

Приложение 1  
к приказу АО «СО ЕЭС»  
от \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_



**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«СИСТЕМНЫЙ ОПЕРАТОР ЕДИНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ»**

---

**СТО 59012820.29.020.011-2016**  
*регистрационный номер (обозначение)*

---

*дата введения*

**СТАНДАРТ  
РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА.  
УСТРОЙСТВА СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ  
ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ.  
НОРМЫ И ТРЕБОВАНИЯ**

Издание официальное

**Москва  
2016**

## **Предисловие**

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 29.06.2015 № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», а правила применения стандарта организации – ГОСТ Р 1.4-2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения».

## **Сведения о Стандарте**

1. РАЗРАБОТАН: акционерным обществом «Системный оператор Единой энергетической системы».
2. ВНЕСЕН: акционерным обществом «Системный оператор Единой энергетической системы».
3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ: приказом акционерного общества «Системный оператор Единой энергетической системы» от \_\_.\_\_.2016 № \_\_.
4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.

Стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен без разрешения акционерного общества «Системный оператор Единой энергетической системы».

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Область применения.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Нормативные ссылки.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Термины и определения.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Обозначения и сокращения.....</b>	<b>6</b>
<b>5. Требования к УСВИ.....</b>	<b>7</b>
5.1. Общие требования.....	7
5.2. Требования к функциональности УСВИ .....	7
5.3. Требования к темпу передачи СВИ.....	7
5.4. Требования к составу синхронизированных векторных измерений .....	8
5.5. Требования к метрологическому обеспечению УСВИ .....	8
5.6. Требования к синхронизации измерений УСВИ .....	9
<b>6. Подтверждение соответствия УСВИ требованиям Стандарта.....</b>	<b>9</b>
Приложение А. Основные понятия о синхронизированном векторе.....	12
Приложение Б. Требования к погрешностям измерений УСВИ.....	14
Приложение В. Минимальный перечень документов и информации по УСВИ, подлежащих представлению заявителем на рассмотрение органу по добровольной сертификации .....	16
Приложение Г. Методика сертификационных испытаний УСВИ.....	17

## **1. Область применения**

### **1.1. Стандарт устанавливает:**

- требования к функциональности устройств синхронизированных векторных измерений (далее – УСВИ);
- требования к составу измеряемых параметров УСВИ;
- требования к метрологическому обеспечению УСВИ;
- требования к синхронизации измерений УСВИ;
- порядок и методику сертификационных испытаний УСВИ, а также минимальный перечень документов и информации по УСВИ, подлежащих представлению заявителем на рассмотрение органу по добровольной сертификации.

1.2. Стандарт предназначен для АО «СО ЕЭС», собственников и иных законных владельцев объектов электроэнергетики, организаций, осуществляющих деятельность по разработке, изготовлению, наладке, эксплуатации УСВИ, а также проектных и научно-исследовательских организаций.

1.3. Требования Стандарта должны учитываться при строительстве, реконструкции, модернизации и техническом перевооружении объектов электроэнергетики, создании и модернизации комплексов и устройств релейной защиты и автоматики.

1.4. Требования Стандарта не распространяются (за исключением случаев, указанных в абзаце четвертом настоящего пункта) на УСВИ, если такие устройства:

- установлены на объектах электроэнергетики до вступления в силу Стандарта;
- подлежат установке на объектах электроэнергетики в соответствии с проектной (рабочей) документацией на создание (модернизацию) комплексов или устройств релейной защиты и автоматики, согласованной АО «СО ЕЭС» до вступления в силу Стандарта.

Для указанных УСВИ выполнение требований Стандарта должно быть обеспечено при замене (модернизации) УСВИ.

1.5. Стандарт не регламентирует требования к методам измерения (расчета) векторных параметров и скалярных величин УСВИ, а также информационному обмену синхронизированными векторными измерениями между УСВИ и концентраторами синхронизированных векторных данных.

Стандарт также не устанавливает требования к электромагнитной совместимости, условиям эксплуатации, сервисному обслуживанию, объему заводских проверок, пожаробезопасности, электробезопасности, информационной безопасности, а также оперативному и техническому обслуживанию УСВИ.

## 2. Нормативные ссылки

В Стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.567-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения времени и частоты. Термины и определения»;

ГОСТ Р 8.596-2002 «Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения»;

ГОСТ Р 55105-2012 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования»;

ГОСТ Р 55537-2013 «Глобальная навигационная спутниковая система. Системы навигационно-информационные. Классификация»;

ГОСТ 30804.4.7-2013 «Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств».

## 3. Термины и определения

В Стандарте применены термины по ГОСТ 8.567-2014, ГОСТ Р 8.596-2002, ГОСТ Р 55105-2012, ГОСТ Р 55537-2013, ГОСТ 30804.4.7-2013, а также следующие термины с соответствующими определениями:

**синхронизированный вектор** – действующее значение и фазовый угол основной гармоники фазного тока или напряжения, измеряемые в однозначно определенные моменты времени;

**устройство синхронизированных векторных измерений** – техническое средство, функцией (одной либо одной из нескольких) которого является выполнение с нормированной точностью измерений синхронизированных векторов и других электрических параметров в однозначно определенные с помощью глобальных навигационных спутниковых систем моменты времени и передача результатов измерений в концентраторы синхронизированных векторных данных;

**данные синхронизированных векторных измерений (данные СВИ)** – совокупность измеренных УСВИ векторных и скалярных электрических параметров с метками времени;

**кадр данных синхронизированных векторных измерений** – набор данных синхронизированных векторных измерений, соответствующий одной метке времени;

**концентратор синхронизированных векторных данных** – техническое средство, основными функциями которого являются прием, обработка и передача данных синхронизированных векторных измерений;

**класс устройств синхронизированных векторных измерений** – градация УСВИ по соответствию их технических характеристик установленным требованиям для задач мониторинга (М) и задач автоматического управления (Р) электроэнергетическим режимом;

**программно-технический комплекс системы мониторинга переходных режимов (ПТК СМПР)** – совокупность установленных на объекте электроэнергетики технических средств, предназначенных для измерения, обработки и передачи данных синхронизированных векторных измерений;

**время отклика УСВИ** – интервал времени между измерениями электрических параметров УСВИ до и после их скачкообразного изменения, погрешность измерения которых в установившемся режиме не превышает установленной величины;

**время реакции УСВИ** – интервал времени между моментом скачкообразного изменения измеряемых электрических параметров на входе УСВИ и моментом времени, когда их значение на выходе УСВИ достигает величины, равной половине данного изменения;

**перерегулирование УСВИ** – максимальное отклонение измеряемых УСВИ электрических параметров после их скачкообразного изменения от нового установившегося значения.

#### 4. Обозначения и сокращения

АСУ ТП	– автоматизированная система управления технологическими процессами;
КСВД	– концентратор синхронизированных векторных данных;
ПАК РВ	– программно-аппаратный комплекс моделирования энергосистем в режиме реального времени;
ПТК	– программно-технический комплекс;
СВИ	– синхронизированные векторные измерения;
СМПР	– система мониторинга переходных режимов;
СОТИАССО	– система обмена технологической информацией объекта электроэнергетики с автоматизированной системой Системного оператора;
СДС «СО ЕЭС»	– Система добровольной сертификации ОАО «СО ЕЭС», созданная АО «СО ЕЭС» и зарегистрированная в едином реестре систем добровольной сертификации 21.03.2013 под № РОСС RU.31034.04ЕЭ01;

частота	– частота напряжения переменного тока;
УСВИ	– устройство синхронизированных векторных измерений;
UTC	– всемирное координированное время.

## **5. Требования к УСВИ**

### **5.1. Общие требования**

5.1.1. Назначением УСВИ является выполнение с нормированной точностью измерений синхронизированных векторов фазных токов и напряжений, частоты, скорости изменения частоты и передача измеренных параметров в КСВД. Основные понятия о синхронизированном векторе приведены в приложении А к Стандарту.

5.1.2. УСВИ может являться измерительным элементом нижнего уровня ПТК СМЭП объекта электроэнергетики или автономным устройством.

5.1.3. УСВИ подразделяются на следующие классы:

- УСВИ класса М;
- УСВИ класса Р.

В зависимости от класса УСВИ должно соответствовать требованиям к реализованным в нем алгоритмам, настройке и погрешностям измерений, установленным в приложении Б к Стандарту.

5.1.4. Класс каждого УСВИ определяется заводом – изготовителем данного устройства. Допускается реализация в одном устройстве алгоритмов, раздельное функционирование которых позволяет одному УСВИ одновременно удовлетворять требованиям двух классов.

### **5.2. Требования к функциональности УСВИ**

5.2.1. В УСВИ должны быть реализованы следующие функции:

- выполнение СВИ с нормированными погрешностями измерений в статических и динамических условиях;
- синхронизация с глобальными навигационными системами;
- формирование на каждом установленном интервале времени кадра данных СВИ;
- передача данных СВИ по одному из протоколов, установленных стандартами [1], [2], [3], [4], с настраиваемым темпом передачи;
- включение в каждый кадр данных СВИ метки времени UTC;
- передача данных СВИ двум или более получателям;
- регистрация и передача дискретных сигналов;
- самодиагностика функционирования.

