

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

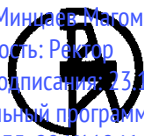
ФИО: Минцаев Магомед Шавалович

Должность: Ректор

Дата подписания: 23.11.2023 14:58:02

Уникальный программный ключ:

236bcc35c296f119d6aafdc22836b21dc



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Филиал ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате

Кафедра «Электрооборудование и автоматика промышленных предприятий»

Электрические и компьютерные измерения. Измерение в трехфазных сетях

Учебно-методическое пособие
к выполнению лабораторных работ



Уфа
2018

Учебно-методическое пособие предназначено для бакалавров по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», профиль подготовки «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» всех форм обучения для освоения дисциплин «Электрические и компьютерные измерения», «Измерение в трехфазных сетях».

Пособие будет полезно также в дипломном проектировании, научно-исследовательской и самостоятельной работе студентов.

Публикуется в авторской редакции.

Составители: Баширова Э.М., канд. техн. наук, доц. каф. ЭАПП
 Хуснутдинова И.Г., старший преподаватель каф. ЭАПП

Рецензенты: Баширов М.Г., д-р техн. наук, проф. каф. ЭАПП
 Вильданов Р.Г., д-р техн. наук, проф. каф. ЭАПП

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗМЕРЕНИЕ.....	5
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ.....	5
1.1 Теоретическая часть к выполнению лабораторной работы №1	5
1.2 Порядок выполнения лабораторной работы на стенде «Измерение мощности в трехфазных цепях»	19
1.3 Содержание отчета.....	20
1.4 Контрольные вопросы	21
1.5 Библиографический список	22
2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ В СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	23
2.1 Теоретическая часть к выполнению лабораторной работы №2	23
2.2 Приборное обеспечение	24
2.3 Порядок выполнения лабораторной работы №2	24
2.4 Метрологическое обеспечение	25
2.5 Оформление отчёта	28
2.6 Техника безопасности при выполнении лабораторной работы №2	29
2.7 Контрольные вопросы	29
2.8 Библиографический список	30
3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ..	31
3.1 Теоретическая часть к выполнению лабораторной работы №3	31
3.2 Порядок выполнения работы лабораторной работы №3	48
3.3 Обработка результатов измерений	50
3.4 Контрольные вопросы	51
3.5 Техника безопасности.....	52
3.6 Библиографический список	52

ВВЕДЕНИЕ

Измерения являются одним из основных источников количественной информации об исследуемых объектах самой различной природы. Измерительная техника развивалась и совершенствовалась на протяжении всей истории человечества. Во все времена ее уровень определялся уровнем и потребностями производства, в свою очередь влияя на технологический уровень. По мере развития производства и научных исследований расширялся круг измеряемых физических величин.

Сегодня понятие «электрические измерения» толкуется более широко, чем столетие назад, и распространяется на методы и средства измерения не только электрических величин.

Сегодня широко распространены различные измерители неэлектрических величин, основанные на электрических методах преобразования информации: термометры, расходомеры, газоанализаторы, анемометры, тахометры, измерители массы, перемещения, скорости движения и ускорения, освещенности, относительной влажности воздуха, кислотности жидкости и др. В практике различных исследований активно используются измерители параметров электрических цепей и процессов, регистраторы и анализаторы параметров электропотребления.

Учебно-методическое пособие призвано помочь студентам лучше освоить базовые навыки в задачах измерений: повышение точности, чувствительности, разрешающей способности; расширение диапазонов возможного изменения измеряемых величин; увеличение степени подавления помех; повышение быстродействия средств измерений. В современной измерительной технике все чаще применяются методы автоматической компенсации систематических погрешностей и эффективного уменьшения случайных.

1 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ

Цель работы: изучение методов измерения параметров электропотребления многофункциональными приборами.

Приборы: многофункциональный измеритель мощности МПС-2090W, клещи электроизмерительные серии АРРА-А.

1.1 Теоретическая часть к выполнению лабораторной работы №1

1.1.1 Цифровые измерительные приборы

Цифровыми называются измерительные приборы, автоматически выравнивающие дискретные сигналы измерительной информации и представляющие показания в цифровой форме [1].

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) включают аналоговый преобразователь АП (рисунок 1), изменяющий масштаб входной величины x или ее преобразование в другую величину $y = f(x)$, более удобную для дальнейшей обработки, аналого-цифровой преобразователь АЦП, автоматически преобразующий непрерывную входную величину в цифровой код, и цифровое отсчетное устройство ЦОУ, преобразующее цифровой код в цифровые символы десятичной системы, удобные для визуального восприятия.

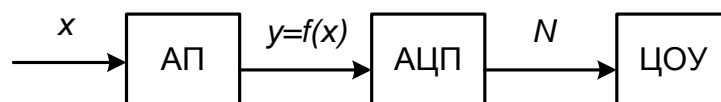


Рисунок 1 – Структурная схема цифрового измерительного прибора

Различают ЦИП последовательного счета и поразрядного уравнивания. В ЦИП последовательного счета происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины с известной величиной. В ЦИП поразрядного уравнивания происходит последовательное во времени сравнение измеряемой величины с известной величиной, изменяющей свое значение неравномерными скачками по определенному алгоритму.

По роду измеряемой величины ЦИП разделяют на вольтметры, частотомеры, фазометры и т.д. Имеются также комбинированные ЦИП – мультиметры, клещи.

Различают ЦИП, показывающие мгновенные значения измеряемой величины и показывающие среднее значение за определенный промежуток

времени, т.е. интегрирующие. По области применения ЦИП подразделяют на лабораторные, системные и щитовые.

1.1.2 Основные характеристики цифровых приборов

К основным техническим характеристикам ЦИП относятся следующие: диапазон измерений, чувствительность, разрешающая способность, входное сопротивление, входной ток, точность, помехоустойчивость, быстродействие.

Обычно ЦИП имеют несколько диапазонов измерений, переключение которых осуществляется вручную или автоматически. На каждом поддиапазоне, кроме верхнего, предусматривается перегрузка, т.е. допустимое превышение номинального значения поддиапазона при сохранении всех технических характеристик.

Чувствительность ЦИП определяется как значение измеряемой величины, приходящееся на единицу дискретности (один квант).

Разрешающая способность – величина, обратная количеству квантов N_q на поддиапазоне с учетом перегрузки, т.е. N_q^{-1} .

Входное сопротивление характеризует собственное потребление ЦИП от источника сигнала измерительной информации, оно влияет на относительную погрешность измерения:

$$\delta = \frac{R_{и}}{R_{вх}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $R_{и}$ – внутреннее сопротивление источника напряжения;
 $R_{вх}$ – входное сопротивление.

Для приборов переменного тока, кроме входного сопротивления, в паспорте прибора указывается значение входной емкости $C_{вх}$.

Входной ток также влияет на источник сигналов измерительной информации, его определяют как ток, протекающий между замкнутыми входными выводами ЦИП в отсутствие измеряемой величины. При измерении напряжения источника с высоким внутренним сопротивлением цифровым вольтметром вносится методическая погрешность:

$$\Delta U = I_{вх} R_{и}, \quad (2)$$

где $I_{вх}$ – входной ток;
 $R_{и}$ – внутреннее сопротивление.

Точность ЦИП оценивается погрешностями, которые имеют методическую составляющую дискретности и погрешность, возникающую из-за несовершенства изготовления элементов и узлов прибора.

Для ЦИП, выпускаемых промышленностью, погрешность нормируется по формуле:

$$\delta = \pm \left(c + d \cdot \left(\left| \frac{x_K}{x} \right| - 1 \right) \right), \quad (3)$$

где δ – относительная погрешность в данной точке поддиапазона, %;

c – постоянное число, %;

d – постоянное число, %;

x_K – конечное значение измеряемой величины в данном диапазоне измерений;

x – значение измеряемой величины.

Для некоторых ЦИП относительная погрешность нормируется по формуле:

$$\delta = \pm \left(c' + d \cdot \frac{x_K}{x} \right), \quad (4)$$

где c – предел допустимой приведенной погрешности.

$$c' = c - d. \quad (5)$$

Числа c и d выбирают из определенного ряда.

Класс точности ЦИП обозначается c/d . Если ЦИП имеет несколько поддиапазонов, то и пределы допустимого значения основной погрешности могут нормироваться для каждого поддиапазона.

Способность ЦИП снижать влияние помех на результат измерений называется помехоустойчивостью, которая количественно характеризуется коэффициентом подавления помех:

$$k = 20 \cdot \lg \left(\frac{E_{п.маx}}{U_э} \right), \quad (6)$$

где $E_{п.маx}$ – амплитудное значение помехи на входе прибора;

$U_э$ – эквивалентное входное постоянное напряжение.

Эквивалентное входное постоянное напряжение вызывает такое же изменение показаний прибора, что и амплитудное значение помехи на входе прибора.

Быстродействие ЦИП характеризуется длительностью одного цикла измерений $T_ц$ или числом измерений в секунду, а также продолжительностью установления показаний при скачкообразном изменении измеряемой

величины. Этот показатель особенно важен, если ЦИП используется в измерительных информационных системах, где одним прибором проводится последовательный опрос нескольких измерительных информационных каналов.

1.1.3 Метрологическое обеспечение измерений

Основными характеристиками результата измерений являются точность и достоверность. Точность измерений определяет их качество и уменьшается с увеличением погрешностей. Достоверность измерений характеризует степень доверия к полученным результатам. Обычно стремятся к тому, чтобы погрешность измерений не превышала заданных границ с необходимой достоверностью.

Погрешности измерений делят на систематические и случайные. Кроме них, в процессе измерения могут появиться грубые погрешности, т.е. существенно превышающие ожидаемые при данных условиях. Обычно грубые погрешности при обработке результатов измерений не учитывают.

В зависимости от причины возникновения различают следующие погрешности: инструментальные, т.е. зависящие от погрешностей применяемых средств измерений; метода измерений, обусловленные несовершенством метода измерений; отсчитывания, происходящие от недостаточно точного отсчитывания показаний средств измерений; интерполяции при отсчитывании, возникающие от недостаточно точного оценивания на глаз деления шкалы, соответствующей положению указателя; от параллакса, происходящие вследствие визирования стрелки, расположенной на некотором расстоянии от поверхности шкалы в направлении, перпендикулярном поверхности шкалы.

По форме выражения рассматривают абсолютные погрешности, т.е. представленные в единицах измеряемой величины, и относительные.

Систематические погрешности измерений не зависят от числа измерений и при повторных измерениях остаются постоянными или изменяются по определенному закону, искажая результат. При наличии систематической погрешности в полученный результат измерений вносят поправку, а если систематическую погрешность нельзя исключить, то оценивают ее границы.

Систематические погрешности подразделяются на инструментальные, погрешности метода, в том числе и вызываемые влиянием самих средств измерений на измеряемую цепь, погрешности отсчитывания и возникающие при изменении влияющих величин, например температуры окружающей среды, магнитных полей, напряжения питания и т.п., погрешности считывания.

Существуют следующие способы исключения и учета систематических погрешностей.

1 Устранение источников погрешностей до начала измерений путем регулировки или ремонта средств измерений, удаление средства измерений от источника погрешности (например, источника теплоты или внешних магнитных полей), стабилизации напряжения, правильной установки прибора (указывается в технической документации).

2 Исключение погрешностей в процессе измерений способами замещения, компенсации погрешности по знаку, противопоставления, симметричных наблюдений. Способ замещения заключается в том, что измеряемый объект заменяют известной мерой, находящейся в тех же условиях. Погрешность измерения при этом зависит от погрешности меры и случайной составляющей погрешности. Постоянные составляющие погрешности при этом исключаются.

Способ компенсации заключается в том, что измерение проводят дважды так, чтобы неизвестная по размеру погрешность входила в результаты измерений с противоположным знаком, тогда при вычислении среднего значения двух измерений систематическая погрешность исключается. Число измерений может быть больше двух, но обязательно четным. Способ применяют только для исключения погрешностей, источники которых имеют направленное действие. Так можно исключить влияние магнитных полей, магнитного гистерезиса и т.п.

Составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины, называется случайной погрешностью.

Для исключения случайной погрешности измерения проводят неоднократно, причем, чем больше измерений, тем меньше значение погрешности. Так как случайные погрешности устранить практически невозможно, то обычно оценивают границы случайной погрешности.

Результат измерений при этом записывают обычно в виде:

$$\bar{X} ; \Delta \text{ от минус } \Delta_1 \text{ до } \Delta_2, P_D, \quad (7)$$

где Δ_1, Δ_2 – границы доверительного интервала;

P_D – заданная доверительная вероятность.

