтметр №4 показал 30 В, то это означает при открытом входе вольтметра, что средневывпрямленное значение измеряемого напряжения равно $30 \cdot 0.9 = 27 \text{ В}$.

Если же какое-то неизвестное напряжение измерялось прибором №2 с закрытым входом и его показания равны 10 В, то можно лишь сказать, что это напряжение имело пиковое отклонение вверх над постоянной составляющей $10\sqrt{2} = 14.1 \text{ В}$.

Если форма измеряемого напряжения известна, то интересующее экспериментатора значение напряжения может быть определено по отчетам прибора практически любого типа.

ЗАДАНИЕ К ККР ПО ТЕМЕ: ИЗМЕРЕНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИБОРАМИ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ.

Определить результат измерения одного из несинусоидальных напряжений в зависимости от варианта, формы и параметры которых приведены в таблице №1, следующими приборами:

Для электромеханических приборов.

1. Магнитоэлектрическим вольтметром
2. Выпрямительным вольтметром
3. Электромагнитным вольтметром
4. Электродинамическим вольтметром
5. Электростатическим вольтметром

Для электромеханических приборов изобразить эскизы конструкций приборов и указать их основные принципы действия и достоинства и недостатки

6. Для электронными вольтметрами в соответствии с таблицей Табл. 2 необходимо по отсчету со шкалы вольтметра определить все характеристики измеряемые напряжения :

-амплитудное напряжение - U_a

-действующее напряжение - U

- средневыврямленное напряжение $U_{св}$

Дополнительно: представить несколько схем разновидностей детекторов Ваших вольтметров.

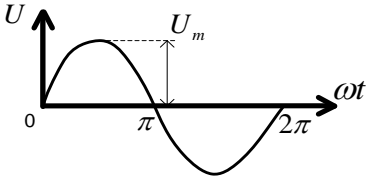
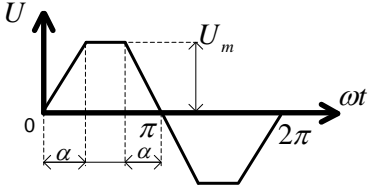
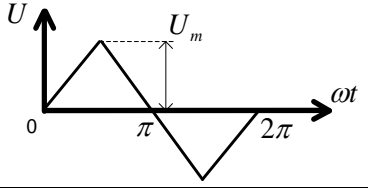
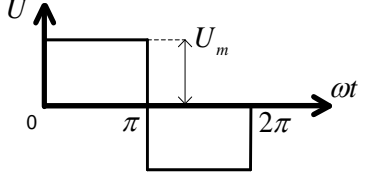
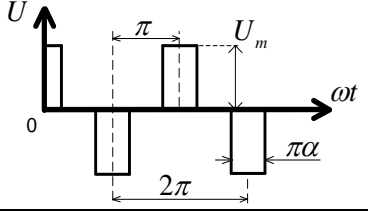
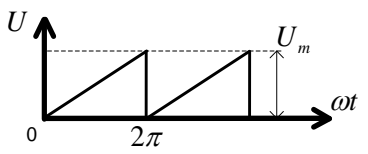
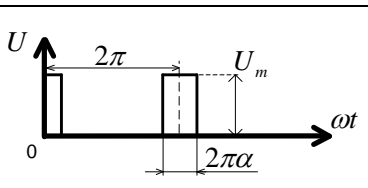
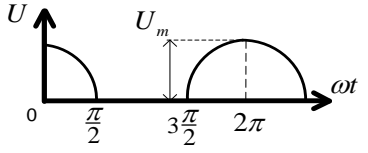
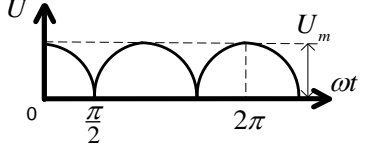
Предполагается, что спектр измеряемого напряжения не выходит за пределы полосы пропускания вольтметра. Вид номера измеряемого напряжения указывается в Табл. 2, а форма этого номера соответствует в Табл.1.