### **5.3. Требования к темпу передачи СВИ**

5.3.1. В каждом УСВИ должна быть реализована передача кадров данных СВИ с темпом передачи 1, 10, 25, 50 кадров данных СВИ в секунду.

5.3.2. Метка времени первого кадра данных СВИ в секунде должна соответствовать моменту смены секунды UTC.

5.3.3. Интервалы между метками времени кадров данных СВИ должны быть равными и определяться темпом передачи.

5.3.4. В технической документации на УСВИ должны быть указаны все значения темпа передачи данных СВИ, которые поддерживает УСВИ.

#### **5.4. Требования к составу синхронизированных векторных измерений**

5.4.1. УСВИ должно выполнять измерение следующих параметров:

- синхронизированные векторы фазных напряжений, где модулем является действующее значение основной гармоники фазного напряжения ( $U_a$ ,  $U_b$ ,  $U_c$ ), а фазовым углом соответствующий абсолютный угол напряжения ( $\delta_{Ua}$ ,  $\delta_{Ub}$ ,  $\delta_{Uc}$ );
- синхронизированные векторы фазных токов, где модулем является действующее значение основной гармоники силы фазного тока ( $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$ ), а фазовым углом соответствующий абсолютный угол тока ( $\delta_{Ia}$ ,  $\delta_{Ib}$ ,  $\delta_{Ic}$ );
- частота пофазно и прямой последовательности ( $f_a$ ,  $f_b$ ,  $f_c$ ,  $f_{U1}$ );
- скорость изменения частоты ( $df_a/dt$ ,  $df_b/dt$ ,  $df_c/dt$ ).

5.4.2. При необходимости измерения параметров системы возбуждения генераторов в УСВИ или в отдельном выносном модуле, подключаемом к УСВИ или поддерживающем передачу данных СВИ по протоколу, установленному стандартом [1], должно быть реализовано выполнение на интервале времени, равном периоду промышленной частоты, следующих измерений:

- напряжение возбуждения (напряжения ротора) генератора ( $U_f$ );
- ток возбуждения (тока ротора) генератора ( $I_f$ );
- напряжение возбуждения возбудителя ( $U_{ff}$ );
- ток возбуждения возбудителя ( $I_{ff}$ ).

#### **5.5. Требования к метрологическому обеспечению УСВИ**

5.5.1. УСВИ должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации и иметь действующее свидетельство о поверке.

5.5.2. Метрологическое обеспечение УСВИ должно соответствовать требованиям [5] и ГОСТ Р 8.596-2002.

5.5.3. Требования к погрешностям УСВИ в части выполнения СВИ указаны в приложении Б к Стандарту.



5.5.4. Соответствие погрешностей УСВИ требованиям приложения Б к Стандарту должно быть определено независимо для всех значений темпа передачи данных СВИ.

5.5.5. При передаче результатов измерений УСВИ в качестве телеизмерений в АСУ ТП объектов электроэнергетики и СОТИАССО точность измерений УСВИ должна соответствовать требованиям, предъявляемым соответствующими системами.

## **5.6. Требования к синхронизации измерений УСВИ**

5.6.1. Для синхронизации УСВИ должны использоваться приемники сигналов глобальных навигационных систем с точностью синхронизации не хуже 1 мкс.

5.6.2. Сигналы синхронизации должны соответствовать шкале UTC.

5.6.3. В кадры данных СВИ должна включаться информация о качестве синхронизации результатов измерений в соответствии с требованиями [1].

## **6. Подтверждение соответствия УСВИ требованиям Стандарта**

6.1. Подтверждение соответствия УСВИ требованиям Стандарта в части выполнения требований к составу измерений СВИ и нормированной точности (с соблюдением установленных Стандартом требований к погрешностям измерений) осуществляется путем добровольной сертификации в СДС «СО ЕЭС».

Подтверждение соответствия УСВИ требованиям Стандарта может осуществляться путем добровольной сертификации в иных системах добровольной сертификации, зарегистрированных в установленном порядке в едином реестре систем добровольной сертификации, при условии соблюдения требований, предусмотренных настоящим разделом Стандарта.

6.2. Объектом сертификации является УСВИ определенного класса (М или Р).

Сертификация проводится в отношении типовых (серийных) экземпляров устройств.

Действие сертификата соответствия распространяется на тип (марку) УСВИ и класс УСВИ.

6.3. Сертификация УСВИ осуществляется в соответствии с правилами функционирования соответствующей системы добровольной сертификации с обязательным соблюдением требований, установленных настоящим разделом Стандарта.

6.4. Сертификация УСВИ может осуществляться на соответствие требованиям, предъявляемым к устройствам одного из классов (М или Р) или двух классов одновременно.

При реализации в одном устройстве алгоритмов, отдельное функционирование которых позволяет УСВИ одновременно удовлетворять требованиям двух классов, должны быть проведены независимые испытания УСВИ для каждого класса. В этом случае органом по добровольной сертификации должны выдаваться отдельные сертификаты соответствия для каждого класса УСВИ.

6.5. Применяемая схема сертификации УСВИ в обязательном порядке должна включать выполнение мероприятий по анализу документов и информации, представленных заявителем, и проведению сертификационных испытаний УСВИ (согласно схеме 3, предусмотренной Правилами функционирования СДС «СО ЕЭС»).

6.6. Анализ документов и информации, представленных заявителем, проводится органом по добровольной сертификации перед проведением сертификационных испытаний с целью предварительной оценки технических характеристик УСВИ.

Минимальный перечень документов и информации, подлежащих представлению заявителем на рассмотрение органу по добровольной сертификации, приведен в приложении В к Стандарту.

Орган по добровольной сертификации вправе дополнительно затребовать от заявителя иные документы и информацию в объеме, необходимом для проведения сертификации и оценки соответствия УСВИ требованиям Стандарта.

6.7. Сертификационные испытания проводятся в соответствии с Методикой проведения сертификационных испытаний УСВИ (далее – Методика), приведенной в приложении Г к Стандарту.

6.8. Сертификационные испытания проводятся с использованием ПАК РВ в объеме тестов для указанного заявителем класса УСВИ.

6.9. Сертификационные испытания должны проводиться по программе, разработанной органом по добровольной сертификации в соответствии с Методикой и согласованной с АО «СО ЕЭС».

6.10. Сертификационные испытания проводятся на производственно-технической базе испытательной лаборатории органа по добровольной сертификации. Сертификационные испытания УСВИ должны проводиться в присутствии представителя заявителя или уполномоченного им лица. При проведении сертификационных испытаний могут присутствовать представители АО «СО ЕЭС».

6.11. Сертификационные испытания проводятся в следующем порядке:

6.11.1. Заявитель передает органу по добровольной сертификации для проведения испытаний УСВИ и согласовывает с органом по добровольной сертификации схему его подключения к тестовой схеме ПАК РВ.

6.11.2. Органом по добровольной сертификации производится сборка тестовой схемы для проведения испытаний, подключение сертифицируемых УСВИ к ПАК РВ и проводятся испытания УСВИ в соответствии с программой сертификационных испытаний с регистрацией результатов всех тестов.

6.11.3. Результаты сертификационных испытаний оформляются органом по добровольной сертификации в виде протокола сертификационных испытаний. Протокол сертификационных испытаний подписывается всеми участниками испытаний.

6.11.4. Протокол сертификационных испытаний должен соответствовать требованиям, указанным в Правилах функционирования СДС «СО ЕЭС».

Дополнительно в протоколе сертификационных испытаний должны быть приведены:

- описание испытуемого УСВИ (тип, класс, коммуникационные интерфейсы, технические характеристики, реализация функции измерения параметров системы возбуждения генераторов);
- тип используемого при синхронизации УСВИ приемника сигналов глобальных навигационных систем;
- описание тестовой схемы, на которой проводились испытания;
- программа сертификационных испытаний УСВИ;
- описание ПАК РВ (тип, модель и заводской номер);
- результаты проведенных испытаний, содержащие материалы, иллюстрирующие работу сертифицируемых УСВИ в каждом из проведенных тестов;
- оценка соответствия погрешностей УСВИ требованиям Стандарта в каждом из приведенных опытов.

6.12. Срок оформления протокола сертификационных испытаний не должен превышать 10 (десяти) рабочих дней с даты проведения сертификационных испытаний. Копия протокола сертификационных испытаний должна быть направлена органом по добровольной сертификации в АО «СО ЕЭС» не позднее пяти рабочих дней с даты его оформления.

6.13. Сертификат соответствия требованиям Стандарта выдается заявителю только при положительных результатах сертификационных испытаний. В сертификате обязательно указываются тип (марка) и класс УСВИ.

6.14. Срок действия сертификата соответствия УСВИ требованиям Стандарта установлен бессрочным.