Например, $I = 5,3$ А, ΔI от минус 0,2 до 0,4 А, $P_D = 0,95$. Это означает, что измеренное значение силы тока равно 5,3 А, погрешность измерения заключена между минус 0,2 и 0,4 А с вероятностью 0,95, то есть истинное значение силы тока с вероятностью 0,95 лежит в пределах от 5,1 до 5,7 А.

При распределении случайных погрешностей по нормальному закону распределения случайных величин и при заданной доверительной вероятности:

$$P_D (|\bar{X} - a| < \Delta) = \Phi(t), \quad (8)$$

где \bar{X} – среднее арифметическое n наблюдений;
 a – истинное значение измеряемой величины;
 $\Phi(t)$ – интеграл вероятностей.

Доверительный интервал $\pm \Delta$ определяют по формуле:

$$\Delta = \frac{t \cdot \sigma}{\sqrt{n}}, \quad (9)$$

Где t – коэффициент, определяемый по таблицам интегралов вероятностей;
 σ – среднее квадратическое отклонение измерений;
 n – число наблюдений.

Среднее арифметическое измерений величины X определяют по формуле:

$$\bar{X} = \frac{(X_1 + X_2 + \dots + X_n)}{n} = \sum_1^n \frac{X_i}{n}, \quad (10)$$

где X_i – результат i -го наблюдения.

Среднее квадратическое отклонений измерений можно определить как:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}}. \quad (11)$$

Доверительную вероятность выбирают в зависимости от конкретных условий. В технической практике обычно $P_D = 0,95$. Если измерения нельзя повторить, то $P_D = 0,99$. Часто пользуются также доверительным интервалом $\pm 3\sigma$, для которого доверительная вероятность составляет 0,9973, или 99,73 %, что означает, что 99,73 % результатов измерений не выйдут за пределы доверительного интервала. При равномерном распределении вероятностей принимают $P_D = 1$, а $\pm \Delta = \pm 1,739$.

Таблица 1 – Значения доверительных вероятностей P_D

n	Значения P_D при t_c			
	2	2,5	3	3,5
2	0,705	0,758	0,759	0,823
3	0,816	0,870	0,905	0,928

1.1.4 Описание работы многофункциональных измерительных приборов

1.1.4.1 Устройство и назначение органов управления и индикации приборов МІС – 2090W, АРРА – А

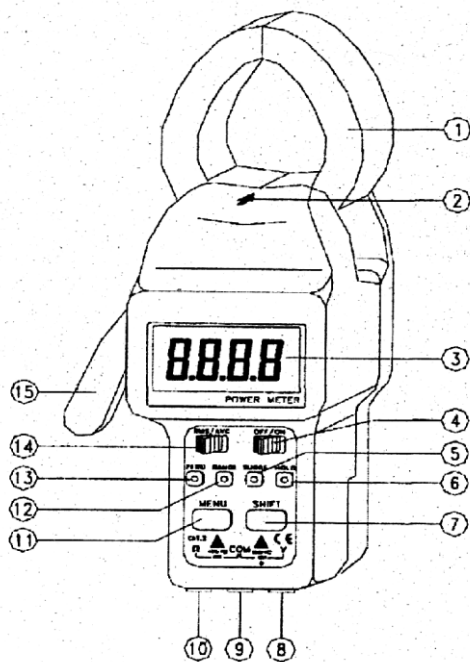
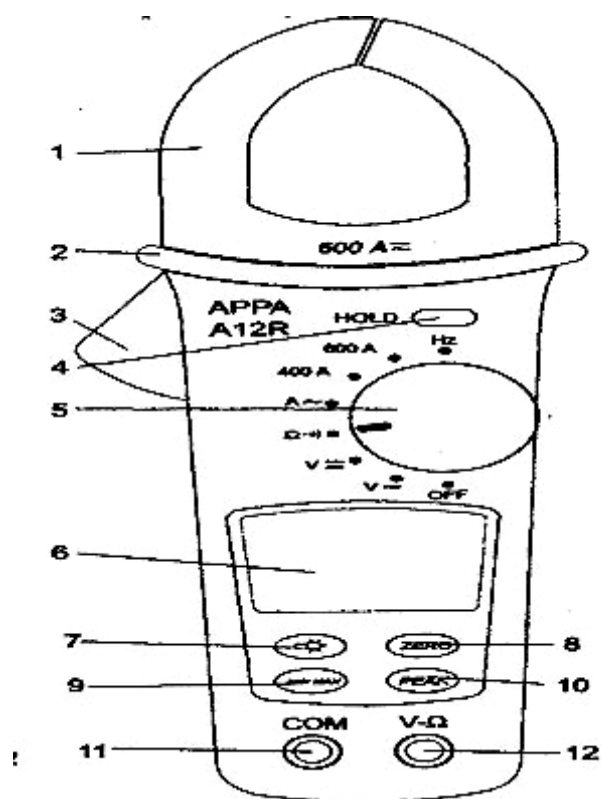


Рисунок 2 – Многофункциональный измеритель мощности MIC – 2090W

Таблица 2 – Обозначение и назначение кнопок

Обхватывающие клещи	Для обхвата проводника при безразрывном измерении тока
Направление тока	При измерении постоянного тока и протекании его в направлении стрелки, измеренное значение тока на индикаторе будет иметь положительный знак
ЖК – индикатор	Индикатор
Выключатель питания	Вкл/выкл прибора
Кнопка «выброс»	Выбор режима фиксации выбросов измеряемого параметра
Кнопка «удержание»	Удержание измеренных показаний на индикаторе, выбор минимальных или максимальных значений
Кнопка «Shift»	Префиксная кнопка для выбора дополнительных режимов измерения напряжения, тока или сопротивления
Гнездо «V»	Гнездо измерения напряжения положительной полярности, частоты или мощности
Гнездо «COM»	Общее гнездо измерения напряжения отрицательной полярности, частоты, мощности или сопротивления
Гнездо «Ω»	Гнездо для подключения второго привода при измерении сопротивления
Кнопка «MENU»	Используйте кнопку для выбора вида

	измеряемого параметра тока, напряжения, сопротивления или мощности
Кнопка «диапазон»	Для выбора верхнего или нижнего предела измерения
Кнопка «ноль»	Установка показаний «ноль» на индикаторе
Переключатель RMS/AVG	Выбор режима измерения: ср. кв. произвольной формы (RMS) или ср. кв. синусоидальной формы (AVG)
Ручка открытия клещей	Раскрывает зажим клещей



1 – клещи преобразователя; 2 – ограничитель безопасности; 3 – курок механизма развода клещей; 4 – кнопка удержание; 5 – переключатель режимов измерения; 6 – ЖК-дисплей; 7-10 – функциональные клавиши; 11,12 – измерительные гнезда

Рисунок 3 – Органы управления и индикации передней панели многофункционального измерителя мощности APPA – А

Таблица 3 – Перевод обозначений органов управления и индикации

Название органа управления/индикации	Перевод
Органы управления	
HOLD	Удержание (результата измерения)

PEAK	Регистрация пиковых значений
ZERO	Установка нуля (при измерении постоянного тока, А-)
MIN MAX	Регистрация минимальных и максимальных значений
Hz	Частота
COM (common)	Общий вывод
V - Ω	Измерительный (потенциальный вывод)
(Ф)	Подсветка дисплея
Органы индикации	
- +	Батарея разряжена
AC (alternating current)	Переменный ток
DC (direct current)	Постоянный ток

1.1.4.2 Измерение параметров электропотребления приборами MIC-2090W, APPA – А

2.2.1 MIC-2090W

Таблица 4 – Измерение переменного тока

Предел	Погрешность		Разрешение	Защита от перегрузки
	47...63 Гц	До 400 Гц		
35 А	1% + 15 ед.счета	2 % + 10 ед.счета	0,03 А	1000 А
350 А	1 % + 5 ед.счета		0,1 А	
1000 А			1,0 А	

Погрешность нормируется для диапазона измеряемой величины 5...100 % от установленного предела.

Таблица 5 – Измерение активной мощности ($V \cdot A \cdot \cos\theta$)

Предел	Погрешность	Разрешение	Защита от Перегрузки
3,5 кВт	2 % + 2 ед.счета	2 Вт	Соответствует максимально допустимым U и I
35 кВт		20 Вт	
350 кВт		200 Вт	

Погрешность нормируется для диапазона измеряемой величины 5...100 % от установленного предела.

Таблица 6 – Измерение реактивной мощности ($V \cdot A \cdot \sin\theta$)

Предел	Погрешность	Разрешение	Защита от Перегрузки
3,5 квар	2 % + 5 ед.счета	2 вар	Соответствует максимально
35 квар		20 вар	

350 квар		200 вар	допустимым U и I
----------	--	---------	------------------

Погрешность нормируется для диапазона измеряемой величины 5...100 % от установленного предела.

Таблица 7 – Измерение коэффициента мощности ($\cos\theta$)

Предел	Погрешность	Разрешение	Защита от перегрузки
3,5 кВт	3 % + 10 ед.счета	0,001	Соответствует максимально допустимым U и I
35 кВт (<400 В)			
350 кВт			

Погрешность нормируется для диапазона измеряемой величины 0,5 $\cos\theta$ 1. Обеспечивается индикация характера нагрузки (емкостная «+»; индуктивная «-») при токе более 10 А и $\cos\theta$ не более 0,965 ($\theta > 15^\circ$).

Таблица 8 – Измерение переменного напряжения (45...400 Гц)

Предел	Погрешность	Разрешение	Защита от перегрузки
350 В	1 % + 5 ед.счета	0,1 В	1000 В пост.
600 В		1,0 В	750 В ср. кв.

Погрешность нормируется для диапазона измеряемой величины 5...100 % от установленного предела.

Таблица 9 – Регистрация бросков тока

Режим	Описание	Погрешность	Мин. длительность выброса
АСА (переменный ток)	Измерение амплитудного значения уровня пускового тока, длительность которого превышает пороговое значение	3 % + 5 ед.счета	20 мс

Погрешность нормируется для диапазона измеряемой величины 5...100 % от установленного предела. Погрешность уменьшается, при увеличении длительности выброса.

Таблица 10 – Измерение частоты

Диапазон	Погрешность	Разрешение	Защита от перегрузки
10 Гц...1 кГц	$\pm 0,5$ %	1 Гц	400 В пост. и пер.

2.2.2 АРРА – А

Таблица 11 – Изменение переменного напряжения

Предел	Разрешение	APPA-A11/11R	APPA-A12/12R
			APPA-A12H/12RH
400 В, 600 В	0,1 В	•	
Погрешность		$\pm (0,01 \cdot X + 2 \cdot k)$	
Защита измерительного входа	600 В ср.кв.		
Полоса частот		50...500 Гц	

Таблица 12 – Изменение переменного тока

Предел	Разрешение	APPA-A11/11R	APPA-A12/12R
			APPA-A12H/12RH
400 А, 600 А	0,1 А	•	
Погрешность		$\pm (0,019 \cdot X + 5 \cdot k)$	$\pm (0,015 \cdot X + 5 \cdot k)$
Защита измерительного входа	600 А		
Полоса частот		50...60 Гц	

Таблица 13 – Измерение частоты

Предел	Разрешение	APPA-A11/11R	APPA-A12/12R
20-40 Гц	1 Гц	•	•
Погрешность		$\pm (0,01 \cdot X + 2 \cdot k)$	
Защита измерительного входа		600 А	

Таблица 14 – Регистрация пиковых значений

Предел	Разрешение	APPA-A11/11R	APPA-A12/12R
400 А, 600 А	0,1 А	•	
Погрешность		$\pm (0,03X+15k)$	
Защита измерительного входа		= / ~ 1000 А (< 1 мин)	

1.1.4.3 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОМ МІС - 2090W

3.1 Измерение переменного тока:

- 1) установить режим измерения переменного тока;
- 2) обхватить клещами провод, в котором необходимо произвести измерения тока;

3) обратить внимание на то, чтобы губки преобразователя были полностью замкнуты. Обхватите клещами только один провод. Если обхвачено более одного провода результат измерения будет сильно искажен.

3.1 Измерение переменного и постоянного напряжения:

- 1) включить измеритель;
- 2) нажать кнопку «MENU» и выбрать режим измерения напряжения.

На дисплее будет присутствовать индикация:

АС 000,х V

3) нажать кнопку «Shift» для выбора режима измерения переменного, постоянного напряжения и одновременно переменная и постоянная составляющая, соответственно индикация на индикаторе измерителя мощности АС, АД, или АС + АД;

4) соединить красный провод с выводом «V» и черный с общим выводом «Com»;

5) соединить провода с точкой, где необходимо измерить напряжение. На индикаторе будет отображено значение напряжения;

6) предупреждение: если величина измеряемого напряжения находится за пределами диапазона измерения, на индикаторе будет индицироваться символ «1» или «-1».

