ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59365— 2021

Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Система мониторинга переходных режимов. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Системный оператор Единой энергетической системы»

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 016 «Электроэнергетика»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 апреля 2021 г. № 214-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2021

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 2
3 Термины, определения и сокращения 2
4 Основные положения 3
5 Требования к функциональности устройств синхронизированных векторных измерений 3
6 Требования к темпу передачи синхронизированных векторных измерений 3
7 Требования к составу синхронизированных векторных измерений 4
8 Требования к метрологическому обеспечению устройств синхронизированных векторных измерений 4
9 Требования к синхронизации измерений устройств синхронизированных векторных измерений 4
10 Требования к проведению испытаний устройств синхронизированных векторных измерений 4
Приложение А (справочное) Основные понятия о синхронизированном векторе 7
Приложение Б (обязательное) Требования к погрешностям измерений устройств синхронизированных векторных измерений 10
Приложение В (обязательное) Требования к программно-аппаратному комплексу моделирования энергосистем в режиме реального времени, используемому для испытаний устройств синхронизированных векторных измерений 14
Приложение Г (обязательное) Методика испытаний устройств синхронизированных векторных измерений 15
Библиография 44

Введение

В соответствии с пунктом 168 Правил технологического функционирования электроэнергетических систем [1] в энергосистеме следует осуществлять регистрацию аварийных событий и процессов, в том числе с использованием устройств системы мониторинга переходных режимов.

Требования к построению системы мониторинга переходных режимов в Единой энергетической системе России и технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах установлены ГОСТ Р 59364—2021 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования», согласно которому система мониторинга переходных режимов состоит из устройств синхронизированных векторных измерений и концентраторов синхронизированных векторных данных, устанавливаемых на объектах электроэнергетики и в диспетчерских центрах субъектов оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике.

Общие требования к оснащению объектов электроэнергетики устройствами синхронизированных векторных измерений и концентраторами синхронизированных векторных данных установлены Требованиями к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики [2].

Настоящий стандарт разработан в развитие положений указанных нормативных правовых актов, а также ГОСТ Р 59364—2021 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Система мониторинга переходных режимов. Нормы и требования» и направлен на обеспечение нормативно-технической основы для применения технологии синхронизированных векторных измерений, построения и функционирования системы мониторинга переходных режимов в Единой энергетической системе России и технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА И АВТОМАТИКА

Система мониторинга переходных режимов. Устройства синхронизированных векторных измерений. Нормы и требования

United power system and isolated power systems. Relay protection and automation. Wide-area measurement system. Phasor measurement unit. Norms and requirements

Дата введения — 2021—05—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к:

- функциональности устройств синхронизированных векторных измерений (далее — УСВИ);
- составу измеряемых параметров УСВИ;
- метрологическому обеспечению УСВИ;
- синхронизации измерений УСВИ;
- проведению испытаний УСВИ в целях подтверждения их соответствия требованиям настоящего стандарта в части выполнения требований к составу синхронизированных векторных измерений и нормированной точности.

1.2 Настоящий стандарт распространяется на системного оператора, субъекты оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике в технологически изолированных территориальных электроэнергетических системах, собственников и иных законных владельцев объектов электроэнергетики, организации, осуществляющие деятельность по разработке, изготовлению, наладке, эксплуатации УСВИ, а также проектные и научно-исследовательские организации.

1.3 Настоящий стандарт предназначен для применения при проектировании, строительстве, реконструкции, модернизации и техническом перевооружении объектов электроэнергетики, технологическом присоединении объектов электроэнергетики и энергопринимающих установок потребителей электрической энергии к электрическим сетям, создании (модернизации) комплексов и устройств релейной защиты и автоматики.

1.4 Требования настоящего 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 настоящего стандарта;
- подлежат установке на объектах электроэнергетики в соответствии с проектной (рабочей) документацией на создание (модернизацию) комплексов или устройств релейной защиты и автоматики, согласованной и утвержденной в установленном порядке до вступления в силу настоящего стандарта.

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

1.5 Настоящий стандарт не устанавливает 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.

Настоящий 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.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 8.567 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения времени и частоты. Термины и определения

ГОСТ 30804.4.7 (IEC 61000-4-7:2009) Совместимость технических средств электромагнитная. Общее руководство по средствам измерений и измерениям гармоник и интергармоник для систем электроснабжения и подключаемых к ним технических средств

ГОСТ Р 2.601 Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы

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

ГОСТ Р 55537 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы навигационно-информационные. Классификация

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 8.567, ГОСТ Р 55105, ГОСТ Р 55537, ГОСТ 30804.4.7, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1.1 **абсолютный угол (тока/напряжения):** Фазовый угол синхронизированного вектора, равный углу между основной гармоникой фазного тока (напряжения) и условной косинусоидой промышленной частоты, фаза которой равна нулю при смене секунд всемирного координированного времени.

3.1.2 **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.

3.1.3 **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.

3.1.4 **данные синхронизированных векторных измерений (данные СВИ):** Совокупность измеренных УСВИ векторных и скалярных электрических параметров с метками времени.

3.1.5 **кадр данных синхронизированных векторных измерений:** Набор данных синхронизированных векторных измерений, соответствующий одной метке времени.

3.1.6 **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.

3.1.7 **концентратор синхронизированных векторных данных:** Программно-техническое устройство, выполняющее прием, обработку, хранение и передачу данных синхронизированных векторных измерений.

3.1.8 **перерегулирование УСВИ:** Максимальное отклонение измеряемых УСВИ электрических параметров после их скачкообразного изменения от нового установившегося значения.

3.1.9 **синхронизированный вектор:** Действующее значение и фазовый угол основной гармоники фазного тока или напряжения, измеряемые в однозначно определенные моменты времени.

3.1.10 **темп передачи:** Число передаваемых кадров данных СВИ в секунду.

3.1.11 **устройство синхронизированных векторных измерений:** Техническое средство, функцией (одной либо одной из нескольких) которого являются 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.

3.1.12 **частота:** Частота напряжения переменного тока.

3.2 В настоящем стандарте использованы следующие сокращения:

ПАК РВ — программно-аппаратный комплекс моделирования энергосистем в режиме реального времени;

СВИ — синхронизированные векторные измерения;

УСВИ — устройство синхронизированных векторных измерений;

UTC — всемирное координированное время.

4 Основные положения

4.1 УСВИ предназначено для выполнения с нормированной точностью измерений синхронизированных векторов фазных токов и напряжений, частоты, скорости изменения частоты и передачи измеренных параметров в концентраторы синхронизированных векторных данных. Основные понятия о синхронизированном векторе приведены в приложении А.

4.2 УСВИ подразделяют на следующие классы:

- УСВИ класса М;
- УСВИ класса Р.

В зависимости от класса УСВИ должно соответствовать требованиям к реализованным в нем алгоритмам и настройке, а также погрешностям измерений в соответствии с приложением Б.

4.3 Производитель конкретного УСВИ должен определять класс данного устройства. Допускается реализация в одном устройстве алгоритмов, раздельное функционирование которых позволяет одному УСВИ одновременно удовлетворять требованиям двух классов.

4.4 К УСВИ следует прилагать комплект эксплуатационных документов в соответствии с ГОСТ Р 2.601, а также копий описания типа и методики поверки УСВИ.

5 Требования к функциональности устройств синхронизированных векторных измерений

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 [3], [4], [5];
- включение в каждый кадр данных СВИ метки времени UTC;
- передача данных СВИ двум или более получателям;
- регистрация и передача дискретных сигналов;
- самодиагностика функционирования.

6 Требования к темпу передачи синхронизированных векторных измерений

6.1 В каждом УСВИ должна быть реализована передача кадров данных СВИ с темпом передачи 50 кадров данных СВИ в секунду.

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

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

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

7 Требования к составу синхронизированных векторных измерений

7.1 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 (δ_{Ua}, δ_{Ub}, δ_{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 (δ_{Ia}, δ_{Ib}, δ_{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).

7.2 При необходимости измерения параметров системы возбуждения генераторов в УСВИ или в отдельном устройстве, подключаемом к УСВИ или поддерживающем передачу данных СВИ по протоколу, установленному стандартом [3], должно быть реализовано выполнение измерений следующих параметров:

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

8 Требования к метрологическому обеспечению устройств синхронизированных векторных измерений

8.1 УСВИ должны быть внесены в Государственный реестр средств измерений Российской Федерации и иметь действующее свидетельство о поверке или сертификат (протокол) калибровки.

8.2 Метрологические характеристики УСВИ, указанные в описании типа средства измерений, в части выполнения СВИ должны соответствовать требованиям приложения Б. Соответствие погрешностей УСВИ требованиям приложения Б должно быть определено для темпа передачи данных 50 кадров/с.

8.3 При передаче результатов измерений УСВИ в качестве телеизмерений в АСУ ТП точность измерений УСВИ должна соответствовать требованиям, предъявляемым соответствующими системами.

9 Требования к синхронизации измерений устройств синхронизированных векторных измерений

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

9.2 Сигналы синхронизации должны соответствовать шкале UTC.

9.3 В кадры данных СВИ следует включать информацию о качестве синхронизации результатов измерений в соответствии с требованиями [3].

10 Требования к проведению испытаний устройств синхронизированных векторных измерений

10.1 Для применения УСВИ в составе системы мониторинга переходных режимов в отношении УСВИ следует проводить испытания в целях подтверждения их соответствия требованиям настоящего стандарта в части выполнения требований к составу измерений СВИ и нормированной точности (далее — испытания).

10.2 Для проведения испытаний организация (испытательная лаборатория, испытательный центр), проводящая испытания (далее — организация, осуществляющая испытания), должна быть оснащена соответствующей производственно-технической базой (техническими средствами), необходимой для проведения испытаний, включая математическую модель энергосистемы, созданную с применением ПАК РВ в составе тестовой схемы с характеристиками, требуемыми для проведения испытаний УСВИ в соответствии с приложением В.

10.3 Объектами испытаний являются:

- УСВИ определенного класса (М или Р);

- УСВИ (отдельные устройства), в которых реализована функция измерения параметров системы возбуждения с передачей данных по протоколу, установленному стандартом [3].

Результаты испытаний распространяются на тип (марку) УСВИ и класс УСВИ.

10.4 Испытания УСВИ могут осуществляться на соответствие требованиям, предъявляемым к устройствам одного из классов (М или Р) или двух классов одновременно. Испытания проводят в объеме опытов (тестов) для соответствующего класса УСВИ.

При реализации в одном устройстве алгоритмов, раздельное функционирование которых позволяет УСВИ одновременно удовлетворять требованиям двух классов, должны быть проведены независимые испытания УСВИ для каждого класса.

10.5 Испытания следует проводить с использованием ПАК РВ по программе, разработанной в соответствии с приложением Г и согласованной с субъектом оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике. Программа испытаний должна учитывать класс УСВИ.