## Приложение А (справочное)

### Основные понятия о синхронизированном векторе

Сигнал основной гармоники фазного тока (напряжения)

$$\mathbf{X}(t) = X_m(t) \cos\left(\int \omega(t) dt + \delta_0\right) \quad (1)$$

может быть представлен на комплексной плоскости в виде синхронизированного вектора

$$\mathbf{X}(t) = \left(X_m(t)/\sqrt{2}\right) \exp(j \delta(t)) = \left(\frac{X_m(t)}{\sqrt{2}}\right) (\cos \delta(t) + j \sin \delta(t)), \quad (2)$$

где  $X_m(t)/\sqrt{2}$  – модуль синхронизированного вектора, равный действующему значению рассматриваемого сигнала;

$\delta(t) = \int \omega(t) dt + \delta_0$  – фазовый угол (абсолютный угол) синхронизированного вектора, равный углу между основной гармоникой фазного тока (напряжения) и условной косинусоидой промышленной частоты, фаза которой равна нулю при смене секунд UTC (рисунок А.1). Область определения фазового угла принимается  $[-\pi, +\pi]$  радиан;

$\omega(t)$  – круговая частота синхронизированного вектора.

Примечание:

1)  $\delta = 0$  рад – в момент, когда максимальное значение сигнала приходится на смену секунды UTC;

2)  $\delta = -\frac{\pi}{2}$  рад – в момент, когда переход сигнала из отрицательной области оси ординат в положительную приходится на смену секунды UTC.

Определим функцию разности фактической и номинальной частоты  $g(t) = f(t) - f_{\text{ном}}$ .

Тогда сигнал основной гармоники фазного тока (напряжения) выражается следующим образом:

$$\mathbf{x}(t) = X_m(t) \cos\left(2\pi \int f(t) dt + \delta_0\right) \quad (3)$$

$$\mathbf{x}(t) = X_m(t) \cos\left(2\pi f_{\text{ном}} t + \left(2\pi \int g(t) dt + \delta_0\right)\right) \quad (4)$$

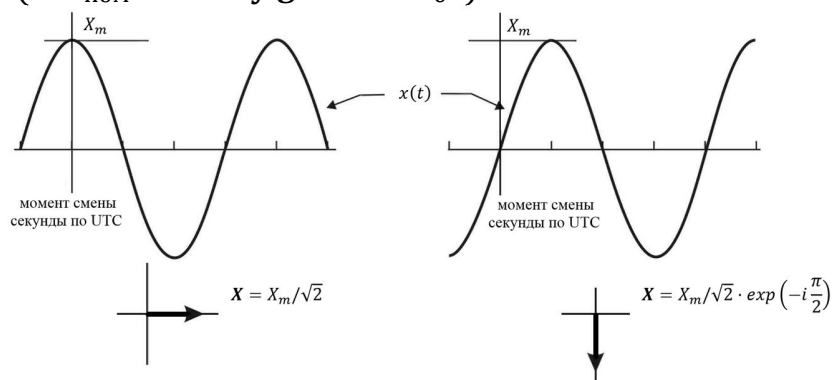
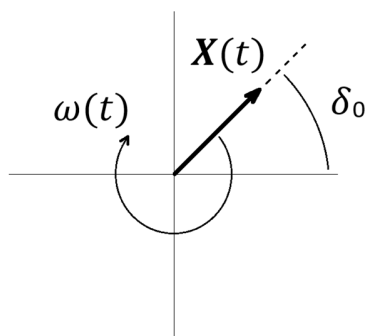


Рисунок А.1. Представление синхронизированного вектора

Представление сигнала в виде синхронизированного вектора (рисунок А.2)

$$\mathbf{X}(t) = (X_m(t)/\sqrt{2}) \exp(j (2\pi \int g(t)dt + \delta_0)) \quad (5)$$



$$a) \quad |\mathbf{X}(t)| = (X_m(t)/\sqrt{2})$$

$$\omega(t) = 2\pi \int f(t)dt - 2\pi f_{\text{НОМ}} t$$

$$б) \quad \text{при } X_m(t) = X_m = \text{const}, g(t) = \Delta f = \text{const}$$

$$|\mathbf{X}(t)| = (X_m/\sqrt{2})$$

$$\omega = 2\pi\Delta f$$

Рисунок А.2. Вращение синхронизированного вектора при частоте, отличной от номинальной

Примечание:

для случая  $X_m(t) = X_m = \text{const}, g(t) = \Delta f = \text{const}$  синхронизированный вектор принимает вид:

$$\mathbf{X}(t) = (X_m/\sqrt{2}) \exp(j (2\pi\Delta f t + \delta_0)) \quad (6)$$

Измерения сигнала производятся для моментов времени  $\{0, T_0, 2T_0, 3T_0, \dots, nT_0, \dots\}$ , где  $T_0 = 1/f_{\text{НОМ}}$ . Соответствующие им векторные представления  $\{X_0, X_1, X_2, X_3, \dots, X_n, \dots\}$  изменяют свой фазовый угол в диапазоне  $[-\pi, +\pi]$  равномерно с шагом  $2\pi\Delta f T_0$  (рисунки А.3, А.4).

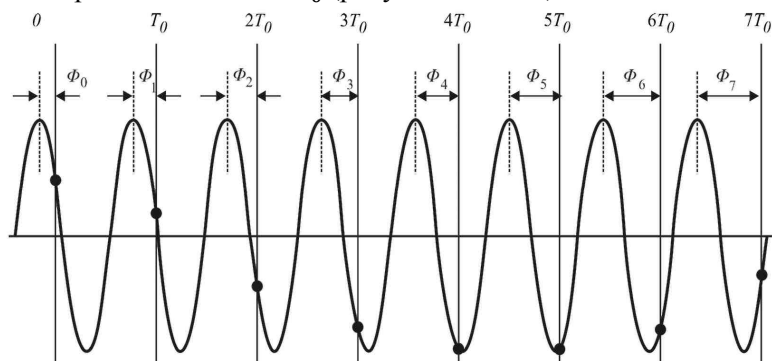


Рисунок А.3. Изменение фазового угла синхронизированного вектора при  $f_{\text{НОМ}} < f < 2f_{\text{НОМ}}$

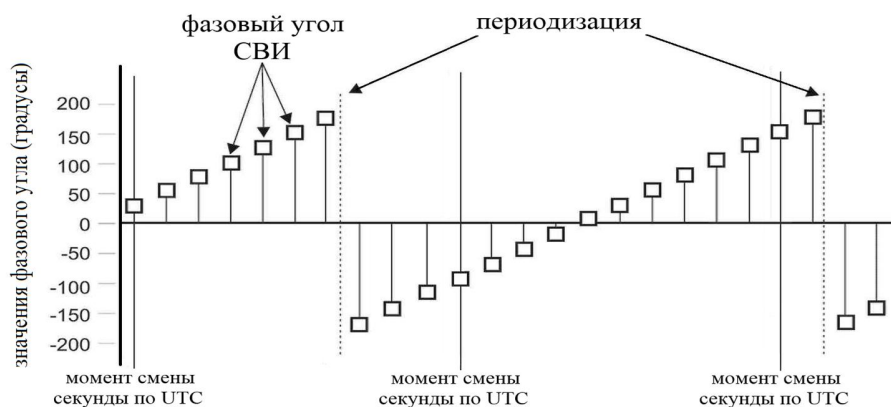


Рисунок А.4. Периодизация фазового угла при  $f_{\text{НОМ}} < f < 2f_{\text{НОМ}}$

## Приложение Б (обязательное)

### Требования к погрешностям измерений УСВИ

**Б.1. Допустимые пределы погрешностей измерений УСВИ класса М в статических условиях**

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
частота	$f = 45..55$ Гц	$TVE \leq 1\%$ , $FE \leq 0,001$ Гц, $RFE \leq 0,1$ Гц/с, абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$
напряжение	$U = (0,2..1,2) U_{ном}$	
ток	$I = (0,1..2,0) I_{ном}$	
фазовый угол	$\delta = -\pi..+\pi$	
коэффициент гармонических составляющих (от 2 до 50 гармоники)	для УСВИ, устанавливаемых на стороне $U_{вн} < 110$ кВ: $U = 0,1U_{ном}$	<b>при <math>F_s \geq 25</math>: <math>TVE \leq 1\%</math>, <math>FE \leq 0,025</math> Гц,</b> <b>при <math>F_s \leq 10</math>: <math>TVE \leq 1\%</math>, <math>FE \leq 0,005</math> Гц,</b> абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$
интергармоники	для УСВИ, устанавливаемых на стороне $U_{вн} \geq 110$ кВ: $U = 0,02U_{ном}$	

Примечание:

**TVE** – полная погрешность измерения вектора, **FE** – погрешность измерения частоты, **RFE** – погрешность измерения скорости изменения частоты, **F<sub>s</sub>** – темп передачи данных СВИ.