Содержание пояснительной записки

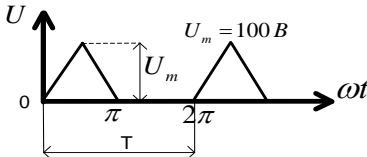
1. Пояснения для вопросов заданных для свойств электромеханических приборов
2. Для электронного прибора изобразить блок-схему измерений при закрытом и открытом входов прибора, поясняющие измеряемого напряжения через измерительный тракт вольтметра.

Изобразите различие закрытого входа на детектируемое исходное напряжение.,Как меняется постоянная составляющая .

Изобразите форму измеряющего напряжения.

№ вариант ы пример ов напряж ений	График $U = f(\omega t)$	U	U_{cp}	k_ϕ	k_a	k_u
1		$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	1
2		$U_m \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$	$U_m (1 - \frac{\alpha}{\pi})$	$\frac{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$	$\frac{2\sqrt{2} \sin \alpha}{\alpha \pi \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$
3		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	$\frac{4\sqrt{6}}{\pi^2}$
4		U_m	U_m	1	1	$\frac{2\sqrt{2}}{\pi}$
5		$U_m \sqrt{\alpha}$	$U_m \alpha$	$\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$	$\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$	$\frac{4 \sin \frac{\alpha \pi}{2}}{\pi \sqrt{\alpha}}$
6		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	$\frac{\sqrt{3}}{\pi}$
7		$U_m \sqrt{\alpha}$	$U_m \alpha$	$\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$	$\frac{1}{\sqrt{\alpha}}$	$\frac{2 \sin \alpha \pi}{\pi \sqrt{\alpha}}$
8		$\frac{U_m}{2}$	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	2	-
9		$\frac{U_m}{\sqrt{2}}$	$\frac{2U_m}{\pi}$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$	$\sqrt{2}$	-

10		$U_m \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{3\sqrt{3}}{\pi}}$	$\frac{3\sqrt{3}U_m}{2\pi}$	$\pi \sqrt{\frac{2}{27} + \frac{1}{3\pi\sqrt{3}}}$	$\frac{2}{\sqrt{2 + \frac{3\sqrt{3}}{\pi}}}$	-
11		$U_m \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$	$U_m (1 - \frac{\alpha}{\pi})$	$\frac{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$	$\frac{2\sqrt{2} \sin \alpha}{\alpha \pi \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$
12		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	-
13		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{4}$	$\frac{4}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	-
14		U_m	U_m	1	1	-
15		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	-
16		$\sqrt{\frac{T}{4} \int_0^{\frac{T}{4}} u^2(t) dt}$	$\frac{T}{4} \int_0^{\frac{T}{4}} u(t) dt$	$\frac{U}{U_{cp.s}}$	$\frac{U_m}{U}$	-
17		$\sqrt{\frac{T}{4} \int_0^{\frac{T}{4}} u^2(t) dt}$	$\frac{T}{4} \int_0^{\frac{T}{4}} u(t) dt$	$\frac{U}{U_{cp.s}}$	$\frac{U_m}{U}$	-
18		$\sqrt{\frac{T}{4} \int_0^{\frac{T}{4}} u^2(t) dt}$	$\frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt$	$\frac{U}{U_{cp.s}}$	$\frac{U_m}{U}$	-
19		$\frac{U_m}{2} \sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}$	$\frac{U_m}{2} (1 - \frac{\alpha}{\pi})$	$\frac{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}{1 - \frac{\alpha}{\pi}}$	$\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{4\alpha}{3\pi}}}$	-

20		$\frac{U_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{U_m}{4}$	$\frac{4}{\sqrt{3}}$	$\sqrt{3}$	-
----	---	------------------------	-----------------	----------------------	------------	---