10.6 Для проведения испытаний собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики, на котором планируется к установке (установлено) УСВИ, или иным лицом, заинтересованным в их проведении (далее — владелец устройства), должны быть предоставлены следующие документы и информация:

- технические условия на изготовление УСВИ или технические спецификации (при отсутствии технических условий);
- руководство (инструкция) по монтажу, настройке и вводу в эксплуатацию УСВИ;
- 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;
- копии протоколов и методик заводских испытаний УСВИ с приведением данных о характеристиках испытательного стенда, на котором проводились указанные испытания;
- руководство оператора по интерфейсу «человек — машина» и сервисному программному обеспечению;
- сертификат (свидетельство) об утверждении типа средств измерения с указанием срока действия, а также методика поверки УСВИ;
- руководство (инструкция) по эксплуатации приемника сигналов глобальных навигационных систем, используемого для синхронизации УСВИ при проведении испытаний.

10.7 Для проведения испытаний владелец устройства должен передать организации, осуществляющей испытания, УСВИ и согласовать с ней схемы его подключения к тестовой схеме ПАК РВ и параметры настройки испытуемого устройства.

10.8 Организация, осуществляющая испытания, проводит их в соответствии с этапами подготовки и проведения испытаний УСВИ согласно приложению Г.

10.9 Результаты испытаний УСВИ оформляют протоколом. Протокол испытаний должен быть подписан всеми участниками испытаний.

10.10 Протокол испытаний должен содержать следующую информацию:

- наименование и адрес владельца устройства;
- наименование и адрес организации, проводившей испытания;
- номер и дату протокола испытаний, нумерацию каждой страницы протокола, а также общее количество страниц;
- наименование объекта испытаний;
- дату (период) проведения испытаний;
- место проведения испытаний;
- перечень лиц, принявших участие в испытаниях;
- ссылку на настоящий стандарт, на соответствие которому проведены испытания;
- программу испытаний;
- описание испытуемого УСВИ (тип, класс, коммуникационные интерфейсы, технические характеристики, реализация функции измерения параметров системы возбуждения генераторов);
- описание отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения (тип, коммуникационные интерфейсы, технические характеристики, поддержка протоколов передачи данных);
- тип используемого при синхронизации УСВИ приемника сигналов глобальных навигационных систем;
- описание ПАК РВ (тип, модель и заводской номер);

- описание тестовой схемы, по которой проводились испытания;
- методики измерений;
- констатацию погрешности измерения (в случае необходимости);
- фактические значения показателей при испытаниях с указанием (при возможности) расчетной или фактической погрешности измерений;
- результаты проведенных испытаний, содержащие материалы, иллюстрирующие работу испытуемых УСВИ в каждом из проведенных тестов;
- оценка соответствия погрешностей УСВИ требованиям настоящего стандарта в каждом из проведенных тестов;
- вывод о соответствии или несоответствии проверяемых параметров, характеристик УСВИ настоящему стандарту, в том числе отдельно по каждому проверяемому параметру, характеристике.

10.11 Информация о результатах испытаний с указанием наименования, типа (марки), класса УСВИ, в отношении которого проводились испытания, и приложением копии протокола испытаний должна быть направлена владельцем устройства (уполномоченным им лицом) субъекту оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике.

10.12 Испытания УСВИ с целью утверждения типа средства измерений и регистрации УСВИ в Государственном реестре средств измерений должны проводиться производителем УСВИ.

Приложение А
(справочное)

Основные понятия о синхронизированном векторе

А.1 Сигнал основной гармоники фазного тока (напряжения)

$$X(t) = X_m(t)\cos(\int\omega(t)dt + \delta_0) \quad (A.1)$$

может быть представлен на комплексной плоскости в виде синхронизированного вектора

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

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 (см. рисунок А.1). Область определения фазового угла принимают [–π, +π] радиан;

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

Примечание 1 — $\delta = 0$ рад — в момент, когда максимальное значение сигнала приходится на смену секунды UTC.

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

А.2 Определяют функцию разности фактической и номинальной частоты $g(t) = f(t) - f_{ном}$, где номинальная частота $f_{ном} = 50$ Гц.

Сигнал основной гармоники фазного тока (напряжения) выражают следующим образом:

$$x(t) = X_m(t)\cos(2\pi\int f(t)dt + \delta_0); \quad (A.3)$$

$$x(t) = X_m(t)\cos(2\pi f_{ном}t + (2\pi\int g(t)dt + \delta_0)) \quad (A.4)$$

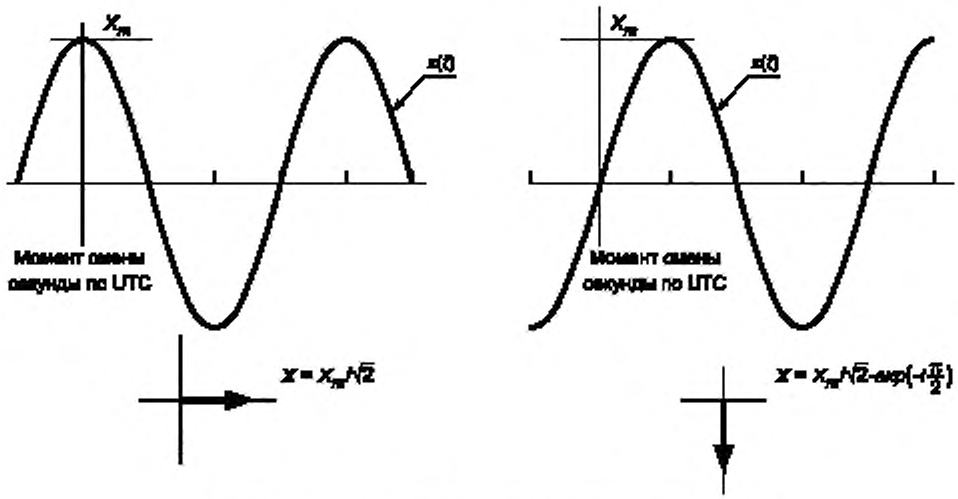
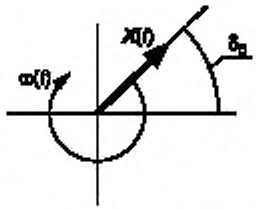


Рисунок А.1 — Представление синхронизированного вектора

А.3 Представление сигнала в виде синхронизированного вектора приведено на рисунке А.2.

$$\boldsymbol{X}(t) = \left(X_m(t)/\sqrt{2}\right)\exp\left(j\left(2\pi\int g(t)dt + \delta_0\right)\right) \quad (A.5)$$



а) $\left|\boldsymbol{X}(t)\right| = \left(X_m(t)/\sqrt{2}\right)$

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

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

$\left|\boldsymbol{X}(t)\right| = \left(X_m/\sqrt{2}\right)$

$\omega = 2\pi\Delta f$

Рисунок А.2 — Представление сигнала в виде синхронизированного вектора (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:

$$\boldsymbol{X}(t) = \left(X_m/\sqrt{2}\right)\exp\left(j\left(2\pi\Delta ft + \delta_0\right)\right). \quad (A.6)$$

Измерения сигнала проводят для моментов времени $\{0, T_0, 2T_0, 3T_0, \ldots, nT_0, \ldots\}$, где $T_0 = 1/f_{ном}$. Соответствующие им векторные представления $\{X_0, X_1, X_2, X_3, \ldots, X_n, \ldots\}$ изменяют свой фазовый угол в диапазоне $[-\pi, +\pi]$ равномерно с шагом $2\pi\Delta fT_0$ (см. рисунки А.3, А.4).

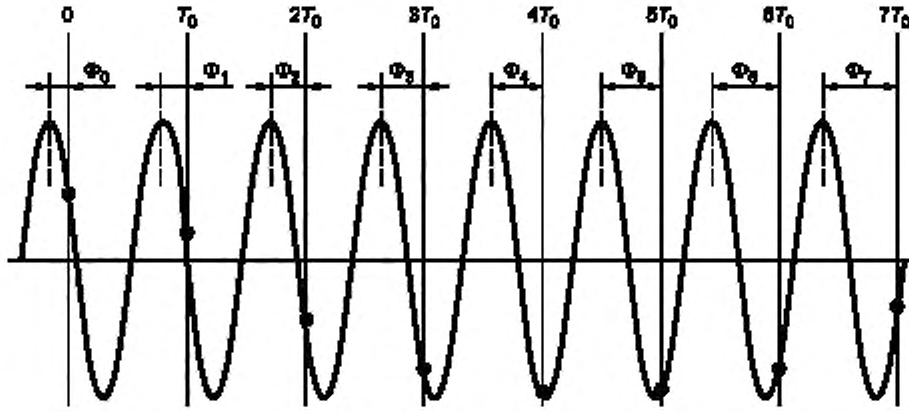


Рисунок А.3 — Изменение фазового угла синхронизированного вектора при $f_{ном} < f < 2f_{ном}$

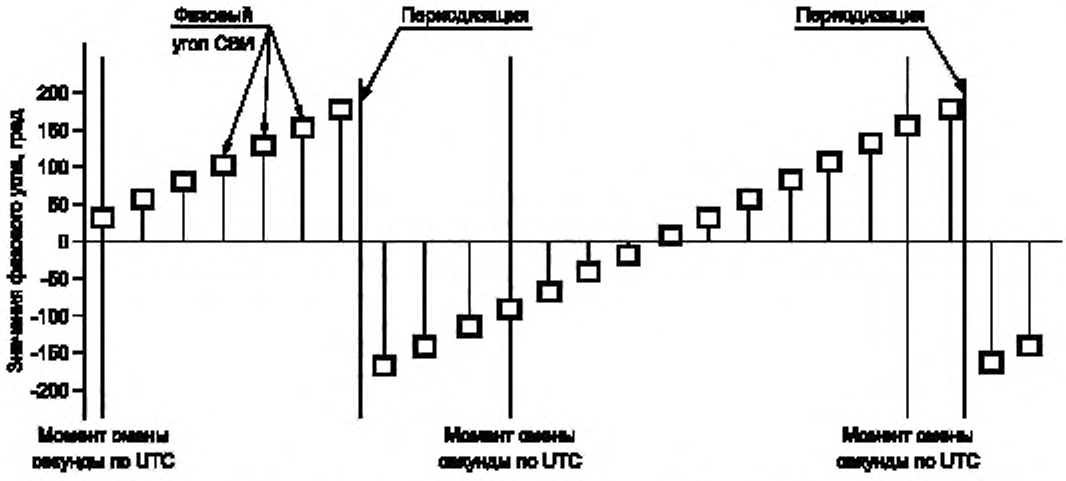


Рисунок А.4 — Периодизация фазового угла при $f_{ном} < f < 2f_{ном}$

Приложение Б
(обязательное)

Требования к погрешностям измерений устройств синхронизированных векторных измерений

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

Таблица 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 ≤ 1 %, FE ≤ 0,001 Гц, RFE ≤ 0,1 Гц/с, абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \le 0{,}1°$
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-й до 50-й гармоники)	для УСВИ, устанавливаемых на стороне $U_{вн}$ < 110 кВ: $U = 0{,}1U_{ном}$ для УСВИ, устанавливаемых на стороне $U_{вн}$ ≥ 110 кВ: $U = 0{,}02U_{ном}$	при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,025 Гц, при $F_s \le 10$: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \le 0{,}1°$
Интергармоники		TVE ≤ 1,3 %, FE ≤ 0,01 Гц, абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \le 0{,}1°$

Примечание 1 — TVE — полная погрешность измерения вектора, FE — погрешность измерения частоты, RFE — погрешность измерения скорости изменения частоты, F_s — темп передачи данных СВИ.