**Б.2. Допустимые пределы погрешностей измерений УСВИ класса Р в статических условиях**

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
частота	$f = 46..52$ Гц	$TVE \leq 1\%$ , $FE \leq 0,005$ Гц, $RFE \leq 0,4$ Гц/с, абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$
амплитуда напряжения	$U = (0,5..1,4) U_{ном}$	
амплитуда тока	$I = (0,1..2,0) I_{ном}$	
фазовый угол	$\delta = -\pi..+\pi$	
коэффициент гармонических составляющих (от 2 до 50 гармоники)	$U = 0,01 U_{ном}$	

**Б.3. Допустимые пределы погрешностей измерений УСВИ класса М в динамических условиях**

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
модуляция амплитуды и фазы вектора (отдельно)	$f_m = 0,1..5$ Гц ( $f_{шага} = 0,2$ Гц)	<b>при <math>F_s \geq 25</math>: <math>TVE \leq 3\%</math>,</b> $FE \leq 0,3$ Гц, $RFE \leq 14$ Гц/с
		<b>при <math>F_s \leq 10</math>: <math>TVE \leq 3\%</math>,</b> $FE \leq 0,12$ Гц, $RFE \leq 2,3$ Гц/с
линейное изменение частоты	$F = 45..55$ Гц ( $df/dt = \pm 1$ Гц/с)	$TVE \leq 1\%$ , $FE \leq 0,01$ Гц, $RFE \leq 0,2$ Гц/с интервал исключения, с: большее из ( $7/F_s$ , <b>0,14</b> с )
скачкообразное изменение амплитуды и фазы вектора (отдельно)	амплитуда: $\pm 10\%$ ( $k_a = 0,1$ ) фаза: $\pm 10^\circ$ ( $k_x = \pm \pi/18$ )	$TVE \leq 1\%$ при $T_{отклика} =$ большее из ( $7/F_s$ , <b>0,14</b> с ), $FE \leq 0,005$ Гц при $T_{отклика} =$ большее из ( $14/F_s$ , <b>0,28</b> с ), $RFE \leq 0,2$ Гц/с при $T_{отклика} =$ большее из ( $14/F_s$ , <b>0,28</b> с ),

	$T_{\text{реакции}} \leq 0,25/F_s$ с, перерегулирование $\epsilon \leq 5\%$
--	---

**Б.4. Допустимые пределы погрешностей измерений УСВИ класса Р в динамических условиях**

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
модуляция амплитуды и фазы вектора (отдельно)	$f_m = 0,1..2$ Гц ( $f_{\text{шага}} = 0,2$ Гц)	<b>при <math>F_s \geq 25</math>: TVE <math>\leq 3\%</math>; FE <math>\leq 0,06</math> Гц, RFE <math>\leq 2,3</math> Гц/с</b>
		<b>при <math>F_s \leq 10</math>: TVE <math>\leq 3\%</math>; FE <math>\leq 0,03</math> Гц, RFE <math>\leq 0,6</math> Гц/с</b>
линейное изменение частоты	$f = 46..52$ Гц ( $df/dt = \pm 1$ Гц/с)	<b>TVE <math>\leq 1\%</math>, FE <math>\leq 0,01</math> Гц, RFE <math>\leq 0,4</math> Гц/с</b> интервал исключения, с: большее из ( $2/F_s$ , 0,04 с)
скачкообразное изменение амплитуды и фазы (отдельно)	амплитуда: $\pm 10\%$ ( $k_a = 0,1$ ); фаза: $\pm 10^\circ$ ( $k_\phi = \pm \pi/18$ )	<b>TVE <math>\leq 1\%</math> при <math>T_{\text{отклика}} = 0,04</math> с, FE <math>\leq 0,005</math> Гц при <math>T_{\text{отклика}} = 0,09</math> с, RFE <math>\leq 0,4</math> Гц/с при <math>T_{\text{отклика}} = 0,12</math> с, <math>T_{\text{реакции}} \leq 0,25/F_s</math> с, перерегулирование <math>\epsilon \leq 5\%</math></b>

## Приложение В (обязательное)

### Минимальный перечень документов и информации по УСВИ, подлежащих представлению заявителем на рассмотрение органу по добровольной сертификации

**В.1.** Технические условия на изготовление УСВИ или технические спецификации (при отсутствии технических условий).

**В.2.** Руководство (инструкция) по монтажу, настройке и вводу в эксплуатацию УСВИ.

**В.3.** Руководство (инструкция) по эксплуатации УСВИ, включающее:

- техническое описание с обязательным указанием типа, области применения, а также указания по оперативному и техническому обслуживанию и ремонту с учетом наличия системы самодиагностики;

- общее техническое описание УСВИ, включающее тип, класс, коммуникационные интерфейсы и технические характеристики.

**В.4.** Копии протоколов и методик заводских испытаний УСВИ с приведением данных о характеристиках испытательного стенда, на котором проводились указанные испытания.

**В.5.** Руководство оператора по интерфейсу «человек – машина» и сервисному программному обеспечению.

**В.6.** Сертификат об утверждении типа средств измерения с указанием срока действия.

**В.7.** Сертификат соответствия УСВИ требованиям по электромагнитной совместимости, выданный аккредитованной организацией.

**В.8.** Руководство (инструкция) по эксплуатации приемника сигналов глобальных навигационных систем, используемого для синхронизации УСВИ при проведении сертификационных испытаний.



## Приложение Г (обязательное)

### Методика сертификационных испытаний УСВИ

#### Г.1. Область применения

Настоящая Методика должна применяться при проведении сертификационных испытаний УСВИ для проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ указанного заявителем класса требованиям Стандарта.

#### Г.2. Этапы подготовки и проведения сертификационных испытаний УСВИ

Сертификационные испытания УСВИ проводятся с использованием тестовой схемы, включающей ПАК РВ.

Сертификационные испытания должны содержать следующие этапы:

- сборка тестовой схемы;
- подключение УСВИ к тестовой схеме ПАК РВ;
- согласование заявителем схемы подключения УСВИ к тестовой схеме ПАК РВ;
- проведение сертификационных испытаний в объеме тестов для проверки указанного заявителем класса УСВИ;
- обработка результатов измерений и определение погрешностей измерений УСВИ;
- анализ результатов сертификационных испытаний.

#### Г.3. Сборка тестовой схемы для проведения сертификационных испытаний УСВИ

Г.3.1. Тестовая схема для проведения сертификационных испытаний УСВИ должна быть собрана в соответствии со схемой, приведенной на рисунке Г.1.

##### Г.3.2. Требования к тестовой схеме

Тестовая схема для проведения сертификационных испытаний УСВИ должна включать:

- ПАК РВ, включающий устройства ввода-вывода сигналов через цифровые интерфейсы и/или аналоговые усилители напряжения и тока (полная погрешность TVE ПАК РВ не должна превышать 0,25 %);
- источник (-и) точного времени;
- анализатор векторных измерений;
- аналого-цифровое устройство сопряжения, обеспечивающего преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму в соответствии с требованиями стандарта IEC 61850-9-2-2011;
- тестируемый УСВИ;
- цифровой осциллограф с частотой дискретизации не менее 100 МГц и полосой пропускания не менее 60 МГц;

- мультиметр с классом точности не хуже 0,1.



Рисунок Г.1. Тестовая схема для проведения сертификационных испытаний УСВИ

### Г.3.3. Требования к источнику точного времени

Синхронизация УСВИ при проведении сертификационных испытаний производится от приемника сигналов глобальных навигационных систем, предоставленного заявителем.

Приемники сигналов точного времени должны быть установлены и подключены согласно указаниям соответствующих эксплуатационных документов. При проведении тестирования УСВИ должно быть обеспечено выполнение следующих требований по синхронизации времени:

- при установке антенны, ее подключении, выборе длины и типа кабеля необходимо следовать инструкциям производителя;
- допускается синхронизация нескольких УСВИ от одного приемника;
- точность синхронизации подаваемых на УСВИ сигналов от ПAK РВ должна быть не хуже 1 мкс<sup>1</sup>.

### Г.3.4. Требования к функциям анализатора векторных измерений

Анализатор векторных измерений должен выполнять:

- сбор измерений с УСВИ, ПAK РВ и аналого-цифровых устройств сопряжения в режиме реального времени (в аналоговом и цифровом виде);
- обработку и архивирование СВИ;
- определение погрешностей измерений УСВИ в статических и динамических условиях;

<sup>1</sup>Ошибка синхронизации времени, равная 1 мкс, приводит к появлению дополнительной погрешности измерения фазового угла, равной 0,018°, а ошибка в регистрации фазового угла на 0,57° к превышению допустимой величины TVE = 1 %. Поэтому при выборе и настройке оборудования системы обеспечения точного времени необходимо особое внимание уделить способу и корректной настройке оборудования синхронизации тестируемых УСВИ во время проведения тестовых испытаний (синхронизация разных типов УСВИ может быть реализована при помощи спутниковых антенн – приемников сигналов точного времени и т.д.).

- запись результатов измерений и расчетов в формате .csv;
- хранение собранной информации в базе данных СВИ в виде кольцевого архива;
- визуализацию истинных, измеренных и рассчитанных данных;
- создание установленной формы отчета.

#### Г.3.5. Требования к программному обеспечению ПАК РВ

Программное обеспечение на рабочем месте технолога должно обеспечивать:

- задание топологии схемы;
- формирование сигналов с заданными параметрами;
- запись результатов измерений в формате .csv;
- взаимодействие с анализатором векторных измерений.