3.3 Измерение мощности переменного тока:

- 1) включить измеритель;
- 2) нажать кнопку «MENU» и выбрать режим измерения активной мощности. На дисплее будет присутствовать индикация «KW»;

3) соединить красный провод с выводом «V» и черный с общим выводом «Com». Соединить провода с точкой, где необходимо измерить напряжение;

4) нажать кнопку «Zero» (ноль) для установки нулевых показаний дисплея;

5) обхватить губками измерителя мощности провод, в котором необходимо произвести измерение мощности;

6) на индикаторе будет отображено значение измеренной активной мощности;

7) для измерения $\cos \theta$ нажать кнопку «Shift» для выбора режима измерения $\cos \theta$;

8) примерно через 10 сек произвести чтение измеренного значения $\cos \theta$ с индикатора;

9) для измерения полной мощности нажать кнопку «Shift» до появления на индикаторе символа «KVA»;

10) примерно через 10 сек произвести чтение измеренного значения полной мощности с индикатора;

11) для измерения реактивной мощности нажать кнопку «Shift» до появления на индикаторе символа «KVar»;

12) примерно через 10 сек произвести чтение измеренного значения реактивной мощности с индикатора;

13) примечание: при измерении активной и реактивной мощностей возможен только автоматический выбор предела измерения.

3.4 Измерение частоты в режимах измерения тока и напряжения

Измерение частоты переменного тока:

1) нажать кнопку «Menu» для выбора режима измерения частоты переменного тока;

2) нажать кнопку «Shift» для выбора режима измерения частоты. На индикаторе появится надпись «A» и «Hz»;

3) обхватить губками измерителя мощности провод в котором необходимо произвести измерение частоты переменного тока и прочитайте измеренное значение частоты.

Измерение частоты переменного напряжения:

1) нажать кнопку «Menu» для выбора режима измерения частоты переменного напряжения;

2) нажать кнопку «Shift» для выбора режима измерения частоты. На индикаторе появится надпись «V» и «Hz»;

3) соединить красный провод с выводом «V» и черный с общим выводом «Com»;

4) соединить провода с точкой, где необходимо измерить частоту. На индикаторе будет отображено значение частоты переменного напряжения.

3.5 Удержание измеренных значений, выбор максимальных или минимальных значений:

1) в процессе измерения нажать кнопку «Hold», на индикаторе появится символ «DH». Измеряемое значение параметра на индикаторе в этот момент будет запомнено в памяти прибора;

2) нажать кнопку «Hold» еще раз, для установки режима выбора минимальных и максимальных значений, на индикаторе появится надпись «MIN MAX». На индикаторе в этот момент будут индицироваться значения измеряемого параметра. Минимальное и максимальное значения занести в память измерителя мощности;

3) нажать кнопку «Hold» еще раз, для считывания минимальных значений, на индикаторе появится надпись «MIN». Минимальные измеренные значения будут вызваны на индикатор из памяти измерителя мощности;

4) нажать кнопку «Hold» еще раз, для считывания максимальных значений, на индикаторе появится надпись «MAX». Максимальные измеренные значения будут вызваны на индикатор из памяти измерителя мощности;

5) нажать «Hold» еще раз, для возврата в нормальный режим измерения.

1.1.4.4 ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРОМ APPA – A

4.1 Измерение переменного тока:

- 1) установить режим измерения переменного тока;
- 2) обхватить клещами провод, в котором необходимо произвести измерение тока;
- 3) обратить внимание на то, чтобы губки преобразователя были полностью замкнуты. Обхватывайте клещами только один провод. Если обхвачено более одного провода результат измерения будет сильно искажен.

4.2 Измерение переменного напряжения (V_{\sim}):

- 1) установить режим измерения переменного напряжения;
- 2) измерительные провода соединить с входными гнездами: СОМ/черный и V/красный;
- 3) подключить измерительные провода параллельно источнику напряжения/нагрузке;
- 4) на ЖКИ индикаторе отобразится результат измерения;
- 5) измерительные провода соединить с входными гнездами: СОМ/черный и V/красный;
- 6) подключить измерительные провода параллельно источнику напряжения/нагрузке;
- 7) на ЖКИ индикаторе отобразится результат измерения.

4.3 Измерение частоты переменного тока:

- 1) установить режим измерения частоты;
- 2) обхватить клещами провод, в котором необходимо произвести измерение частоты;
- 3) обратить внимание на то, чтобы губки преобразователя были полностью замкнуты. Обхватывайте клещами только один провод. Если обхвачено более одного провода результат измерения будет сильно искажен.

Δ -измерения («REL») V_{\sim} , A_{\sim} :

Для осуществления относительных измерений нажать функциональную кнопку «Zero». При этом прибор сохранит в памяти текущее значение как опорное. На дисплее постоянно индуцируется символ «REL» и выводится текущее значение $\pm\Delta$. Нажмите еще раз функциональную кнопку «Zero». На дисплее в мигающем режиме индуцируется символ «REL» и выдается текущее значение V_{\sim} , A_{\sim} . Для возврата в режим измерений нажать и удерживать кнопку «Zero».

4.4 Удержание показаний:

Для удержания показаний нажать кнопку «HOLD». Для возвращения режима измерений в реальный масштаб времени нажать кнопку «HOLD» еще раз.

4.5 Регистрация МИН/МАКС значения V_{\sim} , A_{\sim} :

Для регистрации минимальных и максимальных значений нажать функциональную кнопку «MIN MAX». На дисплее постоянно индуцирует символ «MAX». Прибор фиксирует максимальное и минимальное значение, но на дисплее индуцирует только максимальное. Нажать еще раз функциональную

кнопку «MIN MAX». На дисплее постоянно индуцирует символ «MIN». При этом прибор фиксирует максимальное и минимальное значение, но на дисплее индуцирует только минимальное. При следующем нажатии кнопки «MIN MAX» на дисплее в мигающем режиме индуцируются символы «MIN MAX» и выдается текущее значение V_{\sim} , A_{\sim} . Для возврата в режим измерений нажать и удерживать кнопку «MIN MAX».

1.2 Порядок выполнения лабораторной работы на стенде «Измерение мощности в трехфазных цепях»

1. Выполнить измерение величины переменного напряжения электроизмерительными клещами МІС–2090W, АРРА – А, опыт повторить дважды. Результаты занести в таблицу 15.
2. Выполнить измерение величины переменного тока электроизмерительными клещами МІС–2090W, АРРА – А, опыт повторить дважды. Результаты занести в таблицу 15.
3. Выполнить измерение частоты переменного тока электроизмерительными клещами МІС–2090W, АРРА – А, опыт повторить дважды. Результаты занести в таблицу 15.
4. Произвести измерение активной мощности прибором МІС–2090W. Результат занести в таблицу 16. Опыт повторить дважды.
5. Произвести измерение реактивной мощности прибором МІС–2090W. Результат занести в таблицу 16. Опыт повторить дважды.
6. Произвести измерение коэффициента мощности прибором МІС–2090W. Результат занести в таблицу 16. Опыт повторить дважды.

Таблица 15 – Измерение параметров электропотребления приборами МІС–2090W и АРРА – А

№ опыта	U, В	Δ , В	δ , %	$U_{\text{действ}}$, В	I, А	Δ , А	δ , %	$I_{\text{действ}}$, А	Δ , А	δ , %	f, Гц	Δ , Гц	δ , %	$F_{\text{д}}$, Гц
1														
1														
2														
1														
2														

Таблица 16 – Измерение мощности в цепях переменного тока

P , кВт	Δ , кВт	δ , %	$P_{\text{действ}}$, кВт	Q , квар	Δ , квар	δ , %	$Q_{\text{действ}}$, квар	$\text{Cos } \varphi$	Δ	δ , %	$\text{Cos } \varphi_{\text{действ}}$

1.3 Содержание отчета

1. Для всех выполненных опытов определить абсолютную погрешность по формуле:

$$\Delta = \pm(a \cdot x + 2 \cdot k), \quad (12)$$

где a – значение, нормируемое для каждого вида измерения;

x – измеренное значение;

k – значение единицы младшего разряда на данном пределе измерения.

Результаты занести в таблицу 15 и 16.

2 Определить относительную погрешность измерения:

$$\delta = \left(\frac{\pm \Delta}{x} \right) \cdot 100\%. \quad (13)$$

Результаты занести в таблицу 15 и 16.

3 Записать действующее значение измеряемых параметров в виде:

$$x \pm \Delta. \quad (14)$$

Результаты занести в таблицу 15 и 16.

4 Определить полную мощность приемника электрической энергии по формуле:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (15)$$

Результаты занести в таблицу 15 и 16.

5 Определить расчетным путем $\cos \varphi$ для приемника электрической энергии по формуле:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}. \quad (16)$$

Результаты занести в таблицу 15 и 16.

6 Определить фазовый сдвиг между напряжением и током φ .

7 Сравнить $\cos \varphi$, полученный косвенным путем и прямым, сделать вывод.

8 Сравнить качественные характеристики различных электроизмерительных цифровых клещей, сделать вывод.

1.4 Контрольные вопросы

1 Как классифицируются цифровые измерительные приборы? В чем их особенность?

2 Какие основные характеристики цифровых приборов следует учитывать при их выборе?

3 Какие бывают погрешности при измерении?

4 Как оценить и исключить систематические погрешности измерений?

5 В чем преимущество и недостатки цифровых измерительных клещей?

6 Какие требования безопасности предъявляются к электроизмерительным приборам?

6 Как обеспечить безопасность при работе с электроизмерительными клещами МІС–2090W и АРРА-А?

7 Как измерить активную и реактивную мощность в цепи переменного тока?

8 Как измерить $\cos \varphi$ в цепях переменного тока?

9 Что такое фазовый сдвиг?

10 Какими методами можно измерить активную и реактивную мощность в цепях переменного тока?

11 Чем вызваны броски тока в измеряемых цепях в начальный момент времени?

12 Как определить мощность приемника в трехфазной трехпроводной сети при симметричной нагрузке?

1.4 Техника безопасности при выполнении лабораторной работы №1

К лабораторной работе допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электроизмерительными приборами.

1 Для обеспечения пожарной безопасности при выполнении лабораторных работ необходимо выполнять требования инструкций филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате по пожарной безопасности.

2 Перед проведением лабораторных работ руководитель лабораторных работ должен произвести визуальный осмотр лабораторного комплекса и убедиться в отсутствии повреждений электрооборудования, кабельных проводок и заземления.

3 Не включать стенд лабораторной работы без разрешения преподавателя или лаборанта.

4 Все соединения необходимо производить при помощи стандартных вилок и зажимов.

5 Сборку схемы производить при отключенном от сети стенде.

6 Перед включением схемы убедиться в том, что проводники хорошо заземлены, а их токоведущие части достаточно удалены друг от друга.

7 При любых отклонениях от нормальной работы схемы немедленно выключить электрическое питание и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

8 Не оставлять собранную схему без надзора.

9 Не применять проводники с поврежденной изоляцией, не скручивать короткие проводники для получения длинных концов.

10 Не касаться оголенных участков схемы.

11 Не исправлять самостоятельно повреждения в цепи электрического питания, розетках и выключателях.

12 По окончании работы необходимо отключить питание электрических приборов, привести в порядок рабочее место.

1.5 Библиографический список

- 1 Панев Б.И. Электрические измерения. – М.: Агропромиздат, 2000. – 224 с.
- 2 Малиновский В.Н., Евланов Ю.Н., Демидова–Панфелова Р.М. Электрические измерения – М.: Энергоатомиздат, 2002.– 416 с.
- 3 Инструкция по эксплуатации прибора МІС–2090W
- 4 Инструкция по эксплуатации прибора АРРА–А

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ В СЕТЯХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы: получение навыков измерения частоты в сетях переменного тока.

Описание лабораторной установки: лабораторная установка содержит электронный частотомер ЧЗ-32, осциллограф со встроенным генератором и соединительные провода.

2.1 Теоретическая часть к выполнению лабораторной работы №2

Частотой колебаний называют число полных колебаний в единицу времени:

$$f = n/t, \quad (1)$$

где t – время существования n колебаний.

Для гармонических колебаний частота:

$$f = 1/T, \quad (2)$$

где T – период колебаний.