Примечание 2 — Полная погрешность измерения вектора (TVE) — величина, характеризующая отклонение амплитуды и фазы измеренного вектора от их заданных значений и вычисляемая по формуле

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

где $\hat{x}_r$ — действительная часть измеренного вектора; x_r — действительная часть заданного вектора;

$\hat{x}_i$ — мнимая часть измеренного вектора; x_i — мнимая часть заданного вектора.

Примечание 3 — Погрешность измерения частоты (FE) — абсолютная погрешность измерения частоты основной гармоники напряжения электрического тока в момент времени n, вычисляемая по формуле

$$\mathrm{FE} = |\hat{f}(n) - f(n)|,$$

где $\hat{f}(n)$ — измеренное в момент времени n значение частот; $f(n)$ — заданное значение частоты в момент времени n.

Примечание 4 — Погрешность измерения скорости изменения частоты (RFE) — абсолютная погрешность скорости измерения частоты основной гармоники напряжения переменного тока в момент времени n, вычисляемая по формуле

$$\mathrm{RFE} = \left|\widehat{df}(n)/dt - df(n)/dt\right|,$$

где $\widehat{df}(n)/dt$ — измеренная в момент времени n скорость изменения частоты;

$df(n)/dt$ — заданное значение скорости изменения частоты в момент времени n.

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

Таблица 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 ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, RFE ≤ 0,4 Гц/с, абсолютная погрешность измерения угла $\Delta\delta \le 0{,}1°$
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-й до 50-й гармоники)	U = 0,01 $U_{ном}$	

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

Таблица 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)	при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,3 Гц, RFE ≤ 14 Гц/с
		при $F_s \le 10$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,12 Гц, RFE ≤ 2,3 Гц/с
Линейное изменение частоты	F = 45..55 Гц (df/dt = ±1 Гц/с)	TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,01 Гц, RFE ≤ 0,2 Гц/с интервал исключения, с: большее из ($7/F_s$, 0,14 с)
Скачкообразное изменение амплитуды и фазы вектора (отдельно)	Амплитуда: ±10 % (k_a = 0,1) фаза: ±10° (k_x = ± π/18)	TVE ≤ 1 % при $T_{отклика}$ = большее из ($7/F_s$, 0,14 с), FE ≤ 0,005 Гц при $T_{отклика}$ = большее из ($14/F_s$, 0,28 с), RFE ≤ 0,2 Гц/с при $T_{отклика}$ = большее из ($14/F_s$, 0,28 с), $T_{реакции} \le 0{,}25/F_s$ с, перерегулирование σ ≤ 5 %

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

Таблица 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 ($f_{шага}$ = 0,2 Гц)	при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 3 %; FE ≤ 0,06 Гц, RFE ≤ 2,3 Гц/с
		при $F_s \le 10$: TVE ≤ 3 %; FE ≤ 0,03 Гц, RFE ≤ 0,6 Гц/с
Линейное изменение частоты	f = 46..52 Гц (df/dt = ±1 Гц/с)	TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,01 Гц, RFE ≤ 0,4 Гц/с интервал исключения, с: большее из ($2/F_s$, 0,04 с)
Скачкообразное изменение амплитуды и фазы (отдельно)	Амплитуда: ±10 % (k_a = 0,1); фаза: ±10° (k_x = ±π/18)	TVE ≤ 1 % при $T_{отклика}$ = 0,04 с, FE ≤ 0,005 Гц при $T_{отклика}$ = 0,09 с, RFE ≤ 0,4 Гц/с при $T_{отклика}$ = 0,12 с, $T_{реакции} \le 0{,}25/F_s$с, перерегулирование σ ≤ 5 %

Б.5 Допустимые пределы погрешностей измерений параметров системы возбуждения синхронных генераторов в статических условиях приведены в таблице Б.5.

Таблица Б.5 — Допустимые пределы погрешностей измерений параметров системы возбуждения синхронных генераторов в статических условиях

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
Измерение напряжения возбуждения при различных значениях угла зажигания и угла коммутации	$\alpha \in [0; 150]$, $\mu \in [0; 60]$, $U_f \in [0; 135]$ В При разных значениях частоты напряжения электропитания преобразователя $f_{пит.} \in \{50; 150; 300\}$ Гц	$\Delta U_f < 1$ В
Измерение тока возбуждения при различных его значениях	$I_f \in [0{,}1; I_{max}]\ I_{f\,ном}$	$\Delta I_f < 0.02$ А для заявленного диапазона измерений
Измерение напряжения возбуждения при различных значениях частоты напряжения электропитания моста	$f_{пит.} \in [45; 55]$ Гц; $f_{пит.} \in [135; 165]$ Гц; $f_{пит.} \in [270; 330]$ Гц	$\Delta U_f < 1$ В

Примечание — I_{max} — максимальная допустимая кратность в заявленном диапазоне измерений (не менее чем 2,5 о.е.);

$If_{ном}$ — номинальный ток возбуждения, 1 А;

ΔU_f — модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения;

ΔI_f — модуль абсолютной погрешности измерения тока возбуждения.

Б.6 Допустимые пределы погрешностей измерений параметров системы возбуждения синхронных генераторов в динамических условиях приведены в таблице Б.6.

Таблица Б.6 — Допустимые пределы погрешностей измерений параметров системы возбуждения синхронных генераторов в динамических условиях

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
Скачкообразное изменение напряжения электропитания	Исходное значение сигнала[1] $A_0 = \text{const} \in \{1.0; 0.5\}$ о.е. Величина ступенчатого изменения k_{xU}, $k_{x_i} = \text{const} \in \begin{Bmatrix} -0.9; -0.7; -0.5; -0.3; -0.1 & \text{для} A_0 = 1.0 \\ 0.2; 0.4; 0.6; 0.8 & \text{для} A_0 = 0.5 \end{Bmatrix}$ о.е.	$\Delta U_f < 1$ В при $T_{откл} \le 0{,}04$ с; $\Delta I_f < 0{,}02$ А при $T_{откл} \le 0{,}04$ с; время реакции $\le \max(0{,}005; 0{,}25/F_s)$; перерегулирование ≤ 5 %
Скачкообразное изменение напряжения электропитания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время	Интервал времени между скачкообразными измерениями $\Delta T \in \{0.04; 0.05; 0.1; 0.2\}$. Величина ступенчатого изменения k_{x_U}, $k_{x_I} = \text{const} \in \{-0.8; -0.6; -0.4; -0.2\}$ о.е.	
Скачкообразное изменение угла зажигания	Величина скачкообразного изменения угла зажигания $k_{x_\alpha} = \text{const} \in \{-60; -45; -30; -15; 15; 30; 45; 60; 75; 90\}°$	
Скачкообразное изменение угла зажигания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время	Интервал времени между скачкообразными измерениями $\Delta T \in \{0.04; 0.05; 0.1; 0.2\}$, амплитуда импульса изменения угла зажигания $k_{x_\alpha} = \text{const} \in \{-60; -30; 30; 60; 90\}°$	

Окончание таблицы Б.6

Параметр	Диапазон изменения входного параметра	Пределы допускаемых погрешностей измерений УСВИ
Модуляция угла зажигания	Частота модуляции угла зажигания f_m = const ∈ {0.5; 1; 2; 5; 10; 15; 20} Гц	Для [0; 5] Гц: ΔU_f < 1 В ΔI_f < 0,02 А Для (5;10] Гц: ΔU_f < 5 В ΔI_f < 0,1 А с учетом уменьшения амплитуды сигнала
Модуляция напряжения электропитания	Частота модуляции напряжения электропитания f_m = const ∈ {0.5; 1; 2; 5; 10; 15; 20} Гц	
Скачкообразное изменение тока возбуждения	$I_f(t) = \left(1 + I_0 + I_1 \cdot \cos(2\pi \cdot f_1 \cdot t) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}\right)$, I_0 = const ∈ {0.5; 1.0; 1.5} о.е., I_1 = const ∈ {0.5} о.е., I_2 = const ∈ {0.5} о.е., T_1 = const ∈ {0.5; 0.25} с, T_2 = const ∈ {0.5; 0.25} с	ΔI_f < 0,02 А при $T_{откл} \le 0{,}1$ с
Скачкообразное изменение напряжения возбуждения	Скорость изменения частоты напряжения электропитания k_f ∈ {1; 2; 4; 8; –1; –2; –4; –8} Гц/с	Погрешность не нормируется. Результаты испытаний носят информативный характер
[1] Полный перечень исходных условий выполнения экспериментов — в соответствии с приложением Г.		

Приложение В
(обязательное)

Требования к программно-аппаратному комплексу моделирования энергосистем в режиме реального времени, используемому для испытаний устройств синхронизированных векторных измерений

В.1 Основные положения

В.1.1 ПАК РВ должен обеспечивать математическое моделирование схемы, включающей:

- модели синхронных генераторов, трансформаторов, линий электропередачи, комплексных[1)] нагрузок, конденсаторных батарей, реакторов, шин неизменного напряжения, автоматических регуляторов возбуждения, систем возбуждения, регуляторов скорости, турбин;
- элементы, обеспечивающие возможность осуществлять ручное управление мощностью и возбуждением генераторов;
- элементы, обеспечивающие моделирование действия устройств и комплексов релейной защиты и автоматики;
- элементы, обеспечивающие контроль и регистрацию параметров электроэнергетического режима.

В.1.2 Использование ПАК РВ должно обеспечивать:

- воспроизведение схемно-режимных условий, а также сценариев, установленных программой и методикой испытаний УСВИ;
- подключение испытуемого УСВИ в соответствии с эксплуатационными документами к ПАК РВ, реализующим полную имитацию включения УСВИ в энергосистему, позволяющую обеспечивать адекватное функционирование УСВИ при выполнении всей программы испытаний;
- реализацию в выходных сигналах по напряжениям фаз А, В, С статоров генераторов, поступающих к входному каналу УСВИ, выраженной третьей гармоники в мгновенных значениях на уровне 1,5 %, колебания частот 16, 67 и 25 Гц в действующих значениях на уровне 0,08 %, составляющие обратной и нулевой последовательности на уровне 0,5 % от текущего действующего значения напряжений статоров генераторов.