#### Г.3.6. Требования к УСВИ

До начала проведения испытаний заявителем должно быть представлено руководство по эксплуатации, в котором должны быть указаны технические характеристики УСВИ, правила подключения УСВИ к вторичным цепям тока и напряжения, а также к источнику синхронизации времени.

Ответственным за исправное состояние, комплектацию, синхронизацию времени, наличие эксплуатационной документации и готовность УСВИ к проведению испытаний является заявитель.

### **Г.4. Проведение сертификационных испытаний УСВИ**

Г.4.1. Сертификационные испытания проводятся в соответствии с программой испытаний, разработанной органом по добровольной сертификации и согласованной АО «СО ЕЭС».

Г.4.2. Программа сертификационных испытаний должна включать тесты, приведенные в разделе Г.6.

Г.4.3. Сценарии дополнительных тестов для получения характеристик УСВИ в условиях, приближенных к реальным процессам энергосистемы, приведены в разделе Г.7.

Г.4.4. Характеристики УСВИ, полученные в результате выполнения дополнительных тестов, несут исключительно информативный характер и должны быть зафиксированы в отдельной таблице результатов тестирования УСВИ.

Г.4.5. Вариации параметров входных сигналов должны производиться в каждом тесте в соответствии с условиями заданных сценариев.

Г.4.6. До завершения серии испытаний, предусмотренных настоящей Методикой, изменение конфигурации УСВИ не допускается.

Г.4.7. При необходимости повторения серии тестов, например при проверке УСВИ при другом темпе передачи данных СВИ, переконфигурирование УСВИ производится заявителем после отключения УСВИ от ПАК РВ.

Г.4.8. Определение TVE, FE, RFE, характеристик времени и величины перерегулирования.

Г.4.8.1. Соответствие результатов испытаний требованиям Стандарта должно устанавливаться путем сравнения параметров синхронизированных векторов, полученных в ходе проведения основных тестов, с соответствующими истинными значениями и путем расчета полной погрешности измерения амплитуды и фазы вектора, а также значений частоты и скорости изменения частоты в соответствии со следующими определениями и формулами:

Г.4.8.1.1. **Полная погрешность измерения вектора (TVE)** – величина, характеризующая отклонение амплитуды и фазы измеренного вектора от их заданных значений и вычисляемая по формуле:

$$\text{TVE} = \sqrt{\frac{(\hat{x}_r - x_r)^2 + (\hat{x}_i - x_i)^2}{x_r^2 + x_i^2}} \cdot 100\%, \text{ где}$$

$\hat{x}_r$  – действительная часть измеренного вектора;

$x_r$  – действительная часть истинного вектора;

$\hat{x}_i$  – мнимая часть измеренного вектора;

$x_i$  – мнимая часть истинного вектора.

Г.4.8.1.2. **Погрешность измерения частоты (FE)** – абсолютная погрешность измерения частоты основной гармоники напряжения электрического тока в момент времени  $n$ , вычисляемая по формуле:

$$\text{FE} = |\hat{f}(n) - f(n)|, \text{ где:}$$

$\hat{f}(n)$  – измеренное в момент времени  $n$  значение частот;

$f(n)$  – истинное значение частоты в момент времени  $n$ .

Г.4.8.1.3. **Погрешность измерения скорости изменения частоты (RFE)** – абсолютная погрешность скорости измерения частоты основной гармоники напряжения переменного тока в момент времени  $n$ , вычисляемая по формуле:

$$\text{RFE} = |\hat{df}(n)/dt - df(n)/dt|, \text{ где:}$$

$\hat{df}(n)/dt$  – измеренная в момент времени  $n$  скорость изменения частоты;

$df(n)/dt$  – истинное значение скорости изменения частоты в момент времени  $n$ .

Г.4.8.2. Характеристики времени УСВИ (время отклика, время реакции), а также перерегулирование приведены на рисунке Г.2.

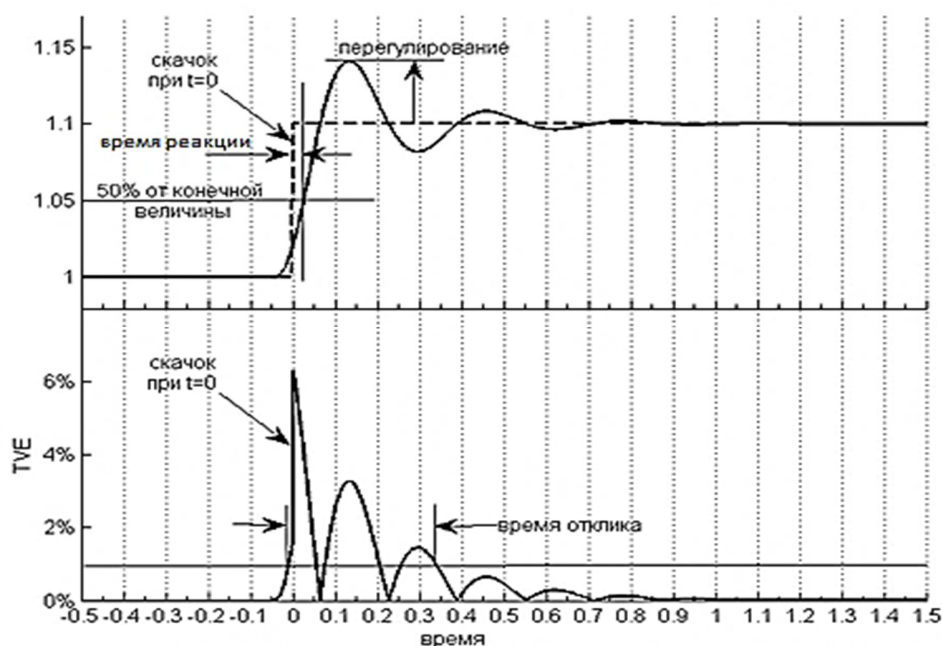


Рисунок Г.2. Характеристики времени УСВИ, перегуливание

Г.4.9. Критерием соответствия УСВИ требованиям Стандарта является соответствие погрешностей и характеристик УСВИ во всех основных тестах требованиям Стандарта для указанного заявителем класса УСВИ.

## Г.5. Состав и порядок испытаний

### Г.5.1. Описание правил проведения тестов

Темп передачи данных СВИ устанавливается перед каждой серией тестов. Величины погрешностей измерений УСВИ в динамических условиях при темпе передачи данных СВИ 10 кадров/с и менее не нормируются.

Для параметров сигналов, не варьируемых в соответствующем тесте, устанавливаются номинальные значения с коэффициентом гармонических искажений не более 0,2 %.

В дополнительных тестах настоящая Методика предусматривает определение точности УСВИ в условиях изменения параметров режима энергосистемы, близких к реальным, а также при наличии близкого к реальным случайного изменения этих параметров.

### Г.5.2. Правила определения погрешностей измерений УСВИ в статических условиях

Статическими условиями считаются условия, при которых параметры тестового сигнала остаются неизменными. Правила проведения тестов при определении погрешностей измерений УСВИ в статических условиях:

- амплитуда и частота сигналов должна быть постоянной в течение теста;

- длительность каждой ступени теста должна быть не менее 5 секунд;
  - в течение каждого теста должны быть произведены измерение всех предусмотренных параметров и расчет их средних и максимальных значений, определено число выбросов и их максимальное значение;
  - должны быть использованы следующие модели сигналов:
  - модель сигнала напряжения  $U(t) = U_m \cos(2\pi ft + \delta_U)$ ;
  - модель сигнала тока  $I(t) = I_m \cos(2\pi ft + \delta_I)$ ;
- где  $U_m, I_m$  – амплитуда,  $\delta$  – фазовый угол,  $f$  – частота входного сигнала.

### Г.5.3. Правила проведения тестов в динамических условиях

Динамическими условиями при тестировании УСВИ считаются условия, в которых один или несколько входных параметров изменяются по смоделированному закону.

Определение погрешностей измерений УСВИ в динамических условиях производится при:

- модуляции амплитуды и фазового угла сигнала;
- линейном изменении частоты;
- скачкообразном изменении амплитуды и фазы сигнала;
- экспоненциальном изменении частоты (дополнительный тест);
- моделировании однофазного короткого замыкания (дополнительный тест).

Для проведения тестирования УСВИ в динамических условиях используются сигналы, приведенные в таблице Г.5.1.

Таблица Г.5.1. Модели сигналов для тестирования в динамических условиях

Тип испытаний		Модель сигнала	Примечание
Динамические условия	Модуляция сигнала	$x(t) = X_m [1 + k_x \cos(2\pi f_m t)] \cdot \cos[2\pi f_{ном} t + \delta + k_a \cos(2\pi f_m t - \pi)]$	$k_x, k_a$ : коэффициенты модуляции амплитуды, фазы $f_m$ : частота модуляции
	Скачкообразное изменение параметров	$x(t) = X_m [1 + k_x \mathbf{1}(t)]$	$\mathbf{1}(t)$ : функция единичного скачка $k_x, k_a$ : коэффициент шага амплитуды и фазы
	Линейное изменение частоты	$x(t) = X_m \cos(2\pi f_{ном} t + \pi df t^2 + \delta)$	$f_{ном}$ : номинальная частота
			$df$ : скорость изменения частоты

Диапазоны параметров, в которых производится определение погрешностей измерений УСВИ, а также характер изменения параметров сигналов определены в сценариях для каждого теста.