Единица частоты герц определяется как одно колебание в одну секунду. Частота и время неразрывно связаны между собой, поэтому измерение той или другой величины диктуется удобством эксперимента и требуемой погрешностью измерения. В Международной системе единиц СИ время является одной из семи основных физических величин. Частота электромагнитных колебаний связана с периодом колебания T и длиной однородной плоской волны в свободном пространстве λ следующими соотношениями:

$$fT = 1, \quad (3)$$

$$f\lambda = c, \quad (4)$$

где c – скорость света, равная $299\,792,5 \pm 0,3$ км/с.

Спектр частот электромагнитных колебаний, используемых в радиотехнике, простирается от долей герца до тысяч гигагерц. Этот спектр вначале разделяют на два диапазона — низких и высоких частот. К низким частотам относят инфразвуковые (ниже 20 Гц), звуковые (20—20 000 Гц) и ультразвуковые (20—200 кГц). Высокочастотный диапазон, в свою очередь, разделяют на высокие частоты (20 кГц — 30 МГц), ультравысокие (30 — 300 МГц) и сверхвысокие (выше 300 МГц). Верхняя граница сверхвысоких частот

непрерывно повышается и в настоящее время достигла 80 ГГц (без учета оптического диапазона). Такое разделение объясняется разными способами получения электрических колебаний и различием их физических свойств, а также особенностями распространения на расстояние. Однако четкой границы между отдельными участками спектра провести невозможно, поэтому такое деление в большой степени условно.

2.2 Приборное обеспечение

Частотомер электронносчетный ЧЗ-32 предназначен для:

- измерения частоты электрических колебаний;
- измерения периода электрических колебаний;
- измерения отношения двух частот;
- измерения интервалов времени;
- измерения длительности импульсов.

Электронносчетный частотомер измеряет частоту:

- синусоидального сигнала в диапазоне частот от 10 Гц до 3,5 МГц при входном напряжении от 0,1 до 100 В_{эфф};
- импульсного сигнала любой полярности в диапазоне частот от 10 Гц до 3,5 МГц, имеющего не более 2-х экстремальных значений за период, при крутизне фронта не менее 0,25 В/мс, длительности импульса не менее 0,16 мкс, при скважности не менее 2, в диапазоне амплитуд от 0,3 до 100 В.

Электронный осциллограф со встроенным генератором частоты в диапазоне от 1 Гц до 1 МГц.

2.3 Порядок выполнения лабораторной работы №2

1 Подключаем осциллограф и частотомер к сети 220 В.

2 Настройка осциллографа:

- соединяем выходы «**GENERATOR OUTPUT**» с выходом «**CH1X**»;
- переключатель «**MODE**» устанавливаем в положение «**AUTO**», переключатель «**SOURCE**» в положение «**CH1**»;
- рукоятку «**AMPLITUDE**» установить в крайнее левое положение;
- кнопка «**FUNC**» устанавливает вид сигнала.

3 Настройка частотомера:

- провод присоединенный к осциллографу, присоединить к гнезду «**ВХОД А**».
- установить переключатель входного сигнала в соответствующее положение (переменный ток \square);
- установить переключатель «**РОД РАБОТЫ**» в положение «**f_A**»;
- тумблер «**ВНЕС. - АВТ.**» - в положение «**АВТ.**»;

- установить переключатель «**МЕТКИ ВРЕМЕНИ – ВРЕМЯ СЧЕТА S**» в положение необходимого времени счета (рекомендуется установить положение -1);

- установить с помощью регулировки необходимое время индикации.

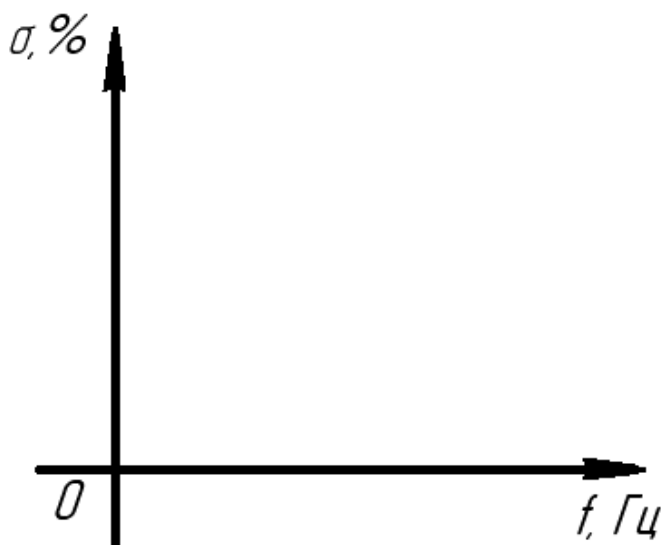
4 С помощью кнопки «**RANGE**» устанавливаем частотные промежутки, а рукояткой «**FREQUENCY**» изменяем величину частоты в выбранных промежутках.

Далее на всех диапазонах генератора сделать по два измерения на частотах, указанных преподавателем, результаты измерений занести в таблицу и посчитать погрешности.

Таблица 1 – Значения частот и погрешностей

f, Гц						
δ , %						

По полученным данным построить график зависимости погрешности от частоты



2.4 Метрологическое обеспечение

При проведении любых измерений имеется в виду достижение двух целей:

- получение значения физической величины, то есть результата измерения;
- определение степени достоверности результата измерения.

Основными характеристиками результата измерений являются точность и достоверность. Точность измерений определяет их качество и уменьшается с увеличением погрешностей. Достоверность измерений характеризует степень

доверия к полученным результатам. Под погрешностью понимают отклонение результата измерения от истинного значения входной величины. Различают абсолютную, относительную, приведенную погрешности.

Под абсолютной погрешностью измерения понимают погрешность, выраженную в единицах входной величины. Разность между показаниями прибора A_x и истинным значением измеряемой величины A называют абсолютной погрешностью измерительного прибора ΔA

$$\Delta A = A_x - A. \quad (5)$$

Однако по значению абсолютной погрешности трудно судить о точности измерения. Поэтому вводится понятие относительной погрешности δ , то есть отношение абсолютной погрешности прибора к истинному значению измеряемой величины

$$\delta = (\Delta A / A) \cdot 100\%. \quad (6)$$

Для указания и нормирования погрешности средства измерения используется приведенная погрешность γ , то есть отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению прибора A_n , (может быть равно верхнему пределу измерения, диапазону измерения, длине шкалы)

$$\gamma = (\Delta A / A_n) \cdot 100\%. \quad (7)$$

Различают две составляющие погрешности измерения: инструментальную – зависящую от погрешностей применяемых средств измерений; методическую – связанную с несовершенством метода измерения.

Погрешности измерения делят на систематические и случайные. Кроме них, различают грубые погрешности, то есть существенно превышающие ожидаемые при данных условиях. Грубые погрешности обычно не учитываются.

Под систематическими понимают погрешности, которые при повторных измерениях величины остаются неизменными или изменяются по определенному закону. Систематическую погрешность можно определить и влияние ее на результат измерения устранить введением поправки.

Под случайными погрешностями понимают такие погрешности, изменение которых не подчиняется какой либо закономерности. Они происходят от влияния на результат измерения причин случайного характера. Для исключения случайной погрешности измерения проводят неоднократно, причем, чем больше измерений, тем меньше значение погрешности. Обычно стремятся к тому, чтобы погрешность измерений не превышала заданных границ с необходимой достоверностью.

Для обработки результатов прямых измерений дают оценку истинному значению измеряемой величины и определяют степень достоверности этой оценки. При обработке результатов прямых измерений используется следующая методика:

а) если выполнено N измерений одной и той же величины A , (причем $N > 2$), и получено N результатов a_1, a_2, \dots, a_n , то в качестве оценки истинного значения измеряемой величины берется среднеарифметическое результатов измерений

$$A_{cp} = \sum_{i=1}^N a_n / N, \quad (8)$$

где a_n – результат одного измерения;

N – количество измерений.

б) точность полученной оценки истинного значения измеряемой величины (результата измерения) характеризуется оценкой дисперсии D и среднеквадратичного отклонения σ , которые определяются по формулам

$$D = \frac{\sum_{n=1}^N (\hat{A}_{\text{пд}} - a_n)^2}{N(N-1)}, \quad (9)$$

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (10)$$

в) значение σ позволяет найти значение доверительного интервала ΔA_{cl} при заданной доверительной вероятности P_d (для практических работ обычно принимают $P_d = 0,95$), используя распределение Стьюдента. Значение ΔA_{cl} определяется как

$$\Delta A_{cl} = \sigma \cdot t(P_d, N), \quad (11)$$

где $t(P_d, N)$ – коэффициент Стьюдента, определяется по таблице 1 приложения Б, в зависимости от заданной доверительной вероятности и количества измерений.

г) определяется значение систематической погрешности (приборная погрешность) $\Delta A_{\text{сист}}$ по формуле

$$\Delta A_{\text{сист}} = \frac{X}{100} \cdot A_n, \quad (12)$$

где X – класс точности измерительного прибора;

A_n – предел измерения прибора (нормирующее значение).

Для цифрового измерителя освещенности типа ААТ – 1507 систематическая погрешность составляет $\pm 5 \%$ для любого диапазона измерения.

д) определяется абсолютная погрешность результата измерения (полуширина доверительного интервала) по формуле

$$\Delta A = \sqrt{\Delta A_{\text{сл}}^2 + \Delta A_{\text{сист}}^2}. \quad (13)$$

е) определяется относительная погрешность измерения, позволяющая оценить величину погрешности по отношению к самой измеряемой величине

$$\delta = \Delta A / A_{\text{ср}}. \quad (14)$$

ж) окончательно истинное значение измеряемой величины записываем в виде

$$A = A_{\text{ср}} \pm \Delta A. \quad (15)$$

2.5 Оформление отчёта

Отчёт по лабораторной работе необходимо оформлять в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам». Отчёт должен содержать:

а) титульный лист установленной формы для отчётов по лабораторным работам в соответствии с требованиями СКФ;

б) отчет, в котором должны быть указаны цель и программа работы, приведены описание лабораторной установки (в случае необходимости привести одну из схем лабораторной установки), основные теоретические положения по теме и содержанию лабораторной работы (в кратком изложении), порядок выполнения работы, расчётные формулы, таблицы с экспериментальными и расчётными данными, графики и выводы по лабораторной работе.

При защите лабораторной работы необходимо ответить на все вопросы, которые касаются устройства и принципа действия лабораторной установки, теоретических основ, содержания и выполнения лабораторной работы, обработки и анализа экспериментальных данных, а также ответить на контрольные вопросы, которые приведены в методических указаниях.

2.6 Техника безопасности при выполнении лабораторной работы №2

К лабораторной работе допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электроизмерительными приборами.

1 Для обеспечения пожарной безопасности при выполнении лабораторных работ необходимо выполнять требования инструкций филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате по пожарной безопасности.

2 Перед проведением лабораторных работ руководитель лабораторных работ должен произвести визуальный осмотр лабораторного комплекса и убедиться в отсутствии повреждений электрооборудования, кабельных проводок и заземления.

3 Не включать стенд лабораторной работы без разрешения преподавателя или лаборанта.

4 Все соединения необходимо производить при помощи стандартных вилок и зажимов.

5 Сборку схемы производить при отключенном от сети стенде.

6 Перед включением схемы убедиться в том, что проводники хорошо заземлены, а их токоведущие части достаточно удалены друг от друга.

7 При любых отклонениях от нормальной работы схемы немедленно выключить электрическое питание и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

8 Не оставлять собранную схему без надзора.

9 Не применять проводники с поврежденной изоляцией, не скручивать короткие проводники для получения длинных концов.

10 Не касаться оголенных участков схемы.

11 Не исправлять самостоятельно повреждения в цепи электрического питания, розетках и выключателях.

12 По окончании работы необходимо отключить питание электрических приборов, привести в порядок рабочее место.

2.7 Контрольные вопросы

1 Рассказать порядок выполнения работы

2 Что такое частота?

3 Описать диапазоны частот?

4 Вывести единицу измерения частоты?

5 Какие диапазоны частот бывают?

6 Назначение частотомера?

7 Как вычисляется частота для гармонических колебаний?

8 Можно ли по показаниям осциллографа вычислить частоту?

9 Какие погрешности учитываются при измерениях?

2.8 Библиографический список

1 Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учебник для вузов/ В. И. Нефёдов, В. И. Хахин, Е. В. Фёдорова и др.; под ред. В. И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2001.

2 Панев Б.И. Электрические измерения: справочник. – М.: Агропромиздат, 1987. – 187 с.

3 Безопасность жизнедеятельности / под общ. ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 2004. – 606 с.

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Цель работы: научиться осуществлять измерение параметров гармонических составляющих электрических сигналов и производить их анализ.