В.1.3 ПАК РВ должен функционировать в режиме реального времени.

Частота дискретизации расчета должна быть задана на уровне не менее чем 10 кГц.

В.2 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.

В.3 Требования к аппаратному обеспечению ПАК РВ

В.3.1 ПАК РВ должен быть оснащен устройствами ввода-вывода сигналов через цифровые интерфейсы и/или аналоговые усилители напряжения и тока (полная погрешность TVE ПАК РВ не должна превышать 0,25 %).

В.3.2 ПАК РВ должен иметь возможность выдачи с помощью усилителей не менее 12 сигналов по напряжению (порядка 100 В линейного напряжения в номинальном режиме работы модели генератора), не менее 12 сигналов по току (порядка 5 А в фазе в номинальном режиме работы генератора, а также соответствующие созданной тестовой схеме значения токов при выполнении испытаний).

[1)] Комплексная нагрузка — нагрузка, включающая шунтовую и асинхронную нагрузку.

Приложение Г
(обязательное)

Методика испытаний устройств синхронизированных векторных измерений

Г.1 Область применения

Методику следует применять при проведении испытаний УСВИ для проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ определенного класса, указанного собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики, требованиям настоящего стандарта в части требований к составу СВИ и нормированной точности.

Г.2 Этапы подготовки и проведения испытаний УСВИ

Испытания УСВИ проводят с использованием тестовой схемы, включающей ПАК РВ.

Испытания должны содержать следующие этапы:

- сборка тестовой схемы;
- подключение УСВИ к тестовой схеме ПАК РВ;
- согласование собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики схемы подключения УСВИ к тестовой схеме ПАК РВ;
- проведение испытаний в объеме тестов для проверки указанного собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики класса УСВИ;
- обработка результатов измерений и определение погрешностей измерений УСВИ;
- анализ результатов испытаний.

Г.3 Сборка тестовой схемы для проведения испытаний УСВИ

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

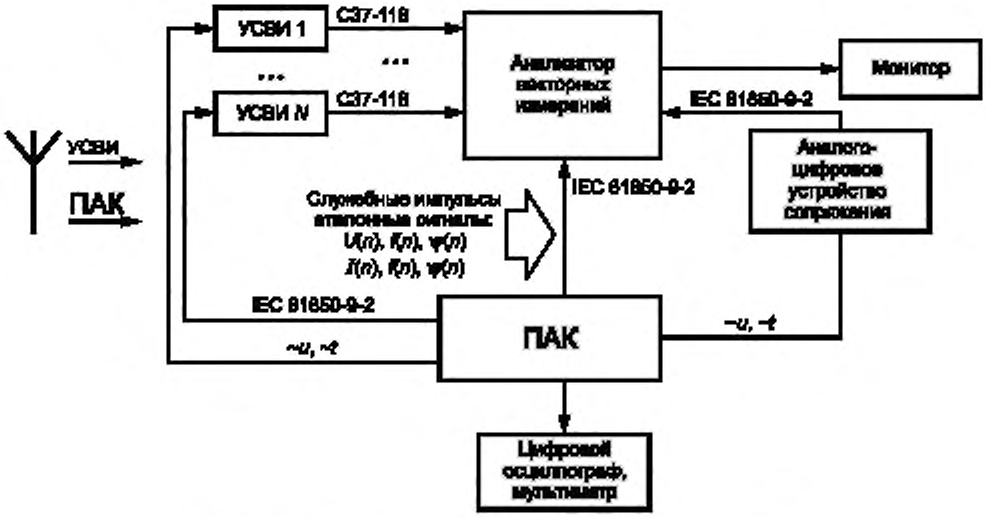


Рисунок Г.1 — Тестовая схема для проведения испытаний УСВИ

Г.3.2 Требования к тестовой схеме

Тестовая схема для проведения испытаний УСВИ должна включать:

- ПАК РВ;
- источник(и) точного времени;
- анализатор векторных измерений;
- аналого-цифровое устройство сопряжения, обеспечивающего преобразование аналоговых сигналов в цифровую форму в соответствии с требованиями стандарта [7];
- 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.

Г.3.3 Требования к источнику точного времени

Синхронизация УСВИ при проведении испытаний производится от приемника сигналов глобальных навигационных систем, предоставленного собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики.

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 ПАК РВ должна быть не хуже 1 мкс.

Примечание — 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 особое внимание уделяют 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.

Г.3.4 Требования к функциям анализатора векторных измерений

Анализатор векторных измерений должен выполнять:

- сбор измерений с УСВИ, ПАК 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;

- запись результатов измерений и расчетов в формате .csv;

- хранение собранной информации в базе данных СВИ в виде кольцевого архива;

- визуализацию заданных, измеренных и рассчитанных данных;

- создание установленной формы отчета.

Г.3.5 Требования к УСВИ

До начала проведения испытаний собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики 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 собственник или иной владелец объекта электроэнергетики.

Г.4 Проведение испытаний УСВИ

Г.4.1 Испытания УСВИ проводят в соответствии с программой испытаний, разработанной в соответствии с настоящим стандартом.

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

Г.4.3 Сценарии дополнительных тестов для получения характеристик УСВИ в условиях, приближенных к реальным процессам энергосистемы, приведены в 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 методикой испытаний, 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 собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики 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 настоящего стандарта должно устанавливаться путем сравнения параметров синхронизированных векторов, полученных в ходе проведения основных тестов, с соответствующими заданными 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:

Полная погрешность измерения вектора (TVE) — величина, характеризующая отклонение амплитуды и фазы измеренного вектора от их заданных значений и вычисляемая по формуле

$$\mathrm{TVE} = \sqrt{\frac{\left(\hat{x}_r - x_r\right)^2 + \left(\hat{x}_i - x_i\right)^2}{x_r^2 + x_i^2}} \cdot 100\ \%, \qquad (Г.1)$$

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

x_r — действительная часть заданного вектора;

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

x_i — мнимая часть заданного вектора.

Погрешность измерения частоты (FE) — абсолютная погрешность измерения частоты основной гармоники напряжения электрического тока в момент времени n, вычисляемая по формуле

$$\mathrm{FE} = |\hat{f}(n) - f(n)|, \qquad (Г.2)$$

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

$f(n)$ — заданное значение частоты в момент времени n.

Погрешность измерения скорости изменения частоты (RFE) — абсолютная погрешность скорости измерения частоты основной гармоники напряжения переменного тока в момент времени n, вычисляемая по формуле

$$\mathrm{RFE} = |\widehat{df(n)/dt} - df(n)/dt|, \qquad (Г.3)$$

где $\widehat{df(n)/dt}$ — измеренная в момент времени n скорость изменения частоты;

$df(n)/dt$ — заданное 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.

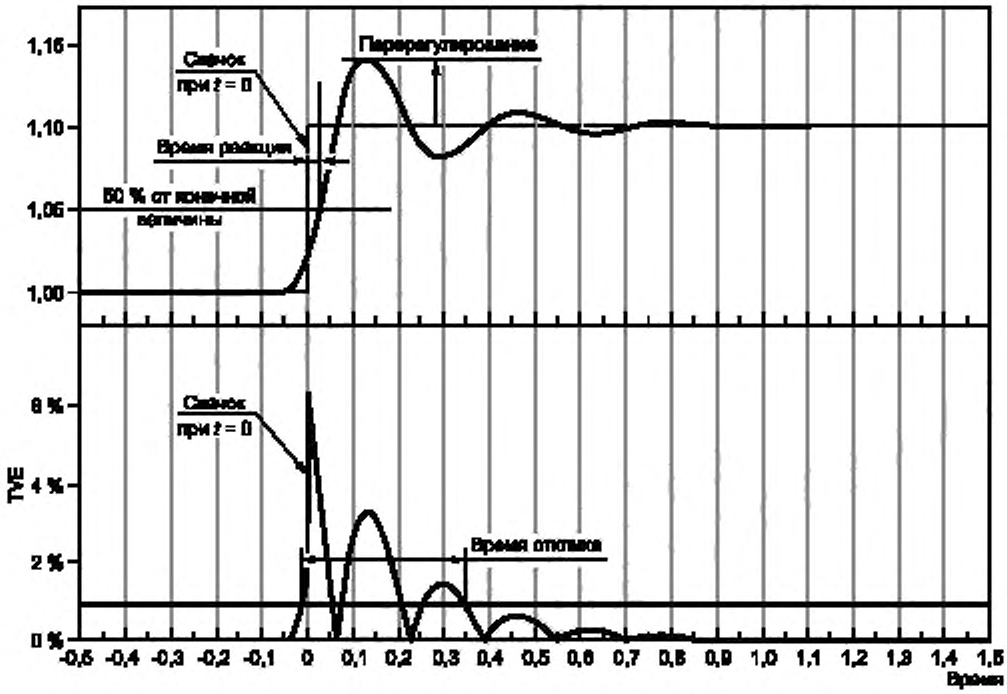


Рисунок Г.2 — Характеристики времени УСВИ, перерегулирование

Г.4.9 Критерием соответствия УСВИ требованиям настоящего стандарта является соответствие погрешностей и характеристик УСВИ во всех основных тестах требованиям настоящего стандарта для указанного собственником или иным законным владельцем объекта электроэнергетики класса УСВИ.

Г.5 Состав и порядок испытаний

Г.5.1 Описание правил проведения тестов

УСВИ (отдельные устройства измерения параметров системы возбуждения) следует проверять при темпе передачи данных 50 кадров/с.

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

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

Г.5.2 Правила определения погрешностей измерений УСВИ в статических условиях

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

- амплитуда и частота сигналов должны быть постоянными в течение теста;
- длительность каждой ступени теста должна быть не менее 5 с;
- в течение каждого теста следует выполнять измерения всех предусмотренных параметров и расчет их средних и максимальных значений, определено число выбросов и их максимальное значение;
- должны быть использованы следующие модели сигналов:

а) модель сигнала напряжения:

$$U(t) = U_m\cos(2\pi ft + \delta_U); \quad (Г.4)$$

б) модель сигнала тока:

$$I(t) = I_m\cos(2\pi ft + \delta_I); \quad (Г.5)$$

где U_m, I_m — амплитуда;

δ — фазовый угол;

f — частота входного сигнала.

Г.5.3 Правила проведения тестов УСВИ в динамических условиях

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

Определение погрешностей измерений УСВИ в динамических условиях выполняют 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.1.

Таблица Г.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	$x(t) = X_m[1 + k_x 1(t)]$	$1(t)$ — 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 выполняют определение погрешностей измерений УСВИ, а также характер изменения параметров сигналов определены в сценариях для каждого теста.

Г.5.4 Правила проведения тестов УСВИ (отдельных устройств) при определении погрешностей измерений параметров системы возбуждения синхронных генераторов

Г.5.4.1 Тестирование в статических условиях

В статических условиях параметры, определяющие величину постоянной составляющей напряжения возбуждения и тока возбуждения, остаются неизменными в процессе проведения каждого из экспериментов.