## Г.6. Методы испытаний

### Г.6.1. Сценарии основных тестов УСВИ в статических условиях

#### Г.6.1.1. Сценарий тестирования УСВИ при различных значениях частоты

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m \cos(2\pi ft + \delta)$ , в котором:

амплитуда напряжения  $U = U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В,

амплитуда тока  $I = I_{\text{НОМ}} = 1$  А,

$\delta = \text{const}, f = \text{const}$ ;

б) диапазон изменения частоты:

для УСВИ класса М – 45÷55 Гц;

для УСВИ класса Р – 46÷52 Гц;

в) изменять значение частоты сигнала от минимального до максимального значения с шагом 1 Гц и длительностью ступени установившегося режима не менее 5 с;

г) результаты расчетов погрешностей измерений УСВИ внести в таблицу Г.6.1.1;

Таблица Г.6.1.1. Погрешности измерений УСВИ при различных значениях частоты

Значение частоты, Гц	Погрешности измерений УСВИ ( $U_1$ ( $I_1$ ))									
	погрешность по модулю (%)		$\Delta\delta$ (°)		TVE (%)		FE (Гц)		RFE (Гц/с)	
	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
$f_{\min}$										
...										
$f_{\max}$										

д) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

для класса М:  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,001$  Гц,  $RFE \leq 0,1$  Гц,  $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$ ;

для класса Р:  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,005$  Гц,  $RFE \leq 0,4$  Гц,  $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$ .

#### Г.6.1.2. Сценарий тестирования УСВИ при различных значениях амплитуды

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m \cos(2\pi f_{\text{НОМ}} t + \delta)$ ,

в котором  $X_m$ :

$U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В,  $I_{\text{НОМ}} = 1$  А,

$\delta = \text{const}, f_{\text{НОМ}} = 50$  Гц;

б) диапазон изменения амплитуды напряжения:

для УСВИ класса М –  $(0,1 \dots 1,2)U_{\text{НОМ}}$ ,  
 для УСВИ класса Р –  $(0,5 \dots 1,4)U_{\text{НОМ}}$ ,  
 диапазон изменения амплитуды тока –  $(0,1 \dots 2)I_{\text{НОМ}}$ ,  
 шаг изменения – не более  $0,25X_m$ ;

в) правила вариации параметра: амплитуда напряжения (тока) изменяется с заданным шагом от минимального до максимального значения, длительность ступени установившегося режима не менее 5 с;

г) принцип проведения теста: для каждого значения амплитуды напряжения (тока) сигнала определить погрешности измерений УСВИ (допустимо изменять амплитуды напряжения и тока одновременно встречно), результаты внести в таблицу Г.6.1.2;

Таблица Г.6.1.2. Погрешности измерений УСВИ при различных значениях амплитуды сигнала

Значение амплитуды сигнала ( $X_m$ )	Погрешности измерений УСВИ ( $U_1 (I_1)$ )										
	погрешность по модулю (%)		$\Delta\delta$ (°)		TVE (%)		FE (Гц)		RFE (Гц/с)		
	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	
$U_{\min} (I_{\max})$											
...											
$U_{\max} (I_{\min})$											

д) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

для класса М: TVE  $\leq 1\%$ , FE  $\leq 0,001$  Гц, RFE  $\leq 0,1$  Гц,  $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$ ;  
 для класса Р: TVE  $\leq 1\%$ , FE  $\leq 0,005$  Гц, RFE  $\leq 0,4$  Гц,  $\Delta\delta \leq 0,1^\circ$ .

### Г.6.1.3. Сценарий тестирования УСВИ при различных значениях фазового угла

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m \cos(2\pi f_{\text{НОМ}} t + \delta)$ ,

в котором  $X_m$ :

амплитуда напряжения  $U = U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В,

амплитуда тока  $I = I_{\text{НОМ}} = 1$  А,

$f_{\text{НОМ}} = 50$  Гц;

б) диапазон изменения фазового угла напряжения ( $\delta U$ ) и тока ( $\delta I$ ):  $[-\pi \dots +\pi]$  рад;

в) правила вариации параметра: значения фазового угла устанавливаются в соответствии с таблицей Г.6.1.3, длительность ступени установившегося режима – не менее 5 с;

г) принцип проведения теста: для каждого значения фазового угла определить погрешности измерений УСВИ, заполнить таблицу Г.6.1.3;





$(U_{вн} < 110 \text{ кВ});$ $-0,02U_{ном}$ $(U_{вн} \geq 110 \text{ кВ})$ <b>класс Р:</b> $0,01U_{ном}$		50										
	$\pi/2$	2										
		...										
		50										

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:  
 для класса М: при  $F_s \geq 25$ :  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,025 \text{ Гц}$ ,  $RFE$  не нормируется;  
 при  $F_s \leq 10$ :  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,005 \text{ Гц}$ ,  $RFE$  не нормируется;  
 для класса Р:  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,005 \text{ Гц}$ ,  $RFE \leq 0,4 \text{ Гц/с}$ .

### Г.6.1.5. Сценарий тестирования УСВИ при интергармонических помехах, с частотами, близкими к основной, $x_{test}(t) = x(t) + x_{in}(t)$

Условия проведения теста (проводится только для УСВИ класса М):

а) задать сигнал  $x(t) = X_m \cos(2\pi f t + \delta)$ , в котором  $X_m$ :

$$U_{ном} = 100/\sqrt{3} \text{ В}; \quad I_{ном} = 1 \text{ А};$$

$$f_{ном} = 50 \text{ Гц}; \quad \delta = \text{const};$$

$$f = \{f_{ном} - 0,1F_s/2; f_{ном}; f_{ном} + 0,1F_s/2\}.$$

Добавить интергармоническое колебание  $x_{in}(t) = X_{in m}(t) \cos(2\pi f_{in} t + \delta_{in})$ , в

котором:

амплитуда  $X_{in m} = 0,1X_m$  для  $U_{вн} < 110 \text{ кВ}$ ;  $X_{in} = 0,02X_m$  для  $U_{вн} \geq 110 \text{ кВ}$ ;

частота  $f_{in}$  изменяется в диапазонах  $10 \leq f_{in} \leq f_{max}$  и  $f_{min} \leq f_{in} \leq 2f_{ном}$  с шагом 5 Гц;

$$f_{min} = f_{ном} + F_s/2; \quad f_{max} = f_{ном} - F_s/2; \quad \text{фазовый угол } \delta_{in} = 0;$$

б) правила вариации параметра: параметры интергармонического колебания изменяются в соответствии с таблицей Г.6.1.5, длительность ступени 5 с;

в) принцип проведения теста: для каждого значения частоты входного сигнала и набора параметров интергармонического колебания определить погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.6.1.5;

Таблица Г.6.1.5. Погрешности измерений УСВИ при интергармоническом искажении сигнала

Вариация $f$ и $x_{in}(t) = X_{in m}(t) \cos(2\pi f_{in} t + \delta_{in})$		Погрешности измерений УСВИ ( $U_1(I_1)$ )							
$f$ (Гц)	$f_{in}$ (Гц)	погрешность по модулю (%)		$\Delta\delta$ (°)		TVE (%)		FE (Гц)	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
1) $f_{ном} - 0,1(F_s/2)$	$10 \cdot f_{max}$								
2) $f_{ном}$									
3) $f_{ном} + 0,1(F_s/2)$	$f_{min} \cdot 2f_{ном}$								

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:  
 для класса М:  $TVE \leq 1,3\%$ ,  $FE \leq 0,01 \text{ Гц}$ ,  $RFE$  не нормируется;

для класса P: погрешности не нормируются.