Приборы: анализатор качества электрической энергии МТ 1010; Осциллограф универсальный GOS-620FG с функциональным генератором.

3.1 Теоретическая часть к выполнению лабораторной работы №3

3.1.1 Термины и определения

Коэффициент нелинейных искажений (КНИ) – величина для количественной оценки нелинейных искажений, равная отношению среднеквадратичной суммы спектральных компонентов выходного сигнала, отсутствующих в спектре входного сигнала, к среднеквадратичной сумме спектральных компонентов входного сигнала, иногда используется не стандартизованный синоним — клирфактор (заимств. с нем.). КНИ — безразмерная величина, выражается обычно в процентах. Кроме КНИ уровень нелинейных искажений можно выразить с помощью коэффициента гармоник.

Коэффициент гармоник – величина, измеряющаяся в гармонах, выражающая степень нелинейных искажений устройства, равная отношению среднеквадратичного напряжения суммы высших гармоник сигнала к напряжению первой гармоники при воздействии на вход устройства синусоидального сигнала. Коэффициент гармоник так же как и КНИ выражается в процентах. Коэффициент гармоник (K_G) связан с КНИ (K_H) соотношением

$$K_G = \frac{K_H}{\sqrt{1 - K_H^2}}.$$

Анализ КЭ – выявление причин несоответствия показателей КЭ установленным требованиям.

Входной контроль КЭ (для энергоснабжающей организации) – контроль показателей КЭ в точке поставки электрической энергии (ЭЭ) от вышестоящей энергоснабжающей организации.

Допустимый вклад – значения показателей КЭ, установленные в договоре энергоснабжения или в технических условиях на присоединение, и определяющие допустимое влияние искажающих электроприемников потребителя на КЭ в точке общего присоединения или в точке коммерческого контроля.

Искажающий электроприемник – приемник электрической энергии с нелинейной электрической характеристикой или с несимметричным или колебательным режимом работы, подключение которого к сети приводит или может привести к несинусоидальности, колебаниям напряжения или несимметрии трехфазной системы напряжений в электрической сети.

Контроль КЭ – проверка соответствия показателей КЭ установленным требованиям.

Корректирующее мероприятие – мероприятие, предпринятое для устранения причин существующего несоответствия и предотвращения их повторного возникновения.

Несоответствие – отличие одного или нескольких показателей КЭ от установленных в нормативных документах требований.

Периодический контроль КЭ – контроль, осуществляемый в целях управления КЭ, при котором поступление информации о контролируемых показателях и их оценка происходит периодически с интервалами, определяемыми организацией, осуществляющей контроль КЭ, но в пределах, установленных ГОСТ 32144-2013.

Потенциальное несоответствие – несоответствие показателей КЭ установленным требованиям, возникновение которого возможно через некоторый промежуток времени или при определенных условиях.

Предупреждающее мероприятие – мероприятие, предпринятое для устранения возможных причин потенциального несоответствия и предотвращения его возникновения.

Пункт контроля КЭ – пункт электрической сети, в котором проводят измерение показателей КЭ, при контроле качества ЭЭ (в качестве пункта контроля КЭ может быть использована точка общего присоединения, граница раздела балансовой принадлежности, выводы приемников электрической энергии, а также другие точки электрической сети, в том числе выбранные по согласованию между энергоснабжающей организацией и потребителем).

Разрешенная мощность (потребителя) – наибольшая полная мощность электроустановок потребителя, разрешенная для присоединения к сети энергоснабжающей организации (разрешенная мощность устанавливается в технических условиях на присоединение, выдаваемых потребителю).

Распределительная электрическая сеть – электрическая сеть, присоединенная к центру питания, обеспечивающая распределение между потребителями или передачу ЭЭ организациям, заключающим договора энергоснабжения с потребителями.

Технологический контроль КЭ – контроль КЭ с длительностью и (или) погрешностью измерений, которые могут отличаться от требований ГОСТ 32144-2013.

Точка общего присоединения – электрически ближайшая к рассматриваемому потребителю ЭЭ точка электрической сети энергоснабжающей

организации, к которой присоединены или могут быть присоединены другие потребители ЭЭ.

Точка коммерческого контроля КЭ – точка общего присоединения, граница балансовой принадлежности, или другая точка электрической сети, принятая по согласованию между энергоснабжающей организацией и потребителем в качестве точки сети, в которой при наличии претензий какой-либо из сторон договора будет производиться проверка соблюдения договорных условий по КЭ и расчеты за их нарушение.

Установленные требования к КЭ – требования к КЭ, установленные в Законах, регламентах, нормативных документах, договорах энергоснабжения, технических условиях на присоединение, а также в иных документах.

Фактический вклад – измеренные в точке общего присоединения или в точке коммерческого контроля значения показателей КЭ, характеризующие фактическое влияние искажающих электроприемников рассматриваемого потребителя на КЭ в этой точке.

Центр питания – распределительное устройство генераторного напряжения электростанции или вторичного напряжения (6 кВ и выше) подстанции энергоснабжающей организации, к которому присоединены электрические сети данного района (региона) по месторасположению рассматриваемых потребителей (центр питания и присоединенные к нему электрические сети могут принадлежать разным энергоснабжающим организациям).

3.1.2 Параметры гармонических искажений

Уровень гармонических искажений характеризуется следующими параметрами:

1 **Спектр гармоник** – включает в себя действующие значения (RMS AC) напряжений и токов гармоник до 40-й или 63-й. Результаты измерений можно получить как в форме таблиц, так и соответствующих графиков;

2 **Коэффициент гармонических искажений по напряжению** – THD (V)% (Voltage Total Harmonic Distortion);

3 **Коэффициент гармонических искажений по току** – THD (I)% (Current Total Harmonic Distortion);

4 **Коэффициент гармонических искажений** с учетом максимально потребляемого тока за определенный период T – TDD % (Total Demand Distortion). В большинстве случаев можно принять, что максимально потребляемый ток I DEM за определенный период T - равен номинальному. При этом указанный период T может изменяться от 1 минуты до 60 минут;

5 **Коэффициент дополнительного нагревания трансформаторов** из-за гармонических искажений - (K - Factor).

3.1.3 Общие положения

Электрические сети в современный период все более подвергнуты так называемым гармоническим «загрязнениям», которые вызывают нежелательные последствия.

Характерным, на сегодняшний день, является значительное увеличение находящихся в эксплуатации электронных устройств: колоссальное количество персональных компьютеров, источников бесперебойного питания и другого электронного оборудования, в которых используются малогабаритные импульсные источники питания. Кроме того получили широкое распространение такие мощные электронные устройства, как электронные регуляторы скорости, зарядно-выпрямительные устройства и др.

Они представляют собой существенно нелинейную электрическую нагрузку и вызывают искажения синусоидальной формы кривых напряжения и тока, что приводит к возникновению гармонических «загрязнений» электрической сети.

По этой причине в настоящее время электрические сети практически всех производственных предприятий и офисных зданий в той или иной степени «загрязнены». В ряде случаев при использовании электронных устройств высокой мощности гармоники, возникающие на одном производственном предприятии, могут передаваться к другим предприятиям через общие сети электропитания и именно там причинять вред.

Гармонические «загрязнения» электросетей могут приводить к целому ряду повреждений электротехнического оборудования и к нанесению значительного ущерба технологическим процессам, главными из которых являются следующие:

- 1 Выход из строя конденсаторов, используемых для улучшения $\cos(\varphi)$ электросети, а также в электролюминесцентных светильниках;
- 2 Выход из строя в результате перегрева нулевых проводов из-за того, что в них суммируются токи всех третьих гармоник, при этом ток нулевого провода может более чем в два раза превысить номинальное значение фазного тока;
- 3 Перегрев мощных силовых трансформаторов;
- 4 Перегрев электродвигателей;
- 5 Искажения электромеханических характеристик электродвигателей;
- 6 Ложное срабатывание устройств токовой релейной защиты, перегрев предохранителей, ложное срабатывание защиты из-за наличия токов утечки;
- 7 Повреждение межобмоточной изоляции в трансформаторах и электродвигателях;
- 8 Перегрев питающих проводов и электрических кабелей;
- 9 Недостоверные показания измерительных приборов и некоторых датчиков обратной связи в системах автоматизации технологических процессов.

Анализ качества электрической энергии (КЭ) проводят при наличии претензий или замечаний от потребителей, а также в случае выявления существующих или потенциальных несоответствий по результатам [1]:

- входного контроля КЭ;
- периодического контроля КЭ;
- технологического контроля КЭ, проводимого энергоснабжающей организацией (ЭСО) в питающих и распределительных электрических сетях;
- испытаний электрической энергии (ЭЭ) органами государственного надзора;
- сертификационных испытаний ЭЭ и испытаний при инспекционном надзоре за сертифицированной ЭЭ.

Для анализа причин потенциальных несоответствий дополнительно могут быть использованы источники информации:

- проектная документация и технические условия на проектирование новых источников ЭЭ и на развитие электрических сетей;
- данные о предполагаемых потребителях ЭЭ новых сетевых объектов;
- выданные технические условия и заключенные договора энергоснабжения;
- расчеты режимов работы электрических сетей, в том числе с нагрузками искажающих потребителей для нормальных и ремонтных схем электроснабжения;
- результаты обследований выполнения правил технической эксплуатации;
- другие источники информации.

Анализ качества электрической энергии при нарушении требований к КЭ включает следующие операции:

- установление причин несоответствий;
- выявление объектов, режима работы электрооборудования, которых обусловили появление несоответствия в точке общего присоединения - электрически ближайшая к рассматриваемому потребителю ЭЭ точка электрической сети энергоснабжающей организации, к которой присоединены или могут быть присоединены другие потребители ЭЭ.

По результатам анализа принимают решения о корректирующих и (или) предупреждающих мероприятиях. После проведения соответствующих мероприятий должна быть оценена их результативность. Оценку выполняют на основе протоколов контроля КЭ, который должен быть проведен непосредственно после выполнения указанных мероприятий, а также, при необходимости, протоколов измерений с целью анализа КЭ. Для оценки результативности принятых мер в течение определенного периода времени, например, в течение года, следует использовать результаты планового периодического контроля КЭ или данные, получаемые от автоматизированной системы диспетчерского управления (АСДУ).

3.1.4 Показатели качества электрической энергии

Электроприборы и оборудование предназначены для работы в определённой электромагнитной среде. Электромагнитной средой принято считать систему электроснабжения и присоединённые к ней электрические аппараты и оборудование, связанные кондуктивно и создающие в той или иной мере помехи, отрицательно влияющие на работу друг друга. При возможности нормальной работы оборудования в существующей электромагнитной среде, говорят об электромагнитной совместимости технических средств [6].

Единые требования к электромагнитной среде закрепляют стандартами, что позволяет создавать оборудование и гарантировать его работоспособность в условиях соответствующих этим требованиям. Стандарты устанавливают допустимые уровни помех в электрической сети, которые характеризуют качество электроэнергии и называются показателями качества электроэнергии (ПКЭ) [6].

Показатели качества электрической энергии, методы их оценки и нормы определяет ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

3.1.5 Отклонение напряжения

Отклонение напряжения - отличие фактического напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения от его номинального значения. Отклонение напряжения в той или иной точке сети происходит под воздействием медленного изменения нагрузки в соответствии с её графиком.

Влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования.

Технологические установки:

- при снижении напряжения существенно ухудшается технологический процесс, увеличивается его длительность. Следовательно, увеличивается себестоимость производства;

- при повышении напряжения снижается срок службы оборудования, повышается вероятность аварий;

- при значительных отклонениях напряжения происходит срыв технологического процесса.

Освещение:

- снижается срок службы ламп освещения, так при величине напряжения $1,1U_{\text{НОМ}}$ срок службы ламп накаливания снижается в 4 раза;

- при величине напряжения $0,9U_{\text{НОМ}}$ снижается световой поток ламп накаливания на 40 % и люминесцентных ламп на 15 %; - при величине напряжения менее $0,9U_{\text{НОМ}}$ люминесцентные лампы мерцают, а при $0,8U_{\text{НОМ}}$ просто не загораются.

Электропривод:

- при снижении напряжения на зажимах асинхронного электродвигателя на 15% момент снижается на 25% - двигатель может не запуститься или остановиться;

- при снижении напряжения увеличивается потребляемый от сети ток, что влечёт разогрев обмоток и снижение срока службы двигателя. При длительной работе на напряжении $0,9U_{ном}$ срок службы двигателя снижается вдвое;

- при повышении напряжения на 1% увеличивается потребляемая двигателем реактивная мощность на 3...7%. Снижается эффективность работы привода и сети.