Длительность каждой ступени теста должна быть не менее 5 с.

В каждой ступени каждого теста должны быть определены:

- значения модуля мгновенных абсолютных погрешностей $\Delta X(t)$ измерения напряжения возбуждения $\Delta U(t)$ и/или тока возбуждения $\Delta I(t)$. Выражения для расчета модуля мгновенного значения абсолютной погрешности для времени t:

$$\Delta U(t) = |U_{f_{ист}}(t) - U_{f_{УСВИ}}(t)|, \quad (Г.6)$$

$$\Delta I(t) = |I_{f_{ист}}(t) - I_{f_{УСВИ}}(t)|; \quad (Г.7)$$

- среднее значение модуля абсолютной погрешности измерения $\Delta X_{сред}$ для напряжения возбуждения $\Delta U_{сред}$ и/или тока возбуждения $\Delta I_{сред}$ на интервале не менее чем 5 с. Среднее значение модуля абсолютной погрешности на интервале $[t_1; t_2)$:

$$N = \frac{t_2 - t_1}{f_s}, \quad (Г.8)$$

$$\Delta X_{сред} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\Delta X\left(t_1 + (i-1)\cdot\frac{1}{f_s}\right), \quad (Г.9)$$

где N — количество точек на интервале времени $[t_1; t_2)$, измеренное УСВИ при заданном f_s;

$\Delta X(t)$ — значение модуля мгновенной абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения или тока возбуждения для момента времени t;

f_s — темп передачи УСВИ (частота дискретизации сигнала $\Delta X(t)$);

- максимальные значения модуля абсолютной погрешности измерения ΔX_{max} для напряжения возбуждения ΔU_{max} и/или тока возбуждения ΔI_{max} на интервале не менее чем 5 с.

Г.5.4.2 Тестирование в динамических условиях

Динамическими условиями при тестировании УСВИ считают условия, в которых один или несколько параметров, описывающих сигналы $u_f(t)$ и/или $i_f(t)$, изменяются по заданному закону.

Методика испытаний УСВИ предусматривает проверку динамических характеристик УСВИ (отдельных модулей, выполняющих функцию измерения параметров системы возбуждения) в следующих тестах:

- ступенчатое изменение напряжения электропитания выпрямительного моста;
- ступенчатое изменение напряжения электропитания выпрямительного моста с последующим возвратом к исходному значению через заданное время («временное снижение» и «временное повышение» напряжения);
- ступенчатое изменение угла зажигания α;
- ступенчатое изменение угла зажигания α с последующим возвратом к исходному значению через заданное время («временное уменьшение» и «временное повышение» значения угла зажигания);
- модуляция угла зажигания α;
- модуляция напряжения электропитания выпрямительного моста;
- скачкообразное изменение тока возбуждения;
- скачкообразное изменение напряжения возбуждения.

Для каждой ступени тестов, связанных со ступенчатым изменением напряжения электропитания (угла зажигания), необходимо определить:

- значение времени реакции $T_{реакции}$ (определяют как интерполированное значение);
- значение перерегулирования σ, %:

$$\sigma = \frac{X_{max}^{УСВИ} - X_{уст}^{УСВИ}}{\left|X_{пред.}^{УСВИ} - X_{уст}^{УСВИ}\right|}\cdot 100\ \%\ \text{для положительной величины ступени;} \quad (Г.10)$$

$$\sigma = \frac{X_{min}^{УСВИ} - X_{уст}^{УСВИ}}{\left|X_{пред.}^{УСВИ} - X_{уст}^{УСВИ}\right|}\cdot 100\ \%\ \text{для отрицательной величины ступени,} \quad (Г.11)$$

где $X_{max}^{УСВИ}$ — максимальное значение измеренной УСВИ величины, зафиксированное в ходе переходного процесса при положительной величине ступени;

$X_{min}^{УСВИ}$ — минимальное значение измеренной УСВИ величины, зафиксированное в ходе переходного процесса при положительной величине ступени;

$X_{пред}^{УСВИ}$ — значение измеренной УСВИ величины перед переходным процессом;

$X_{уст}^{УСВИ}$ — значение измеренной УСВИ величины после переходного процесса;

- значение фактического времени отклика УСВИ $T_{откл}$ (определяют как интерполированное значение);
- значения модулей мгновенных абсолютных погрешностей измерения напряжения возбуждения и/или тока возбуждения;
- среднее значение модуля абсолютной погрешности на интервале времени ступени теста при исключении из расчета интервала времени $T_{откл_max}$.

$$T_{откл_max} = T_{откл}, \text{ если } T_{откл} < T_{класс_max}, \quad (Г.12)$$

$$T_{откл_max} = T_{класс_max}, \text{ если } T_{откл} \geq T_{класс_max}, \quad (Г.13)$$

где $T_{класс_max}$ — максимально допустимое время отклика для рассматриваемого класса УСВИ (см. приложение Б);

- максимальное значение модуля абсолютной погрешности на интервале времени ступени теста при исключении из расчета интервала времени $T_{откл_max}$.

Для каждой ступени тестов, включающих ступенчатое изменение напряжения электропитания выпрямительного моста угла зажигания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время, необходимо определить:

- параметры переходного процесса, характеризующие первое изменение изменяемой величины согласно перечню параметров переходного процесса при ступенчатых изменениях напряжения электропитания и угла зажигания;

- параметры переходного процесса, характеризующие второе изменение изменяемой величины согласно перечню параметров переходного процесса при ступенчатых изменениях напряжения электропитания и угла зажигания;

- среднее значение абсолютной погрешности на интервале времени, соответствующем длительности ступени теста, определяют при исключении из расчета двух интервалов времени отклика $T_{откл_max_1}$ и $T_{откл_max_2}$.

Для каждой ступени тестов, связанных с модуляцией угла зажигания (напряжения электропитания), скачкообразным изменением тока (напряжения) возбуждения, необходимо определить:

- значения модулей мгновенных абсолютных погрешностей $\Delta X(t)$ измерения напряжения возбуждения $\Delta U(t)$ и/или тока возбуждения $\Delta I(t)$;

- среднее значение модуля абсолютной погрешности измерения $\Delta X_{сред}$ для напряжения возбуждения $\Delta U_{сред}$ и/или тока возбуждения $\Delta I_{сред}$ на требуемом по условиям проведения эксперимента интервале;

- максимальные значения модуля абсолютной погрешности измерения ΔX_{max} для напряжения возбуждения ΔU_{max} и/или тока возбуждения ΔI_{max} на требуемом по условиям проведения эксперимента интервале.

Расчет среднего значения модуля абсолютной погрешности на интервалах времени $[t_1; t_2)$, $[t_3; t_4)$ выполняют по формулам

$$N = \frac{t_2 - t_1}{f_s}, \quad (Г.14)$$

$$M = \frac{t_3 - t_4}{f_s}, \quad (Г.15)$$

$$\Delta X_{сред} = \frac{1}{N+M}\left(\sum_{i=1}^{N}\Delta X\left(t_1 + (i-1)\cdot\frac{1}{f_s}\right) + \sum_{j=1}^{M}\Delta X\left(t_3 + (j-1)\cdot\frac{1}{f_s}\right)\right), \quad (Г.16)$$

где $\Delta X(t)$ — значение модуля мгновенной абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения или тока возбуждения для момента времени t;

f_s — темп передачи УСВИ (частота дискретизации сигнала $\Delta X(t)$).

Г.5.4.3 Базовые модели сигналов напряжения и тока возбуждения

Базовую модель сигнала напряжения возбуждения $u_f(t)$ описывают следующими выражениями:

$$
\begin{cases}
\varphi(t) = f \cdot 2\pi \cdot t_{пит.} - floor\left(t \cdot f_{пит.} \cdot 2\pi / 2\pi\right) \cdot 2\pi \\
\varphi_1(t) = \varphi(t) - \alpha(t) - \pi / 6 \\
u_{abc}(t,\gamma) = \dfrac{X^U_{ном}}{\sqrt{3}} \cdot A(t) \cdot \sin\left(\varphi(t) + \gamma\right) \\
u_a(t) = u_{abc}(t,0) \\
u_b(t) = u_{abc}\left(t, -\dfrac{2\pi}{3}\right) \\
u_c(t) = u_{abc}\left(t, -\dfrac{4\pi}{3}\right) \\
u_{ab}(t) = u_a(t) - u_b(t) \\
u_{bc}(t) = u_b(t) - u_c(t) \\
u_{ca}(t) = u_c(t) - u_a(t) \\
u_{abc}(t) = \left(u_a(t) + u_b(t)\right) \cdot 0{,}5 - u_c(t) \\
u_{bca}(t) = \left(u_b(t) + u_c(t)\right) \cdot 0{,}5 - u_a(t) \\
u_{cab}(t) = \left(u_c(t) + u_a(t)\right) \cdot 0{,}5 - u_b(t) \\
f1 = floor\left(\varphi_1(t) / (\pi / 3)\right) \cdot 2 \\
\varphi_d(t) = \varphi(t) - 0{,}5 \cdot f1 \cdot \pi / 3 \\
f2 = -1, \text{ если } 0 \le \varphi_d(t) < \mu \\
nomer = f1 + f2 + 1 \\
nomer = nomer + 12, \text{ если } nomer < 1 \\
nomer = nomer - 12, \text{ если } nomer > 12 \\
u_f(t,\alpha,\mu) = \begin{cases}
u_{ab}(t) & \text{для } nomer = 1 \\
-u_{bca}(t) & \text{для } nomer = 2 \\
-u_{ca}(t) & \text{для } nomer = 3 \\
u_{abc}(t) & \text{для } nomer = 4 \\
u_{bc}(t) & \text{для } nomer = 5 \\
-u_{cab}(t) & \text{для } nomer = 6 \\
-u_{ab}(t) & \text{для } nomer = 7 \\
u_{bca}(t) & \text{для } nomer = 8 \\
u_{ca}(t) & \text{для } nomer = 9 \\
-u_{abc}(t) & \text{для } nomer = 10 \\
-u_{bc}(t) & \text{для } nomer = 11 \\
u_{cab}(t) & \text{для } nomer = 12
\end{cases}
\end{cases}
\qquad (17)
$$

где t — время, с;

$f_{пит.}$ — напряжение электропитания системы возбуждения (далее — напряжение электропитания), Гц;

$\alpha(t)$ — функция изменения угла зажигания тиристоров системы возбуждения (далее — угол зажигания), радианы;

μ — значение угла коммутации выпрямителя системы возбуждения (далее — угол коммутации), радианы;

$A(t)$ — функция изменения амплитуды напряжения электропитания (далее — амплитуда напряжения электропитания), о.е.;

$X^U_{ном}$ = 100 В — номинальное действующее значение линейного напряжения электропитания системы возбуждения, В;

$u_f(t, \alpha, \mu)$ — функция напряжения возбуждения системы возбуждения (далее — напряжение возбуждения), В.