## Г.6.2. Сценарии основных тестов УСВИ в динамических условиях

### Г.6.2.1. Сценарий тестирования УСВИ при модуляции амплитуды

Условия проведения теста:

а) задать сигнал:  $x(t) = X_m [1 + k_x \cos(2\pi f_m t)] \cos[2\pi f_{\text{НОМ}} t + \delta + k_a \cos(2\pi f_m t - \pi)]$ ,

в котором

$k_x$  – коэффициент модуляции амплитуды;  $k_a$  – коэффициент модуляции фазы;  
 $f_m$  – частота модуляции;  $f_{\text{НОМ}}$  – номинальная частота, равная 50 Гц;  $\delta = \text{const}$ ;

$X_m$ :  $U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{\text{НОМ}} = 1$  А;

$k_x = 0,1$ ,  $k_a = 0$ , то есть  $x(t) = X_m [1 + 0,1 \cos(2\pi f_m t)] \cos[2\pi f t + \delta]$ ;

б) правила модулирования амплитуды сигнала: частота модуляции изменяется в диапазоне  $0,1 \leq f_m \leq 5$  Гц (для класса М) и  $0,1 \leq f_m < 2$  Гц (для класса P) в соответствии с таблицей Г.6.2.1. Длительность ступени – не менее 2 периодов модуляции;

в) принцип проведения теста: для каждого значения частоты модуляции определить погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.6.2.1;

Таблица Г.6.2.1. Погрешности измерений УСВИ при модуляции амплитуды

Вариация ( $0,1 \leq f_m \leq 5$ ) Гц		Погрешности измерений УСВИ ( $U_1$ ( $I_1$ ))									
		погрешность по модулю (%)		$\Delta\delta$ (°)		TVE (%)		FE (Гц)		RFE (Гц/с)	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
U (I) $k_x = 0,1$ $k_a = 0$	0,1(М, P)										
	0,3 (М, P)..1,9 (М, P) с шагом 0,2										
	2,5 (М)..5 (М) с шагом 0,5										

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

для класса М: при  $F_s \geq 25$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,3$  Гц, RFE  $\leq 14$  Гц/с;  
 при  $F_s \leq 10$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,12$  Гц, RFE  $\leq 2,3$  Гц/с;  
 для класса P: при  $F_s \geq 25$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,06$  Гц, RFE  $\leq 2,3$  Гц/с;  
 при  $F_s \leq 10$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,03$  Гц, RFE  $\leq 0,6$  Гц/с.

### Г.6.2.2. Сценарий тестирования УСВИ при модуляции фазы

Условия проведения теста:

а) задать сигнал:  $x(t) = X_m [1 + k_x \cos(2\pi f_{\text{НОМ}} t)] \cos[2\pi f_{\text{НОМ}} t + \delta + k_a \cos(2\pi f_m t - \pi)]$ ,

в котором:

$k_x$  – коэффициент модуляции амплитуды;

$k_a$  – коэффициент модуляции фазы;

$f_m$  – частота модуляции;

$f_{\text{НОМ}}$  – номинальная частота, равная 50 Гц;

$\delta = \text{const}$ .

$X_m$ :  $U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{\text{НОМ}} = 1$  А.

В данном тесте  $k_x = 0$ ,  $k_a = 0,1$ , то есть  $x(t) = X_m \cos[2\pi f_{\text{НОМ}} t + \delta + 0,1 \cos(2\pi f_m t - \pi)]$ ;

б) правила вариации параметра: частота модуляции изменяется в диапазоне  $0,1 \leq f_m \leq 5$  Гц (для класса М) и  $0,1 \leq f_m < 2$  Гц (для класса Р) с шагом 0,2 Гц и 0,5 Гц (таблица Г.6.2.2.). Длительность ступени – не менее 2 периодов модуляции;

в) принцип проведения теста: для каждого значения частоты модуляции определить погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.6.2.2;

Таблица Г.6.2.2. Погрешности измерений УСВИ при модуляции фазового угла

Вариация $f_m$ (Гц)		Погрешности измерений УСВИ ( $U_1$ ( $I_1$ ))									
		погрешность по модулю (%)		$\Delta\delta$ (°)		TVE (%)		FE (Гц)		RFE (Гц/с)	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
$U$ (В) $k_x = 0$ $k_a = 0,1$	0,1 (М, Р)										
	0,3 (М, Р)..1,9 (М, Р) с шагом 0,2										
	2,5 (М) ..5 (М) с шагом 0,5										

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

для класса М: при  $F_s \geq 25$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,3$  Гц, RFE  $\leq 14$  Гц/с;

при  $F_s \leq 10$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,12$  Гц, RFE  $\leq 2,3$  Гц/с.

для класса Р: при  $F_s \geq 25$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,06$  Гц, RFE  $\leq 2,3$  Гц/с;

при  $F_s \leq 10$ : TVE  $\leq 3\%$ , FE  $\leq 0,03$  Гц, RFE  $\leq 0,6$  Гц/с.

### Г.6.2.3. Сценарий тестирования УСВИ при линейном изменении частоты

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m \cos(2\pi f_{\text{НОМ}} t + \pi d f t^2 + \delta)$ , в котором:

$X_m$ :  $U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{\text{НОМ}} = 1$  А;

$\delta = \text{const}$ ,  $f_{\text{НОМ}}$  – номинальная частота, равная 50 Гц,  $df/dt = 1$  Гц/с;

б) правила вариации параметра: частота изменяется в диапазоне  $45 \leq f \leq 55$  Гц (для класса М) и  $46 \leq f \leq 52$  Гц (для класса Р) с шагом 1 Гц;

в) принцип проведения теста: для каждого измерения с учетом интервала исключения, указанного в таблицах Б.3, Б.4 приложения Б к Стандарту, на котором погрешности не рассчитываются, определить погрешности УСВИ и заполнить таблицу Г.6.2.3;

Таблица Г.6.2.3. Погрешности измерений УСВИ при линейном изменении частоты

Начальная частота $f$ (Гц)	$df/dt$ (Гц/с)	Погрешности измерений УСВИ ( $U_1$ ( $I_1$ )))									
		погрешность по модулю (%)		$\Delta\delta$ (°)		TVE (%)		FE (Гц)		RFE (Гц/с)	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
45 (М)	+1,0										
46..49 (М, Р)	+1,0										
50 (М, Р)	-1,0										
	+1,0										
51, 52 (М, Р)	-1,0										
53, 54 (М)	-1,0										
55 (М)	-1,0										

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

для класса М:  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,01$  Гц,  $RFE \leq 0,2$  Гц/с;

для класса Р:  $TVE \leq 1\%$ ,  $FE \leq 0,01$  Гц,  $RFE \leq 0,4$  Гц/с.

#### Г.6.2.4. Сценарий тестирования УСВИ при скачкообразном изменении амплитуды

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m [1 + k_x \mathbf{1}(t)] \cos[2\pi f_{ном} t + k_a \mathbf{1}(t)]$ , в котором:

$\mathbf{1}(t)$  – единичный скачок;

$k_x$  – весовой коэффициент скачка амплитуды;

$k_a$  – весовой коэффициент скачка фазы,  $k_a = 0$ ;

$X_m$ :  $U_{ном} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{ном} = 1$  А;  $f_{ном} = 50$  Гц;

б) принцип проведения теста: для каждого значения  $k_x$  определить характеристики и погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.6.2.4. В таблице указывается максимальное значение погрешности, полученное при обработке последовательности из 10 импульсов. Длительность одного импульса не менее 1 с, восстановительный интервал времени перед скачком не менее  $7/F_s$ ;

Таблица Г.6.2.4. Результаты тестирования УСВИ при скачкообразном изменении амплитуды

Вариация $k_x$	Погрешности измерений ( $U_1$ ( $I_1$ )) и характеристики УСВИ									
	TVE (%)		FE (Гц)		RFE (мГц/с)		Т <sub>реакции</sub> (мс)		Перерегулирование (%)	
	макс	сред	макс	макс	макс	сред	макс	сред	макс	сред
+5%										
-5%										
+10%										
-10%										

в) критерии проверки погрешностей измерений УСВИ: значения TVE, FE, RFE в соответствии с таблицами Б.3, Б.4 приложения Б к Стандарту.

### Г.6.2.5. Сценарий тестирования УСВИ при скачкообразном изменении фазового угла

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m [1 + k_x \mathbf{1}(t)] \cos[2\pi f_{\text{НОМ}} t + k_a \mathbf{1}(t)]$ , где:

$\mathbf{1}(t)$  – единичный скачок;

в котором  $X_m$ :  $U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{\text{НОМ}} = 1$  А;

$k_x$  – весовой коэффициент скачка амплитуды,  $k_x = 0$ ;

$k_a$  – весовой коэффициент скачка фазы;

$f_{\text{НОМ}}$  – номинальная частота, равная 50 Гц;

б) принцип проведения теста: для каждого значения  $k_a$  определить характеристики и погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.6.2.5. В таблицу заносится максимальное значение погрешности, полученное при обработке последовательности из 10 импульсов. Длительность одного импульса не менее 1 с, восстановительный интервал времени перед скачком не менее  $7/F_s$ ;

Таблица Г.6.2.5. Результаты тестирования УСВИ при скачкообразном изменении фазового угла

Вариация $k_a$	Погрешности измерений ( $U_1$ ( $I_1$ )) и характеристики УСВИ									
	TVE (%)		FE (Гц)		RFE (мГц/с)		Т <sub>реакции</sub> (мс)		Перерегулирование (%)	
	макс	сред	макс	макс	макс	сред	макс	сред	макс	сред
$+\pi/18$										
$-\pi/18$										
$+\pi/9$										
$-\pi/9$										

в) критерии проверки погрешностей измерений УСВИ: значения TVE, FE, RFE в соответствии с таблицами Б.3, Б.4 Приложения Б к Стандарту.