Обобщённый узел нагрузки электрических сетей (нагрузка в среднем) составляет:

- 10% специфической нагрузки (например, в Москве это метро - 11%);
- 30% освещение и прочее;
- 60% асинхронные электродвигатели.

ГОСТ 13109-97 устанавливает нормально и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах электроприёмников в пределах соответственно $\delta U_{унор} = \pm 5\%$ и $\delta U_{упред} = \pm 10\%$ номинального напряжения сети.

3.1.6 Колебания напряжения

Колебания напряжения - быстро изменяющиеся отклонения напряжения длительностью от полупериода до нескольких секунд. Колебания напряжения происходят под воздействием быстро изменяющейся нагрузки сети.

Источниками колебаний напряжения являются мощные электроприёмники с импульсным, резко-переменным характером потребления активной и реактивной мощности: дуговые и индукционные печи; электросварочные машины; электродвигатели при пуске.

Влияние колебаний напряжения на работу электрооборудования.

Отклонения напряжения, усугублённые резко-переменным характером, ещё более снижают эффективность работы и срок службы оборудования. Вызывают брак продукции. Способствуют отключению автоматических систем управления и повреждению оборудования. Так, например, колебания амплитуды и, в большей мере, фазы напряжения вызывают вибрации электродвигателя, приводимых механизмов и систем. В частности, это ведёт к снижению усталостной прочности трубопроводов и снижению срока их службы. А при размахах колебаний более 15% могут отключаться магнитные пускатели и реле.

Не менее опасна, вызываемая колебаниями напряжения, пульсация светового потока ламп освещения. Её восприятие человеком - фликер - утомляет, снижает производительность труда и, в конечном счёте, влияет на здоровье людей.

Доза фликера - мера восприятия человеком пульсаций светового потока.

Наиболее раздражающее действие фликера проявляется при частоте колебаний 8,8 Гц и размахах изменения напряжения $\delta U = 29\%$.

Причём, при одинаковых колебаниях напряжения отрицательное влияние ламп накаливания проявляется в значительно большей мере, чем газоразрядных ламп.

Поэтому в ГОСТ 32144-2013, размах изменения напряжения (δU_t) жёстче нормируется для помещений с лампами накаливания повышенной освещённости, а доза фликера (P_f) для помещений с лампами накаливания, работа в которых требует значительного зрительного напряжения.

В качестве вероятного виновника колебаний напряжения ГОСТ 32144-2013 указывает потребителя с переменной нагрузкой.

3.1.7 Несимметрия напряжения

Несимметрия напряжений - несимметрия трёхфазной системы напряжений.

Несимметрия напряжений происходит только в трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам. В качестве вероятного виновника несимметрии напряжений ГОСТ 32144-2013 указывает потребителя с несимметричной нагрузкой.

Источниками несимметрии напряжений являются: дуговые сталеплавильные печи, тяговые подстанции переменного тока, электросварочные машины, однофазные электротермические установки и другие однофазные, двухфазные и несимметричные трёхфазные потребители электроэнергии, в том числе бытовые.

Так суммарная нагрузка отдельных предприятий содержит 85...90% несимметричной нагрузки. А коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности (K_{0U}) одного девятиэтажного жилого дома может составлять 20%, что на шинах трансформаторной подстанции (точке общего присоединения) может превысить нормально допустимые 2%.

Влияние несимметрии напряжений на работу электрооборудования:

- возрастают потери электроэнергии в сетях от дополнительных потерь в нулевом проводе;

- однофазные, двухфазные потребители и разные фазы трёхфазных потребителей электроэнергии работают на различных не номинальных напряжениях, что вызывает те же последствия, как при отклонении напряжения;

- в электродвигателях, кроме отрицательного влияния не несимметричных напряжений, возникают магнитные поля, вращающиеся встречно вращению ротора.

Общее влияние несимметрии напряжений на электрические машины, включая трансформаторы, выливается в значительное снижение срока их службы. Например, при длительной работе с коэффициентом несимметрии по обратной последовательности $K_{2U} = 2...4\%$, срок службы электрической машины снижается

на 10...15%, а если она работает при номинальной нагрузке, срок службы снижается вдвое.

ГОСТ 32144-2013 устанавливает значения коэффициентов несимметрии напряжения по обратной (K_{2U}) и нулевой (K_{0U}) последовательностям, - нормально допустимое 2% и предельно допустимое %.

На рисунке 1 изображено векторное представление напряжений обратной и нулевой последовательности.

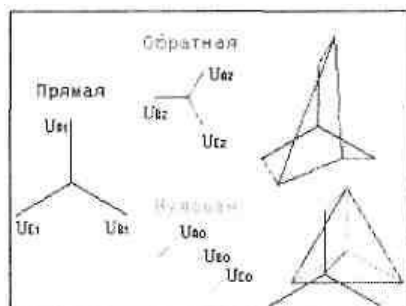


Рисунок 1 - Векторное представление напряжений обратной и нулевой последовательности

В качестве вероятного виновника несимметрии напряжений ГОСТ 32144-2013 указывает потребителя с несимметричной нагрузкой.

3.1.8 Несинусоидальность напряжения

Несинусоидальность напряжения - искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Электроприёмники с нелинейной вольт-амперной характеристикой потребляют ток, форма кривой которого отличается от синусоидальной. А протекание такого тока по элементам электрической сети создаёт на них падение напряжения, отличное от синусоидального, это и является причиной искажения синусоидальной формы кривой напряжения. Например, полупроводниковые преобразователи потребляют ток трапециевидной формы, образно говоря - выхватывают из синусоиды кусочки прямоугольной формы.

Источниками несинусоидальности напряжения являются: статические преобразователи, дуговые сталеплавильные и индукционные печи, трансформаторы, синхронные двигатели, сварочные установки, газоразрядные осветительные и бытовые приборы и так далее. Строго говоря, все потребители, кроме ламп накаливания имеют нелинейную вольтамперную характеристику.

На рисунке 2 изображена несинусоидальная кривая напряжения.

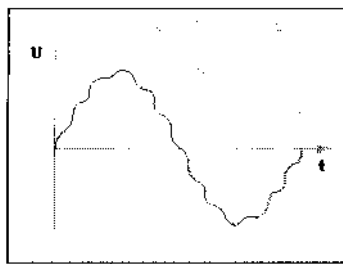


Рисунок 2 - Несинусоидальная кривая напряжения

Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования:

- фронты несинусоидального напряжения воздействуют на изоляцию кабельных линий электропередач, - учащаются однофазные короткие замыкания на землю. Аналогично кабелю, пробиваются конденсаторы;

- в электрических машинах, включая трансформаторы, возрастают суммарные потери. Так, при коэффициенте искажения синусоидальной формы кривой напряжения $K_U = 10\%$ суммарные потери в сетях предприятий, крупных промышленных центров, сетях электрифицированного железнодорожного транспорта могут достигать 10...15%;

- возрастает недоучёт электроэнергии, вследствие тормозящего воздействия на индукционные счётчики гармоник обратной последовательности;

- неправильно срабатывают устройства управления и защиты;

- выходят из строя компьютеры.

Функцию, описывающую несинусоидальную кривую напряжения, можно разложить в ряд Фурье синусоидальных (гармонических) составляющих, с частотой в n -раз превышающих частоту сети электроснабжения - частоту первой гармоники ($f_{n=1} = 50\text{Гц}$, $f_{n=2} = 100\text{Гц}$, $f_{n=3} = 150\text{Гц}$...).

В связи с различными особенностями генерации, распространения по сетям и влияния на работу оборудования, различают чётные и нечётные гармонические составляющие, а также составляющие прямой последовательности (1, 4, 7 и т.д.), обратной последовательности (2, 5, 8 и т.д.) и нулевой последовательности (гармоники кратные трём).

С повышением частоты (номера гармонической составляющей) амплитуда гармоники снижается. ГОСТ 32144-2013 требует оценивать весь ряд гармонических составляющих от 2-й до 40-й включительно.

3.1.9 Прочие показатели

Отклонение частоты. Отклонение фактической частоты переменного напряжения (f_{ϕ}) от номинального значения ($f_{\text{НОМ}}$) в установившемся режиме работы системы электроснабжения. Снижение частоты происходит при дефиците мощности работающих в системе электростанций.

Для устранения этих явлений, необходимо ремонтировать или модернизировать существующие и строить новые электростанции. А пока их нет,

активно применяется радикальная мера - автоматическая частотная разгрузка (АЧР), то есть отключение части потребителей при снижении частоты (гильотина, - как средство от головной боли). Это ещё называют веерными отключениями.

Для потребителя важно знать, в какую очередь отключат его оборудование от сети при таком развитии событий (указывается при заключении договора электроснабжения), аргументированно требовать изменения очередности или иметь собственные резервные генерирующие мощности.

Повышение частоты происходит при резком сбросе нагрузки в системе электроснабжения, - ситуация аварийная и действие ГОСТ 32144-2013 на неё не распространяется, а в установившемся режиме работы сети такое событие весьма редкое.

Следующие явления возникают в любой сети и зачастую являются случайными событиями. ГОСТ 32144-2013 не нормирует эти явления, но их статистика по конкретной сети может помочь потребителю принимать решения по обеспечению бесперебойности электроснабжения собственного оборудования тем или иным способом.

Провалы напряжения. Внезапное и значительное снижение напряжения (менее 90% $U_{НОМ}$) длительностью от нескольких периодов до нескольких десятков секунд с последующим восстановлением напряжения.

Причинами провалов напряжения является срабатывание средств защиты и автоматики при отключении грозовых перенапряжений, токов короткого замыкания (КЗ), а также при ложных срабатываниях защит или в результате ошибочных действий оперативного персонала.

ГОСТ 32144-2013 не нормирует провал напряжения, он ограничивает его продолжительность 30-ю секундами. Правда, эти явления, длительностью больше 30 секунд, практически не случаются - напряжение не восстанавливается.

Временное перенапряжение. Внезапное и значительное повышение напряжения (более 110% $U_{НОМ}$) длительностью более 10 миллисекунд.

Временные перенапряжения возникают при коммутациях оборудования (коммутационные, кратковременные) и при коротких замыканиях на землю (длительные).

Коммутационные перенапряжения возникают при разгрузке протяжённых линий электропередач высокого напряжения.

Длительные перенапряжения возникают в сетях с компенсированной нейтралью и четырёхпроводных сетях при обрыве нейтрального провода, и в сетях с изолированной нейтралью при однофазном КЗ на землю (в сетях 6-10-35 кВ в таком режиме допускается длительная работа).

В этих случаях, напряжение неповреждённых фаз относительно земли (фазное напряжение) может вырасти до величины между фазного (линейного) напряжения.

Импульсное перенапряжение. Резкое повышение напряжения длительностью менее 10 миллисекунд. Импульсные перенапряжения возникают при грозовых явлениях и при коммутациях оборудования (трансформаторы,

двигатели, конденсаторы, кабели), в том числе при отключении токов КЗ. Величина импульса перенапряжения зависит от многих условий, но всегда значительна и может достигать многих сотен тысяч вольт.

ГОСТ 32144-2013 приводит справочные значения импульсного перенапряжения при коммутациях для разных типов сетей.

3.1.10 Контроль качества электрической энергии

Контроль качества электрической энергии подразумевает оценку соответствия показателей установленным нормам, а дальнейший анализ качества электроэнергии - определение стороны виновной в ухудшении этих показателей [6].

Определение показателей качества электрической энергии задача нетривиальная. Это от того, что большинство процессов, протекающих в электрических сетях - быстротекущие, все нормируемые показатели качества электрической энергии не могут быть измерены напрямую - их необходимо рассчитывать, а окончательное заключение можно дать только по статистически обработанным результатам. Поэтому, для определения показателей качества электрической энергии, необходимо выполнить большой объём измерений с высокой скоростью и одновременной математической и статистической обработкой измеренных значений.

Наибольший поток измерений необходим для определения несинусоидальности напряжения. Для определения всех гармоник до 40-й включительно и в пределах допустимых погрешностей, требуется выполнять измерения мгновенных значений трёх междуфазных напряжений 256 раз за период ($3 \cdot 256 \cdot 50 = 38\,400$ в секунду). А для определения виновной стороны, одновременно измеряются мгновенные значения фазных токов и фазовый сдвиг между напряжением и током, только в этом случае возможно определить, с какой стороны и какой величины внесена та или иная помеха.

Первичная обработка измеренных напряжений и токов состоит из определения их гармонического состава, - по всем измеренным значениям выполняется быстрое преобразование Фурье. Далее производится усреднение полученных значений на установленных интервалах времени. ГОСТ 32144-2013 потребовал вычислять среднеквадратичные значения, что привело к необходимости использования двухпроцессорных схем при построении приборов.