Точность задания угла зажигания, угла коммутации должна быть не хуже, чем 0,1° на частоте 50 Гц.

Среднее значение для напряжения возбуждения при постоянстве α и μ, линейном напряжении электропитания $U^U(t) = X^U_{ном} \cdot A(t)$, заданного по формуле (Г.17), вычисляют по формуле

$$U_t(\alpha,\mu,t) = \frac{3}{\pi}\sqrt{2}\cdot U^U(t)\cdot\frac{\left(\cos\alpha+\cos(\alpha+\mu)\right)}{2}. \quad (Г.18)$$

Примечание — Значения α, μ в формулу (Г.18) подставляют в радианах.

Базовую модель сигнала тока возбуждения $i_f(t)$ описывают следующим выражением:

$$i_f(t) = I_{fном} \cdot I(t), \quad (Г.19)$$

где $I_f(t)$ — функция, описывающая характер изменения тока возбуждения, требуемая в эксперименте, о.е.

Расчет среднего значения модуля абсолютной погрешности на интервалах времени $[t_1; t_2)$, $[t_3; t_4)$, $[t_5; t_6)$ выполняют по формулам

$$N = \frac{t_2 - t_1}{f_s}, \quad (Г.20)$$

$$M = \frac{t_3 - t_4}{f_s}, \quad (Г.21)$$

$$P = \frac{t_5 - t_6}{f_s}, \quad (Г.22)$$

где f_s — темп передачи УСВИ (частота дискретизации сигнала $\Delta X(t)$);

$\Delta X(t)$ — значение модуля мгновенной абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения или тока возбуждения для момента времени t.

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:

1) амплитуда напряжения $U = U_{ном} = 100/\sqrt{3}$ В;

2) амплитуда тока $I = I_{ном} = 1$ А;

3) δ = const, f = const;

б) диапазон изменения частоты:

1) для УСВИ класса М — от 45 до 55 Гц;

2) для УСВИ класса Р — от 46 до 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.2;

Таблица Г.2 — Погрешности измерений УСВИ при различных значениях частоты

Значение частоты, Гц	Погрешности измерений УСВИ $\langle U_1(t_1)\rangle$									
	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:

1) для класса М: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,001 Гц, RFE ≤ 0,1 Гц, $\Delta\delta \le 0{,}1°$;

2) для класса Р: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, RFE ≤ 0,4 Гц, $\Delta\delta \le 0{,}1°$.

Г.6.1.2 Сценарий тестирования УСВИ при различных значениях амплитуды

Условия проведения теста:

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

$U_{ном} = 100/\sqrt{3}$ В, $I_{ном} = 1$ А, δ = const, $f_{ном} = 50$ Гц;

б) диапазон изменения амплитуды напряжения:

1) для УСВИ класса М — $(0{,}1 \ldots 1{,}2)U_{ном}$,

2) для УСВИ класса Р — $(0{,}5 \ldots 14)U_{ном}$,

3) диапазон изменения амплитуды тока — (0,1 … 2)$I_{ном}$),

4) 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.3;

Таблица Г.3 — Погрешности измерений УСВИ при различных значениях амплитуды сигнала

Значение амплитуды сигнала X_m	Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))									
	погрешность по модулю, %		Δδ		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:

1) для класса М: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,001 Гц, RFE ≤ 0,1 Гц, Δδ ≤ 0,1°;

2) для класса Р: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, RFE ≤ 0,4 Гц, Δδ ≤ 0,1°.

Г.6.1.3 Сценарий тестирования УСВИ при различных значениях фазового угла

Условия проведения теста:

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

1) амплитуда напряжения $U = U_{ном} = 100/\sqrt{3}$ В, амплитуда тока $I = I_{ном} = 1$ А,

2) $f_{ном} = 50$ Гц;

б) диапазон изменения фазового угла напряжения δU и тока δI: [–π … +π] рад;

в) правила вариации параметра: значения фазового угла устанавливают 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.4;

Таблица Г.4 — Погрешности измерений УСВИ при различных значениях фазового угла

Вариация δ, рад	Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))									
	погрешность по модулю, %		Δδ		TVE, %		FE, Гц		RFE, Гц/с	
	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
$\delta_U(\delta_I)$	–2π/3									
	–π/2									
	–π/6									
	0									
	π/6									
	π/2									
	2π/3									
	π									

д) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

1) для класса М: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,001 Гц, RFE ≤ 0,1 Гц, Δδ ≤ 0,1°;

2) для класса Р: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, RFE ≤ 0,4 Гц, Δδ ≤ 0,1°.

Г.6.1.4 Сценарий тестирования УСВИ при гармоническом искажении сигнала, $x_{test}(t) = x(t) + x_g(t)$

Условия проведения теста:

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

в котором X_m:

1) амплитуда напряжения $U = U_{ном} = 100/\sqrt{3}$ В; амплитуда тока $I = I_{ном} = 1$ А;

2) $f_{ном} = 50$ Гц, δ = const.

Добавить гармоническую составляющую (единичная гармоника) $x_g(t) = X_{gm}\cos(2\pi n f_{ном} t + \delta_g)$, где X_{gm} — амплитуда, $nf_{ном}$ — частота, n — целое число, δ_g — фазовый угол;

б) правила вариации параметра: параметры гармонической составляющей изменяют в соответствии с таблицей Г.5, шаг изменения n = 1, длительность ступени — 5 с;

в) принцип проведения теста: для каждого набора параметров гармонической составляющей рассчитать погрешности измерений УСВИ, заполнить таблицу Г.5;

Таблица Г.5 — Погрешности измерений УСВИ при гармоническом искажении сигнала

Вариация $x_g(t) = X_{gm}\cos(2\pi\, nf_{ном} t + \delta_g)$			Погрешности измерений УСВИ (U_1 (f_1))							
	погрешность по модулю, %		Δδ		TVE, %		FE, Гц		RFE, Гц/с	
X_{gm}, В	δ_g, рад	N	макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
класс М: $-0{,}1U_{ном}$ ($U_{вн}$ < 110 кВ); $-0{,}02U_{ном}$ ($U_{вн}$ ≥ 110 кВ) класс Р: $0{,}01U_{ном}$	0	2								
		...								
		50								
	π/2	2								
		...								
		50								

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

1) для класса М:

- при $F_s \geq 25$: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,025 Гц, RFE не нормируется;
- при $F_s \leq 10$: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, RFE не нормируется;

2) для класса Р: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,005 Гц, RFE ≤ 0,4 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 (проводят только для УСВИ класса М):

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

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

2) $f_{ном}$ = 50 Гц; δ = const;

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

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

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

2) 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;

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

б) правила вариации параметра: параметры интергармонического колебания изменяются в соответствии с таблицей Г.6, 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;

Таблица Г.6 — 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 (f_1))							
F, Гц	f_{in}, Гц	погрешность по модулю, %		Δδ		TVE, %		FE, Гц	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
1) $f_{ном} - 0{,}1(F_s/2)$ 2) $f_{ном}$ 3) $f_{ном} + 0{,}1(F_s/2)$	10...f_{max}								
	f_{min}...$2f_{ном}$								

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

1) для класса М: TVE ≤ 1,3 %, FE ≤ 0,01 Гц, RFE не нормируется;

2) для класса Р: погрешности не нормируются.

Г.6.1.6 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) в тестах с различными значениями угла зажигания и угла коммутации

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигнал $u_f(t, \alpha, \mu)$, для которого:

$A(t)$ = const ∈ {1.0} о.е.,

$f_{пит.}(t)$ = const ∈ {50; 150; 300} Гц,

$\alpha(t)$ = const ∈ {0; 30; 60; 90; 120; 150}°,

μ = const ∈ {0; 30; 60}°;

б) для каждой комбинации значений $f_{пит.}$, α, μ определить заданное среднее значение моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$;

в) после изменения любого из параметров $f_{пит.}$, α, μ для выполнения последующих измерений необходима пауза длительностью не менее 5 с;

г) заполнить таблицу Г.7.

Таблица Г.7 — Результаты тестирования при различных значениях угла зажигания и угла коммутации

$f_{пит.}$, Гц	α	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f					
		ΔU_{max}, В			$\Delta U_{сред}$, В		
		μ			μ		
		0°	30°	60°	0°	30°	60°
50	0°						
	30°						
	60°						
	90°						
	120°						
	150°						
150	0°						
	30°						
	60°						
	90°						
	120°						
	150°						
300	0°						
	30°						
	60°						
	90°						
	120°						
	150°						

Критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.5.

Г.6.1.7 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при различных значениях тока возбуждения

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигнал $i_f(t)$, описанный в Г.5.4.3, для которого:

$$I(t) = k_I,$$

$$k_I = \text{const} \in \{0{,}1;\ 0{,}25;\ 0{,}5;\ 0{,}75;\ 1{,}0;\ 1{,}25;\ 1{,}5;\ 1{,}75;\ 2{,}0;\ 2{,}25;\ 2{,}5;\ 3;\ 4\} \text{ о.е.}$$

где k_I — коэффициент кратности тока возбуждения, о.е.;

б) после изменения k_I для выполнения последующих измерений необходима пауза длительностью не менее 5 с;

в) заполнить таблицу Г.8 с учетом диапазона измерений тока, минимально допустимый диапазон — от 0,1 до 2,5 о.е.;

Таблица Г.8 — Результаты тестирования при различных значениях тока возбуждения

k_I, о.е.	Модуль абсолютной погрешности измерения тока возбуждения I_f	
	ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А
0,10		
0,25		
0,50		
0,75		
1,00		
1,25		
1,50		
1,75		
2,00		
2,25		
2,50		
3,00		
4,00		

г) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.5.

Г.6.1.8 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при различных значениях частоты напряжения электропитания моста

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигнал $u_f(t, \alpha, \mu)$, для которого:

$A(t) = \text{const} \in \{1.0\}$ о.е.,

$f_{пит}(t) = \text{const} \in \{45; 46; 47; 48; 49; 50; 51; 52; 53; 54; 55; 135; 138; 141; 144; 147; 150; 153; 156; 159; 162; 165; 270; 276; 282; 288; 294; 300; 306; 312; 318; 324; 330\}$ Гц,

$\alpha(t) = \text{const} \in \{60\}^*$,

$\mu = \text{const} \in \{15\}^*$;

б) определить заданное среднее значение моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$ для α; μ;

в) после изменения параметра $f_{пит}$ для выполнения последующих измерений необходима пауза длительностью не менее 5 с;

г) заполнить таблицу Г.9.

Таблица Г.9 — Результаты тестирования при различных значениях частоты напряжения электропитания моста

$f_{пит}$, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		

Окончание таблицы Г.9

$f_{гист.}$, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
135		
138		
141		
144		
147		
150		
153		
156		
159		
162		
165		
270		
276		
282		
288		
294		
300		
306		
312		
318		
324		
330		

д) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.5.