## Г.7. Сценарии дополнительных тестов УСВИ

### Г.7.1. Сценарии дополнительных тестов УСВИ при добавлении шума

В качестве дополнительных тестов с целью оценки величин погрешностей измерений УСВИ должны быть проведены тесты в соответствии с пунктами Г.6.1.1, Г.6.1.2, Г.6.1.3, Г.6.1.4, Г.6.1.5, Г.6.2.1, Г.6.2.2, Г.6.2.3, Г.6.2.4, Г.6.2.5 при добавлении в модели эталонных сигналов тестов модели шума. При моделировании белого шума должны использоваться математическое ожидание и дисперсия при нормальном распределении случайного процесса.

Цель проведения тестов: оценочное определение погрешностей измерений УСВИ в условиях изменения параметров электрического режима, близких к реальным.

В модель сигналов напряжения и тока необходимо включить модель шума, наблюдаемого в режимных параметрах, при этом модели сигналов напряжения и тока с учетом шума должны иметь следующий вид:

$$x(t) = X_m \cos(2\pi f t + \delta + n_\delta(t)) + n_{u(i)}(t),$$

где  $n_\delta(t)$ ,  $n_u(t)$ ,  $n_i(t)$  – уровни шума.

При проведении тестов с добавлением шума должна быть использована следующая модель шума:  $n(t) = n_0(t) + n_n(t)$ ,

где  $n_0(t)$  – тренд, математическое ожидание шума,

$n_n(t)$  – случайная составляющая, характеризуемая дисперсией.

Модель шума фазы должна иметь вид  $n_0(t) = \Delta\delta \sin(2\pi \Omega_\delta t)$ ,

где  $\Delta\delta = 0,05$  рад – амплитуда колебания фазового угла;  $\Omega_\delta = 0,0025$  Гц – частота колебания частоты;

$n_\delta(t) = \sigma_\delta n_\delta(t)$ , где  $\sigma_\delta = 0,01$  рад – среднеквадратическое отклонение случайной составляющей абсолютной фазы,  $n_\delta(t)$  – белый шум.

Модель шума напряжения (шум разный по фазам):  $n_0(t) = \Delta U \sin(2\pi \Omega_U t)$ ,

где  $\Delta U = 0,05$  В – амплитуда колебания амплитуды напряжения;

$\Omega_U = 0,01, 0,04$  Гц – частота колебания амплитуды напряжения;

$n_{U(t)} = \sigma_U n(t)$ ,

где  $\sigma_U = 0,01$  В – среднеквадратичное отклонение случайной составляющей напряжения,  $n_U(t)$  – белый шум.

Модель шума тока:  $n_0(t) = \Delta I \sin(2\pi \Omega_I t)$ ,

где  $\Delta I = 0,001$  А – амплитуда колебания амплитуды тока,

$\Omega_I = 0,01$  Гц – частота колебания амплитуды тока,

$n_I(t) = \sigma_I n_I(t)$ , где  $\sigma_I = 0,01$  А – среднеквадратичное отклонение случайной составляющей тока,  $n_I(t)$  – белый шум.

### Г.7.2. Сценарий дополнительного теста УСВИ при линейном изменении частоты

Цель проведения теста: оценочное определение погрешностей измерений УСВИ в условиях изменения параметров электрического режима, близких к реальным.

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $x(t) = X_m \cos(2\pi f_{\text{ном}} t + \pi df t^2 + \delta + k_\delta n_\delta(t) + k_{u,i} n_{u,i}(t))$ ,

где:

$X_m$ :  $U_{\text{ном}} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{\text{ном}} = 1$  А;  $\delta = \text{const}$ ;

$k_\delta$  и  $k_{u,i}$  – коэффициенты, определяющие присутствие шума, причем

$k_\delta = k_{u,i} = 0$  при отсутствии шума;  $k_\delta = k_{u,i} = 1$  при наличии шума;

$df$  – скорость изменения частоты;





### Г.7.3. Сценарий дополнительного теста УСВИ при нелинейном изменении частоты

Цель проведения теста: оценочное определение погрешностей измерений УСВИ в условиях изменения параметров электрического режима, близких к реальным.

Условия проведения теста:

а) задать сигнал  $\mathbf{x}(t) = +\mathbf{k}_{u,i}\mathbf{n}_{u,i}(t)$ , где

$X_m$ :  $U_{\text{НОМ}} = 100/\sqrt{3}$  В;  $I_{\text{НОМ}} = 1$  А;  $\delta = \text{const}$ ;  $df$  – скорость изменения частоты;

$df = \Delta F(1 - \exp(-\frac{t}{T_e}))$ , где  $T_e$  постоянная времени,  $k_\delta$  и  $k_{u,i}$  – коэффициенты, определяющие присутствие шума,  $k_\delta = k_{u,i} = 0$  при отсутствии шума;  $k_\delta = k_{u,i} = 1$  при наличии шума;

б) правила вариации параметра для теста 1: характер измерения частоты показан на рисунке Г.7.2, частота изменяется с  $f_{\text{НОМ}} = 50$  Гц до заданной в таблицах Г.7.3а, Г.7.3б величины с постоянной времени  $T_e = 1$  с. При этом после возврата частоты к значению  $f_{\text{НОМ}}$  обязательно наличие восстановительного интервала времени длительностью не менее  $7/F_s$  (для УСВИ класса М),  $2/F_s$  (для УСВИ класса Р);

в) правила вариации параметра для теста 2: характер изменения частоты показан на рисунке Г.7.3, частота изменяется с  $f_{\text{НОМ}} = 50$  Гц до 46 Гц с постоянной времени  $T_e$ , заданной в таблицах Г.7.3в, Г.7.3г. При этом после возврата частоты к значению  $f_{\text{НОМ}}$  обязательно наличие восстановительного интервала времени длительностью не менее  $7/F_s$  (для УСВИ класса М),  $2/F_s$  (для УСВИ класса Р);

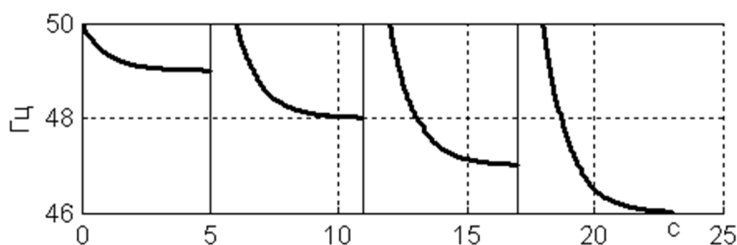


Рисунок Г.7.2. Характер изменения частоты в тесте 1

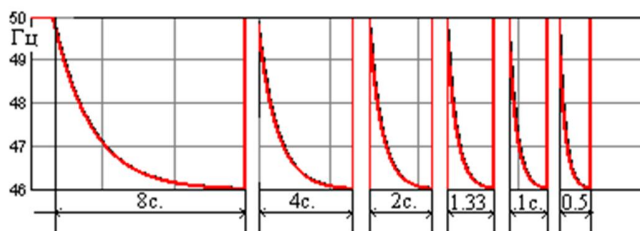


Рисунок Г.7.3. Характер изменения частоты в тесте 2

г) принцип проведения теста: установить  $k_\delta = k_x = 0$  и, изменяя в соответствии с условиями тестов значение частоты входного сигнала, определить погрешности измерений УСВИ. Повторить тест при добавлении шума (правила





### Библиография

[1] IEEE Std C37.118.2-2011 – IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems.

[2] IEC 61850-8-1-2011. Сети связи и системы автоматизации энергосистем общего пользования. Часть 8-1. Схема распределения особой услуги связи (SCSM). Схема распределения для производственной системы модульной конструкции MMS (ISO 9506-1 и ISO 9506-2) и по ISO/IEC 8802-3.

[3] IEC 61850-9-2-2011. Системы автоматизации и сети связи на подстанциях. Часть 9-2. Схема особого коммуникационного сервиса (SCSM). Значения выборок по ISO/IEC 8802-3.

[4] IEC TR 61850-90-5-2012. Сети коммуникационные и системы связи для автоматизации энергосистем общего пользования. Часть 90-5. Использование IEC 61850 для передачи информации синхронизатора согласно IEEE C37.118

[5] Федеральный закон от 26 июня 2008 г. № 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений».

Акционерное общество «Системный оператор Единой энергетической системы»  
(АО «СО ЕЭС»)

*наименование организации-разработчика*

Руководитель организации-разработчика

Председатель Правления

*должность*

*личная подпись*

Б.И. Аюев

*инициалы, фамилия*

Руководитель разработки

Заместитель Председателя Правления

*должность*

*личная подпись*

С.А. Павлушко

*инициалы, фамилия*

Исполнители

Директор по управлению режимами ЕЭС –  
главный диспетчер

*должность*

*личная подпись*

М.Н. Говорун

*инициалы, фамилия*

Заместитель директора по управлению  
режимами ЕЭС

*должность*

*личная подпись*

А.В. Жуков

*инициалы, фамилия*

Начальник Службы внедрения  
противоаварийной и режимной автоматики

*должность*

*личная подпись*

Е.И. Сацук

*инициалы, фамилия*

Начальник отдела Службы внедрения  
противоаварийной и режимной автоматики

*должность*

*личная подпись*

Д.М. Дубинин

*инициалы, фамилия*