Наиболее сложная математика задействуется при оценке колебаний напряжения. ГОСТ 32144-2013 нормирует эти явления для огибающей меандровой (прямоугольной) формы, а в сети колебания напряжения имеют случайный характер. Поэтому, приходится определять форму огибающей, по указанным в ГОСТе коэффициентам приведения пересчитывать кривую и только после этого определять показатели. При этом размах изменения напряжения и

доза фликера считаются по-разному, в большинстве случаев требуется отдельный, специальный прибор - фликерметр.

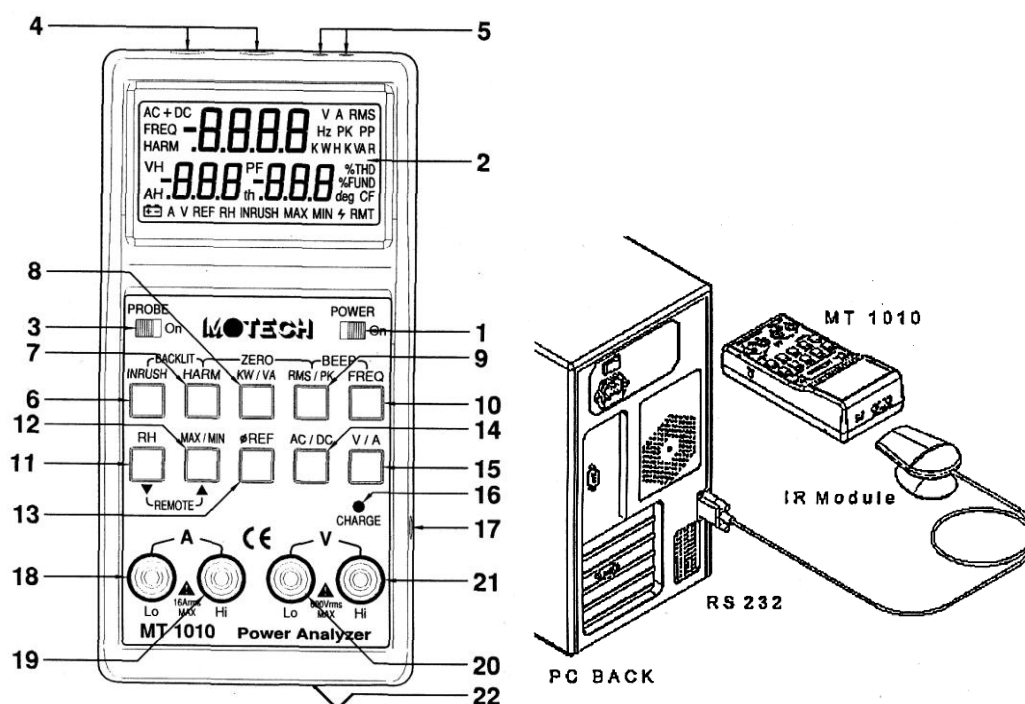
Контролировать качество электрической энергии следует с применением сертифицированных приборов, обеспечивающих измерение и расчёт всех необходимых параметров, для определения и анализа качества электрической энергии.

Местом контроля качества электрической энергии являются точки общего присоединения потребителей (ТОП) к сетям общего назначения. В них выполняют измерения энергоснабжающие организации. Потребители проводят измерения в собственных сетях в местах ближайших к этим точкам.

ГОСТом установлена периодичность контроля качества электроэнергии - один раз в два года для всех ПКЭ, и два раза в год для отклонения напряжения.

Существуют задачи непрерывного мониторинга качества электроэнергии, требующие включения приборов качества в АСКУЭ. Между тем есть приборы, одновременно выполняющие функции счетчика электроэнергии, прибора контроля качества и биллинговой системы, рассчитывающей сумму, подлежащую к оплате с учётом скидок и надбавок за качество.

3.1.11 Анализатор качества электрической энергии МТ 1010



1	Выключатель	11-15	Функциональные кнопки
2	Дисплей	16	Индикатор низкой зарядки
3	Переключатель фиксатора	17	Вход DC адаптера
4	Вход для фиксатора	18-21	Входы напряжения и тока

5	Инфракрасный интерфейс	22	Батарейный отсек
6	Режим бросков	комбинации:	
7	Режим гармоник		
8	Режим мощности	6+7	Подсветка
9	Режим действ. значения	7+9	Калибровка на ноль
10	Режим частоты	9+10	Вкл/выкл. звукового сигнала

Рисунок 3 - Внешний вид и назначение кнопок прибора МТ1010 [3]

Анализатор качества энергоснабжения МТ1010 предназначен для измерения мощности, тока, напряжения, частоты, энергии, фазового сдвига, гармонических искажений. Используя эти данные, МТ1010 автоматически вычисляет мощность и другие характеристики, необходимые для анализа гармонического искажения. Эти возможности позволяют проверять качество электрической энергии до и после электрических устройств, подключенных к линии [7].

Особенности анализатора качества энергоснабжения МТ1010:

- анализ до 40-й гармоники (4 кГц);
- измерение сигналов произвольной формы (True RMS);
- измерение переменного сигнала со смещением (AC + DC);
- измерение коэффициент мощности с учетом типа нагрузки;
- регистрация бросков тока;
- измерение пиковых значений тока и напряжения;
- измерение коэффициента амплитуды;
- измерение коэффициента гармоник;
- регистрация мин/макс значений;
- ИК порт по стандарту RS-232 (Рисунок 3);
- универсальное питание;
- адаптер нагрузки для включения прибора между потребителем электроэнергии и сетью.

МТ1010 обеспечивает измерение:

- основной частоты напряжения и тока;
- действующего (среднеквадратичного (RMS)) значения, пиковых значений (+PK и -PK), разницу между пиковыми значениями (P-P) и коэффициент амплитуды (CF) напряжения и тока;
- потребляемую энергию (KW-Hr), полную (VA), активную (W) и реактивную (VAR) мощности, коэффициент мощности (PF) и угла сдвига в линии;
- коэффициент гармоник (%THD), отношение действующего значения выбранной (1-40) гармоники к действующему значению основной гармоники (%FUND) и сдвиг фаз (deg) между основной и выбранной гармониками;
- бросков (Inrush) напряжения и тока.

MT1010 может быть использован для измерения действующего значения (RMS), пиковых значений (PK) постоянного (DC), переменного (AC) и смешанного (AC+DC) напряжения или тока нажатием кнопок **RMS/PK**, **V/A** и **AC/DC**.

Кнопка **MAX/MIN** используется для задержки максимального и минимального значения величины. Когда выбран данный режим, значения RMS/PK показываются на первичном дисплее, а на вторичном дисплее показывается значение коэффициента амплитуды (CF).

Кнопка **FREQ** используется для измерения частоты. Когда выбран данный режим, MT1010 измеряет частоту напряжения или тока, выбираемых кнопкой **V/A**. Для измерения максимального и минимального значения нестабильной частоты используется кнопка **MAX/MIN**.

При нажатии **HARM** включается режим измерения гармоник. В данном режиме MT1010 измеряет отношение действующего значения выбранной гармоники к действующему значению основной гармоники - коэффициент несинусоидальности (%FUND), сдвиг фаз (deg) между основной и выбранной гармониками, коэффициент гармоник (%THD) и действующее значение выбранной гармоники. Когда выбрано измерение %THD, первичный дисплей показывает действующее значение основной гармоники (RMS), а %THD показан на вторичном дисплее. Когда выбрано измерение %FUND или deg, действующее значение n-й гармоники (RMS) показано на первичном дисплее, а %FUND или deg показан на вторичном дисплее.

3.1.12 Осциллограф универсальный GOS-620FG с функциональным генератором

GOS-620FG это двухканальный осциллограф со встроенным многофункциональным генератором. Полоса пропускания осциллографа 20 МГц, максимальная чувствительность 1 мВ/дел, минимальный коэффициент развертки 0,2 мкс/дел. Возможно установление времени развертки 100 нс/дел при растяжке в 10 раз. Осциллограф имеет 6-дюймовую прямоугольную электронно-лучевую трубку с красной внутренней шкалой. Осциллограф прост в управлении и имеет высокую эксплуатационную надежность.

3.1.13 Назначение органов управления

На рисунке 4 представлен Внешний вид осциллографа GOS-620FG С с функциональным генератором.

Цепи ЭЛТ:

- (6) POWER. Выключатель сетевого питания;
- (2) Яркость;
- (3) Регулировка фокуса изображения;

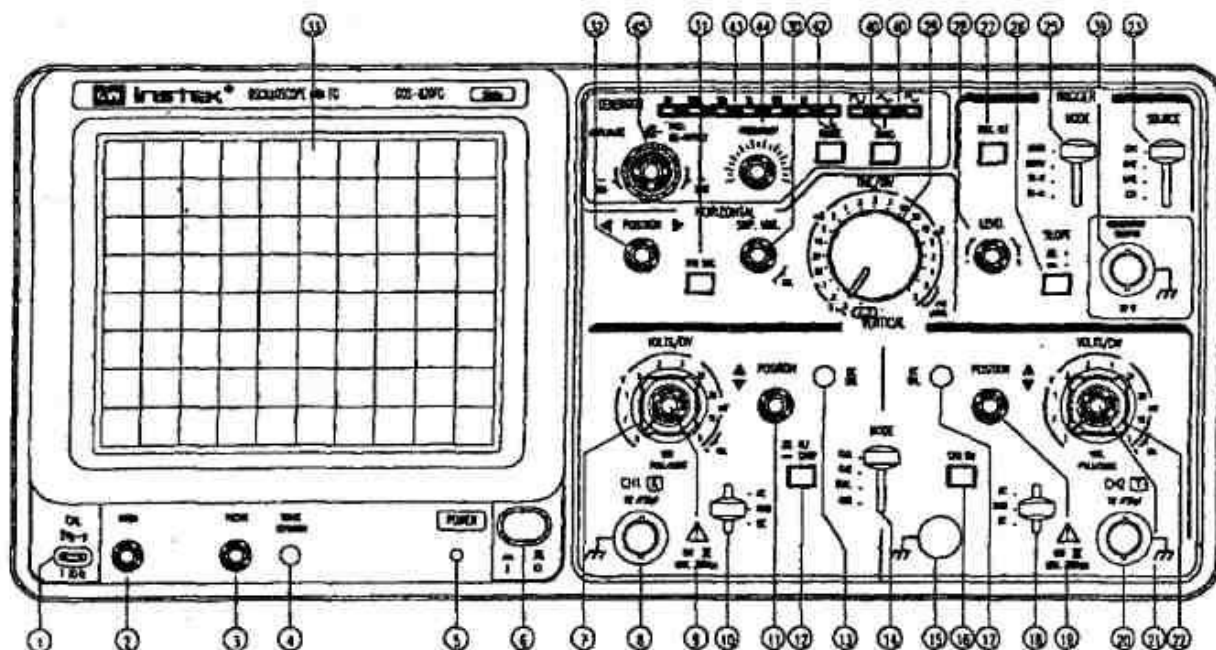


Рисунок 4 – Внешний вид осциллографа GOS-620FG с функциональным генератором

- (4) Поворот изображения.
- Органы управления тракта вертикального отклонения:
- (8) Вход канала 1;
- (20) Вход канала 2;
- (10)(18) Переключатель режима входов усилителя;
- (7)(22) VOLTS/DIV Устанавливают коэффициенты отклонения каналов от 5 мВ/дел до 5 В/дел в 10 диапазонах;
- (14) Переключатель режима работы усилителя в положениях.
- Органы управления разверткой:
- (29) Устанавливает коэффициент развертки;
- (32) POSITION Устанавливает коэффициент развертки;
- Функциональный генератор:
- (39) GENERATOR OUTPUT Выход генератор;
- (40) WAVEFORM SELECTOR Форма сигнала может быть изменена нажатием на кнопку, в последовательности синус-треугольник-прямоугольник-синус;
- (41) Индикатор формы сигнала;
- (42) OUTPUT WAVEFORM DISPLAY Установка диапазона частоты выходного сигнала. При нажатии на кнопку выбирается диапазон сигнала;
- (43) Индикатор диапазона;
- (44) Плавная перестройка частоты;

(15) GND Гнездо подключения заземления.

3.1.14 Использование функционального генератора

Пользование функциональным генератором простое и не требует специальных навыков. С помощью органов управления можно изменить частоту, амплитуду, форму сигнала или добавить постоянную составляющую к выходному сигналу.