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:

$$x(t) = X_m[1 + k_x \cos(2\ \pi f_m t)] \cos [2\pi f_{ном} t + \delta + k_a \cos(2\pi f_m t - \pi)],$$

в котором:

1) k_x — коэффициент модуляции амплитуды; k_a — коэффициент модуляции фазы;

2) f_m — частота модуляции; $f_{ном}$ — номинальная частота, равная 50 Гц; δ = const;

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

4) 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 $0{,}1 \le f_m \le 5$ Гц (для класса М) и $0{,}1 \le f_m < 2$ Гц (для класса Р) в соответствии с таблицей Г.10. Длительность ступени — не менее 2 периодов модуляции;

в) принцип проведения теста: для каждого значения частоты модуляции определить погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.10;

Таблица Г.10 — Погрешности измерений УСВИ при модуляции амплитуды

Вариация ($0,1 \le f_m \le 5$) Гц	Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))									
	Погрешность по модулю, %		Δδ		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(M, P)									
	0,3 (M, P)..1,9 (M, P) с шагом 0,2									
	2,5 (M)..5 (M) с шагом 0,5									

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

1) для класса M:

- при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,3 Гц, RFE ≤ 14 Гц/с;
- при $F_s \le 10$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,12 Гц, RFE ≤ 2,3 Гц/с;

2) для класса P:

- при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,06 Гц, RFE ≤ 2,3 Гц/с;
- при $F_s \le 10$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,03 Гц, RFE ≤ 0,6 Гц/с.

Г.6.2.2 Сценарий тестирования УСВИ при модуляции фазы

Условия проведения теста:

а) задать сигнал:

$x(t) = X_m[1 + k_x \cos(2\pi f_{ном} t)] \cos[2\pi f_{ном} t + \delta + k_a \cos(2\pi f_m t - \pi)]$, в котором:

1) k_x — коэффициент модуляции амплитуды;
2) k_a — коэффициент модуляции фазы;
3) f_m — частота модуляции;
4) $f_{ном}$ — номинальная частота, равная 50 Гц;
5) δ = const.
6) X_m: $U_{ном} = 100/\sqrt{3}$ В; $I_{ном} = 1$ А.

В данном тесте $k_x = 0$, $k_a = 0,1$, то есть

$x(t) = X_m \cos[2\pi f_{ном} t + \delta + 0,1 \cos(2\pi f_m t - \pi)]$;

б) правила вариации параметра: частота модуляции изменяется в диапазоне $0,1 \le f_m \le 5$ Гц (для класса M) и $0,1 \le f_m < 2$ Гц (для класса P) с шагом 0,2 Гц и 0,5 Гц (таблица Г.11). Длительность ступени — не менее 2 периодов модуляции;

в) принцип проведения теста: для каждого значения частоты модуляции определить погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.11;

Таблица Г.11 — Погрешности измерений УСВИ при модуляции фазового угла

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

г) критерии проверки соответствия погрешностей измерений УСВИ:

1) для класса M:

- при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,3 Гц, RFE ≤ 14 Гц/с;
- при $F_s \le 10$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,12 Гц, RFE ≤ 2,3 Гц/с.

2) для класса P:

- при $F_s \ge 25$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,06 Гц, RFE ≤ 2,3 Гц/с;
- при $F_s \le 10$: TVE ≤ 3 %, FE ≤ 0,03 Гц, RFE ≤ 0,6 Гц/с.

Г.6.2.3 Сценарий тестирования УСВИ при линейном изменении частоты

Условия проведения теста:

а) задать сигнал $x(t) = X_m \cos(2\pi f_{ном} t + \pi df/dt^2 + \delta)$, в котором:

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

2) δ = const, $f_{ном}$ — номинальная частота, равная 50 Гц, df/dt = 1 Гц/с;

б) правила вариации параметра: частота изменяется в диапазоне $45 \le f \le 55$ Гц (для класса М) и $46 \le f \le 52$ 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, на котором погрешности не рассчитывают, определить погрешности УСВИ и заполнить таблицу Г.12;

Таблица Г.12 — 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, %		Δδ		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:

1) для класса М: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,01 Гц, RFE ≤ 0,2 Гц/с;

2) для класса Р: TVE ≤ 1 %, FE ≤ 0,01 Гц, RFE ≤ 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:

1) $\mathbf{1}(t)$ — единичный скачок;

2) k_x — весовой коэффициент скачка амплитуды;

3) k_a — весовой коэффициент скачка фазы, k_a = 0;

4) 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.13. В таблице Г.13 указывают 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.13 — 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		$T_{реакции}$, 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.

Г.6.2.5 Сценарий тестирования УСВИ при скачкообразном изменении фазового угла

Условия проведения теста:

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

1) $\mathbf{1}(t)$ — единичный скачок;

2) в котором X_m: $U_{ном} = 100/\sqrt{3}$ В; $I_{ном} = 1$ А;

3) k_x — весовой коэффициент скачка амплитуды, $k_x = 0$;

4) k_a — весовой коэффициент скачка фазы;

5) $f_{ном}$ — номинальная частота, равная 50 Гц;

б) принцип проведения теста: для каждого значения k_a определить характеристики и погрешности УСВИ, заполнить таблицу Г.14. В таблице приводят 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.14 — Результаты тестирования УСВИ при скачкообразном изменении фазового угла

Вариация k_a	Погрешности измерений $\langle U_1 \langle I_1 \rangle \rangle$ и характеристики УСВИ									
	TVE, %		FE, Гц		RFE, мГц/с		$T_{реакции}$, 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.

Г.6.2.6 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при скачкообразном изменении напряжения электропитания

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигналы $u_f(t, \alpha, \mu)$ и $i_f(t)$, для которых:

$A(t) = (A_0 + k_{x_U} \cdot 1(t)$ о.е,

$f_{пит.}(t) = \text{const} \in \{50\}$ Гц,

$\alpha(t) = \text{const} \in \{60\}^*$,

$\mu = \text{const} \in \{15\}^*$

$I(t) = (A_0 + k_{x_I} \cdot 1(t))$,

$A_0 = \text{const} \in \{1.0; 0.5\}$ о.е.

$$k_{xU}, k_{xI} = \text{const} \in \begin{Bmatrix} -0,9;\ -0,7;\ -0,5;\ -0,3;\ -0,1 & \text{для } A_0 = 1,0 \\ 0,2;\ 0,4;\ 0,6;\ 0,8 & \text{для } A_0 = 0,5 \end{Bmatrix} \text{о.е.}$$

где k_{x_U} — величина скачкообразного изменения напряжения электропитания;

k_{x_I} — величина скачкообразного изменения тока возбуждения;

A_0 — начальное значение напряжения возбуждения/тока возбуждения.

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$, изменение напряжения возбуждения принять мгновенным;

в) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого тока возбуждения $I(t)$, изменение тока возбуждения принять мгновенным;

г) длительность одной ступени эксперимента — 4 с, интервал времени перед ступенчатым изменением для расчета средних/максимальных значений абсолютных погрешностей 2 с;

д) каждая ступень повторяется 3 раза, в качестве результата эксперимента приводят максимальные значения для каждого из параметров переходного процесса;

е) заполнить таблицу Г.15.

Таблица Г.15 — Результаты тестирования при скачкообразном изменении напряжения электропитания

A_0, о.е.	k_{x_U}, о.е.	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для напряжения возбуждения U_f			
		ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В	$T_{реакции}$, с	σ, %
1,0	–0,9				
	–0,7				
	–0,5				

Окончание таблицы Г.15

A_0, о.е.	k_{x_U}, о.е.	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для напряжения возбуждения U_f			
		ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В	$T_{реакции}$, с	σ, %
1,0	–0,3				
	–0,1				
0,5	+0,2				
	+0,4				
	+0,6				
	+0,8				
A_0, о.е.	k_{x_I}, о.е.	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для тока возбуждения i_f			
		ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А	$T_{реакции}$, с	σ, %
1,0	–0,9				
	–0,7				
	–0,5				
	–0,3				
	–0,1				
0,5	+0,2				
	+0,4				
	+0,6				
	+0,8				

ж) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.7 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при скачкообразном изменении напряжения электропитания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигналы $u_f(t, \alpha, \mu)$ и $i_f(t)$, для которых:

$A(t) = (A_0 + k_{x_U} \cdot \Pi(t))$ о.е.,

$f_{пит.(t)} = \text{const} = \{50\}$ Гц,

$\alpha(t) = \text{const} = \{60\}°$,

$\mu = \text{const} \in \{15\}°$

$I(t) = (A_0 + k_{x_I} \cdot \Pi(t))$,

$$\Pi(t) = \begin{cases} 0 & \text{для } t < 0 \\ 1 & \text{для } 0 \le t \le \Delta T, \\ 0 & \text{для } t > \Delta T \end{cases}$$

$\Delta T \in \{0.04; 0.05; 0.1; 0.2\}$,

$k_{x_U}, k_{x_I} = \text{const} \in \{-0.8; -0.6; -0,4; -0.2\}$ о.е.,

где k_{x_U} — амплитуда импульса изменения напряжения электропитания;

k_{x_I} — амплитуда импульса изменения тока возбуждения;

A_0 — начальное значение напряжения возбуждения/тока возбуждения (1,0 о.е.);

ΔT — ширина импульса напряжения электропитания/тока возбуждения;

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$, изменение напряжения возбуждения принять мгновенным;

в) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого тока возбуждения $I(t)$, изменение тока возбуждения принять мгновенным;

г) длительность одной ступени — 4 с, интервал времени перед ступенчатым изменением для расчета средних/максимальных значений абсолютных погрешностей — 2 с;

д) каждая ступень повторяется 3 раза, в качестве результата приводят максимальные значения для каждого из параметров переходного процесса;

е) заполнить таблицу Г.16.

Т а б л и ц а Г.16 — Результаты тестирования при скачкообразном изменении напряжения электропитания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время

ΔT, с	k_{x_U}, о.е.	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для напряжения возбуждения U_f					
		ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В	$T_{реакции_1}$, с	σ_1, %	$T_{реакции_2}$, с	σ_2, %
0,04	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
0,05	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
0,10	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
0,20	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
ΔT, с	k_{x_I}, о.е.	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для тока возбуждения I_f					
		ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А	$T_{реакции_1}$, с	σ_1, %	$T_{реакции_2}$, с	σ_2, %
0,04	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
0,05	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
0,10	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						
0,20	–0,8						
	–0,6						
	–0,4						
	–0,2						

ж) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.8 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при скачкообразном изменении угла зажигания

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигнал $u_f(t, \alpha, \mu)$, для которого:

$A(t) = \text{const} \in \{1,0\}$ о.е.,

$f_{пит.}(t) = \text{const} \in \{50\}$ Гц,

$\alpha(t) = (A_0 + k_{x_\alpha} \cdot 1(t))°$,

$\mu = \text{const} \in \{15\}°$,

$k_{x_\alpha} = \text{const} \in \{-60; -45; -30; -15; 15; 30; 45; 60; 75; 90\}°$,

где k_{x_α} — величина скачкообразного изменения угла зажигания;

A_0 — начальное значение угла зажигания (60°);

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$, изменение напряжения возбуждения принять мгновенным;

в) длительность одной ступени — 4 с, интервал времени перед ступенчатым изменением для расчета средних/максимальных значений абсолютных погрешностей — 2 с;

г) каждая ступень повторяется 3 раза, в качестве результата эксперимента приводят максимальные значения для каждого из параметров переходного процесса;

д) заполнить таблицу Г.17.