3.1.15 Метрологическое обеспечение измерений

В соответствии с РД 153-34.0-15.502-2002 [1]:

1 Выполнение измерений производят в соответствии с инструкцией по эксплуатации используемого СИ;

2 Климатические условия окружающей среды должны контролироваться средствами измерений с классом точности не хуже 2,0;

3 Продолжительность измерений с целью анализа - не менее 7 дней. По согласованию между сторонами (потребителями и ЭСО) допускается уменьшение общей продолжительности измерений, но не менее, чем до 1 суток;

4 Перед завершением измерений проверяют выполнение требований по суммарному перерыву в измерениях. В случае невыполнения требований измерения повторяют.

Таблица 1- Измеряемые величины, пределы и погрешности измерений [1]

Наименование измеряемой величины X	Номинальное значение $X_{ном}$	Пределы измерений		Предел допускаемой погрешности	
		$X_{мин}$	$X_{макс}$	Абсолютной ΔX	Относительной $\delta X, \%$
1 Напряжение $U_{(1)}$ (действующее значение основной частоты), В	57.735	46,19	69,28	$\pm 0,12$	
	220	176,0	264,0	$\pm 0,44$	
2 Коэффициент $K_{U(n)}$ n -ой гармонической составляющей	-	0,1	15	$\pm 0,05^{1)}$	$\pm 5^{2)}$
3 Коэффициент $K_{I(n)}$ n -ой гармонической составляющей тока, %	-	0,1	50	$\pm 0,15^{3)}$	$\pm 5^{4)}$
4 Фазовый угол $*\Phi_{UI(n)}$ между напряжением и током n-ой гармонической составляющей	0°	-180°	180°	$\pm 3^\circ$	-

1) - при $KU(n) < 1 \%$; 2) - при $KU(n) \geq 1 \%$; 3) - при $KI(n) < 3 \%$; 4) - при $KI(n) \geq 3 \%$.

Погрешности приборов:

1 Осциллографа GOS-620FG составляет $\pm 2 \%$ от выдаваемого сигнала генератора;

2 Прибора МТ-1010 составляет: для напряжения $\pm (0,2... 1 \% + 2 \text{ ед. мл. разряда})$, для частоты $\pm (0,1\% + 2 \text{ ед. мл. разряда})$.

3.2 Порядок выполнения работы лабораторной работы №3

3.2.1 Подключение лабораторного стенда

Для измерения параметров гармонических составляющих электрических сигналов производится сборка схемы, и подключение приборов к сети 220 В. Перед подключением осциллографа производится его заземление, затем кнопкой 6 (рисунок 4) выполняется включение осциллографа. Прибор определения качества электроэнергии МТ-1010 подключается в сеть 220 В, через блок питания 220/6 В. Затем кнопкой 1 (рисунок 4) производится включение питания прибора. К выходу генератора и входов индикатора формы сигнала, подключается провод с наконечником в виде крокодила и заземлением. К входам напряжения 21 и 20 (рисунок 3) прибора МТ-1010 подсоединяются измерительные провода красного и черного цвета в зависимости от цвета входного гнезда прибора с наконечниками в виде крокодилов. Далее производится соединения проводов выхода генератора осциллографа, входов индикатора формы сигнала и входа прибора МТ-1010 в зависимости от расцветки и назначения (рисунок 5). Установка готова к работе.

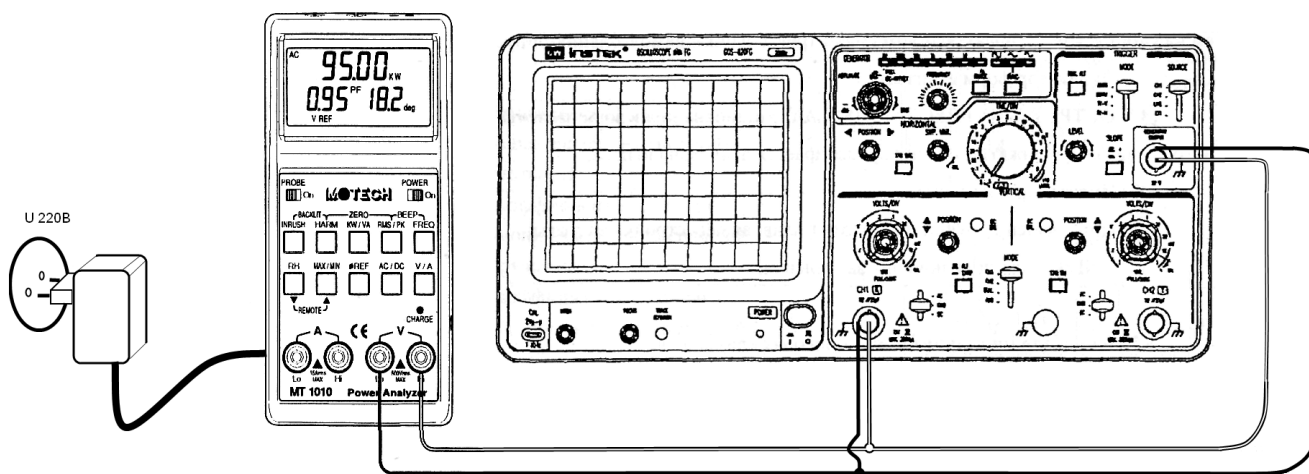


Рисунок 5 – Схема подключения прибора МТ-1010 к осциллографу.

3.2.2 Порядок проведения измерений

1 Для проведения измерений при помощи ручки 44 (рисунок 4) осциллографа производится установка необходимой частоты (50 Гц), которая фиксируется прибором МТ-1010.

2 Производится установка необходимого напряжения (5 В) для измерения параметров гармонических составляющих.

3 Произвести настройку индикатора формы сигнала, установив переключатель 14 в положение СН1, переключатель 10 в положение АС, рукояткой 9 установить подходящую амплитуду, рукояткой 29 установить подходящую частоту (рисунок 4).

4 При помощи переключателя 40 производится задача измеряемого сигнала.

5 При помощи прибора МТ-1010 производится измерение параметров 3, 5 и 7 гармоник заданного сигнала.

6 Результаты измерений заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

№ измерения	Тип сигнала	U, В	f, Гц	№ гармоники	Измеряемые параметры		
					%	Ku	U, В
1	синус			3			
				5			
				7			
2	треугольник			-//-			
	прямоугольник			-//-			
	синус			-//-			
3	треугольник			-//-			
	прямоугольник			-//-			
	синус			-//-			
4	Параметры сети			3			
				5			
				7			
5	Параметры сети			-//-			
6	Параметры сети			-//-			

7 Подключить адаптер нагрузки к прибору МТ1010, подключить к адаптеру шнур питания и включить выключатель на адаптере.

8 При помощи прибора МТ-1010 производится измерение параметров 3, 5 и 7 гармоник сети.

9 Результаты измерений заносятся в таблицу 2.

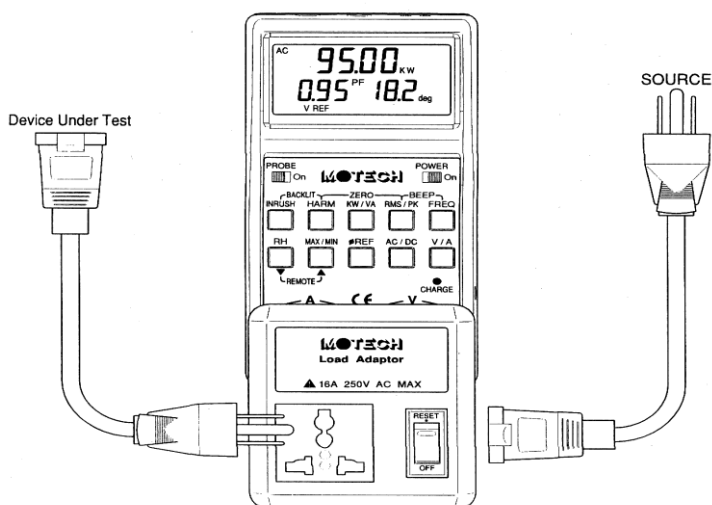


Рисунок 6 – Прибор МТ1010 с подключённым адаптером.

ПРИМЕЧАНИЕ: Измерения проводятся по 3 раза для каждого вида сигнала. При этом необходимо выдерживать:

- одно и то же напряжение;
- одну и ту же частоту (50 Гц);
- переключатель 3 (рисунок 3) должен быть выключен.

Для переключения измерения напряжения и тока после измерения частоты необходимо нажать кнопку **RMS/PK**. Для включения режима измерения гармоник нажимать кнопку **HARM**, до тех пор, пока не включится режим измерения гармонических составляющих. Переключение между гармониками осуществляется кнопками **MAX/MIN** и **RH**.

3.3 Обработка результатов измерений

Произвести расчеты относительной и абсолютной погрешности согласно пункту 5 для полученных результатов измерений гармонических составляющих электрических сигналов.

Абсолютные и относительные отклонений измеряемых напряжений определяются по формулам

$$\Delta U = |U_{\text{ном}} - U_{\text{факт}}|; \quad (1)$$

$$\delta U = \frac{|U_{\text{ном}} - U_{\text{факт}}|}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (2)$$

где $U_{\text{ном}}$, $U_{\text{факт}}$ – номинальное и фактическое напряжение, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

Абсолютные и относительные отклонения частоты измеряемых напряжений определяются по формулам

$$\Delta f = |f_{\text{ном}} - f_{\text{факт}}| ; \quad (3)$$

$$\delta f = \frac{|f_{\text{ном}} - f_{\text{факт}}|}{f_{\text{ном}}} \cdot 100\% , \quad (4)$$

где $f_{\text{ном}}$, $f_{\text{факт}}$ – номинальная и фактическая частота фазного напряжения, $f_{\text{ном}} = 50 \text{ Гц}$.

Фактические значения напряжения и частоты при измерения с помощью анализатора качества МТ 1010 взять как среднее значение измерений.

Сделать выводы по полученным параметрам гармонических составляющих электрических сигналов. Сделать выводы о качестве электроэнергии.

3.4 Контрольные вопросы

- 1 Дайте два определения на выбор преподавателя на термины из п.1.1.
- 2 В каких случаях проводят анализ качества электрической энергии?
- 3 Отклонение напряжения? Влияние отклонения напряжения на работу электрооборудования? Нормально и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения?
- 4 Колебания напряжения? Влияние колебания напряжения на работу электрооборудования? Доза фликера?
- 5 Несимметрия напряжения? Источники? Влияние несимметрии напряжений па работу электрооборудования?
- 6 Дайте определение несинусоидальности питающего напряжения? Источники? Влияние несинусоидальности напряжения на работу электрооборудования?
- 7 Дайте определение отклонения частоты?
- 8 Провалы напряжения? Временное, импульсное перенапряжения?
- 9 Что подразумевается под контролем качества электрической энергии?
- 10 Какова периодичность контроля установленная ГОСТ?
- 11 Назначение прибора МТ1010?
- 12 Дайте определение допустимого и фактического вклада.
- 13 Как определяется фактических вклад источника искажения и сторона виновная в ухудшении качества электрической энергии?

3.5 Техника безопасности

К лабораторной работе допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электроизмерительными приборами.

1 Для обеспечения пожарной безопасности при выполнении лабораторных работ необходимо выполнять требования инструкций филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Салавате по пожарной безопасности.

2 Перед проведением лабораторных работ руководитель лабораторных работ должен произвести визуальный осмотр лабораторного комплекса и убедиться в отсутствии повреждений электрооборудования, кабельных проводок и заземления.

3 Не включать стенд лабораторной работы без разрешения преподавателя или лаборанта.

4 Все соединения необходимо производить при помощи стандартных вилок и зажимов.

5 Сборку схемы производить при отключенном от сети стенде.

6 Перед включением схемы убедиться в том, что проводники хорошо заземлены, а их токоведущие части достаточно удалены друг от друга.

7 При любых отклонениях от нормальной работы схемы немедленно выключить электрическое питание и сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

8 Не оставлять собранную схему без надзора.

9 Не применять проводники с поврежденной изоляцией, не скручивать короткие проводники для получения длинных концов.

10 Не касаться оголенных участков схемы.

11 Не исправлять самостоятельно повреждения в цепи электрического питания, розетках и выключателях.

12 По окончании работы необходимо отключить питание электрических приборов, привести в порядок рабочее место.

3.6 Библиографический список

1 РД 153-34.0-15.502-2002. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии.

2 ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

3 ГОСТ Р 8.563-2009 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений.

4 РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения

5 Электронный сайт «Энергосбережение» www.e-audit.ru.

6 МТ 1010 Power Analyzer. Руководство пользователя.