Таблица Г.17 — Результаты тестирования при скачкообразном изменении угла зажигания

k_{x_α}	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для напряжения возбуждения U_f			
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В	$T_{реакции}$, с	σ,%
–60°				
–45°				
–30°				
–15°				
+15°				
+30°				
+45°				
+60°				
+75°				
+90°				

е) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.9 Сценарий тестирования при скачкообразном изменении угла зажигания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигнал $u_f(t, \alpha, \mu)$, для которого:

$A(t) = \text{const} \in \{1,0\}$ о.е.,

$f_{пит.}(t) = \text{const} \in \{50\}$ Гц,

$\alpha(t) = (A_0 + k_{x_\alpha} \cdot \Pi(t))°$,

$\mu = \text{const} \in \{15\}°$,

$$\Pi(t) = \begin{cases} 0 & \text{для } t < 0 \\ 1 & \text{для } 0 \le t \le \Delta T \\ 0 & \text{для } t > \Delta T \end{cases},$$

$\Delta T \in \{0,04; 0,05; 0,1; 0,2\}$,

$k_{x_\alpha} = \text{const} \in \{-60; -30; 30; 60; 90\}°$,

где k_{x_α} — амплитуда импульса изменения угла зажигания;

A_0 — начальное значение угла зажигания (60°);

ΔT — ширина импульса изменения угла зажигания;

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$, изменение напряжения возбуждения принять мгновенным;

в) длительность одной ступени — 4 с, интервал времени перед ступенчатым изменением для расчета средних/максимальных значений абсолютных погрешностей — 2 с;

г) каждая ступень повторяется 3 раза, в качестве результата эксперимента приводят максимальные значения для каждого из параметров переходного процесса;

д) заполнить таблицу Г.18.

Таблица Г.18 — Результаты тестирования при скачкообразном изменении угла зажигания с последующим возвратом к исходному значению через заданное время

k_{x_α}	Погрешности измерений и параметры переходного процесса для напряжения возбуждения U_f					
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В	$T_{реакции_1}$, с	σ_1, %	$T_{реакции_2}$, с	σ_2, %
–60°						
–30°						
+30°						
+60°						
+90°						

е) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.10 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при модуляции угла зажигания

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигналы $u_f(t, \alpha, \mu)$ и $i_f(t)$, для которых:

$A(t) = \text{const} \in \{1,0\}$ о.е.,

$f_{пит.}(t) = \text{const} \in \{50; 150; 300\}$ Гц,

$\alpha(t) = (A_0 + k_{x_\alpha} \cdot \sin(2\pi \cdot f_m \cdot t))°$,

$\mu = \text{const} \in \{0\}°$,

$f_m = \text{const} \in \{0,5; 1; 2; 5; 10; 15; 20\}$ Гц,

где k_{x_α} — амплитуда модуляции угла зажигания (30°);

A_0 — начальное значение угла зажигания (30°);

f_m — частота модуляции угла зажигания;

б) определить сигнал, соответствующий среднему значению напряжения возбуждения, вычисленному на периоде частоты напряжения электропитания;

в) длительность одной ступени эксперимента — не менее двух периодов модуляции;

г) заполнить таблицу Г.19.

Таблица Г.19 — Результаты тестирования при модуляции угла зажигания

Частота напряжения электропитания 50 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		

Окончание таблицы Г.19

Частота напряжения электропитания 150 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		
Частота напряжения электропитания 300 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		

д) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.11 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при модуляции напряжения электропитания

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигналы $u_f(t, \alpha, \mu)$ и $i_f(t)$, для которых:

$A(t) = (A_0 + k_{x_U} \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t))$ о.е.,

$f_{пит.}(t) = \text{const} = \{50; 150; 300\}$ Гц,

$\alpha(t) = \text{const} = \{60\}^{\circ}$,

$\mu = \{15\}^{\circ}$

$I(t) = (A_0 + k_{x_I} \cdot \cos(2\pi \cdot f_m \cdot t))$ о.е.,

$f_m = \text{const} \in \{0,5; 1; 2; 5; 10; 15; 20\}$ Гц,

где k_{x_U} — амплитуда модуляции напряжения электропитания (0,2 о.е.);

k_{x_I} — амплитуда модуляции тока возбуждения (0,2 о.е.);

A_0 — начальное значение напряжения электропитания (1,0);

f_m — частота модуляции напряжения электропитания;

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$ с учетом ослабления амплитуды колебательной составляющей k_{x_I} на коэффициент $k_f(f_m)$, изменение напряжения возбуждения принять мгновенным:

$$k_f(f_m) = \left| \frac{1 - e^{-2 \pi f_m \cdot j \cdot 0,02c}}{2 \cdot \pi \cdot f_m \cdot j \cdot 0,02c} \right|; \qquad (Г.23)$$

в) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого тока возбуждения $I(t)$ с учетом ослабления амплитуды колебательной составляющей k_{x_I} на коэффициент $k_f(f_m)$, изменение тока возбуждения принять мгновенным;

г) длительность одной ступени эксперимента — не менее двух периодов модуляции;

д) заполнить таблицу Г.20.

Таблица Г.20 — Результаты тестирования при модуляции напряжения электропитания

Частота напряжения электропитания 50 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения тока возбуждения I_f	
	ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		
Частота напряжения электропитания 150 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения тока возбуждения I_f	
	ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		

Окончание таблицы Г.20

Частота напряжения электропитания 300 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
10,0		
15,0		
20,0		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения тока возбуждения I_f	
	ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А
0,5		
1,0		
2,0		
5,0		
Частота напряжения электропитания 50 Гц		
f_m, Гц	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
10,0		
15,0		
20,0		

е) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.12 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при имитации короткого замыкания

Условия проведения теста (проводят только для проверки точности измерения параметров системы возбуждения синхронных генераторов):

а) задать сигнал $i_f(t)$, для которого:

$$I_f(t) = \left(1 + I_0 + I_1 \cdot \cos\left(2\pi \cdot f_1 \cdot t\right) \cdot e^{-\frac{t}{T_1}} + I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}\right),$$

I_0 = const ∈ {0,5; 1,0; 1,5} о.е.,

I_1 = const ∈ {0,5} о.е.,

I_2 = const ∈ {0,5} о.е.,

T_1 = const ∈ {0,5; 0,25} с,

T_2 = const ∈ {0,5; 0,25} с,

где I_0 — разница между исходным значением тока возбуждения и током возбуждения установившегося короткого замыкания;

I_1 — амплитуда колебательной (наведенной) составляющей тока возбуждения;

f_1 — частота колебательной (наведенной) составляющей тока возбуждения (100 Гц);

T_1 — постоянная времени затухания колебательной (наведенной) составляющей тока возбуждения;

I_2 — значение апериодически затухающей составляющей тока возбуждения для начального момента времени;

T_2 — постоянная времени затухания апериодически затухающей составляющей тока возбуждения;

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого тока возбуждения $I(t)$, изменение тока возбуждения принять мгновенным:

$$I(t) = \left(1 + I_0 + I_2 \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}\right); \quad (Г.24)$$

в) длительность одной ступени эксперимента — 5 с;

г) заполнить таблицу Г.21 для значений I_0, при которых кривая $I_f(t)$ полностью соответствует диапазону измерений УСВИ (с учетом колебательной амплитуды составляющей);

Таблица Г.21 — Результаты тестирования при модуляции напряжения электропитания

I_0, о.е.	T_1, с	T_2, с	Модуль абсолютной погрешности измерения тока возбуждения I_f	
			ΔI_{max}, А	$\Delta I_{сред}$, А
0,5	0,50	0,25		
	0,25	0,50		
1,0	0,50	0,25		
	0,25	0,50		
1,5	0,50	0,25		
	0,25	0,50		

д) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

Г.6.2.13 Сценарий тестирования УСВИ (отдельного устройства измерения параметров системы возбуждения генераторов) при линейном изменении частоты электропитания

а) задать сигналы $u_f(t, \alpha, \mu)$ и $i_f(t)$, для которых:

$\varphi(t) = 2\pi \cdot f_{start} \cdot t + \pi \cdot k_f \cdot t^2$ Гц,

$\alpha(t) = \text{const} = \{60\}°$,

$\mu = \{15\}°$,

$f_{start} \in \{45; 55\}$ Гц

$f_{stop} \in \{55; 45\}$ Гц

$k_f \in \{1; 2; 4; 8; -1; -2; -4; -8\}$ Гц/с

$$\min\left(\frac{d(\varphi(t))}{dt} \cdot \frac{1}{2\pi}\right) = \begin{cases} f_{start} \text{ для } k_f > 0 \\ f_{stop} \text{ для } k_f < 0 \end{cases},$$

$$\max\left(\frac{d(\varphi(t))}{dt} \cdot \frac{1}{2\pi}\right) = \begin{cases} f_{stop} \text{ для } k_f > 0 \\ f_{start} \text{ для } k_f < 0 \end{cases},$$

где k_f — скорость изменения частоты напряжения электропитания;

f_{start} — начальное значение частоты напряжения электропитания;

f_{stop} — конечное значение частоты напряжения электропитания;

б) определить сигнал, соответствующий заданному среднему значению моделируемого сигнала $u_f(t, \alpha, \mu)$;

в) заполнить таблицу Г.22.

Таблица Г.22 — Результаты тестирования при модуляции напряжения электропитания

k_f, Гц/с	Модуль абсолютной погрешности измерения напряжения возбуждения U_f	
	ΔU_{max}, В	$\Delta U_{сред}$, В
1		
2		
4		
8		
–1		
–2		
–4		
–8		

г) критерии проверки погрешностей измерений параметров системы возбуждения — в соответствии с таблицей Б.6.

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 необходимо выполнить тесты в соответствии с 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 следует использовать такие числовые характеристики, как 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:

$$x(t) = X_m \cos(2\pi ft + \delta + n_\delta(t)) + n_{u(i)}(t), \quad (Г.25)$$

где $n_\delta(t)$, $n_U(t)$, $n_I(t)$ — уровни шума.

При проведении тестов с добавлением шума следует использовать следующую модель шума:

$$n(t) = n_0(t) + n_n(t), \quad (Г.26)$$

где $n_0(t)$ — тренд, математическое ожидание шума;

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

Модель шума фазы должна иметь вид:

$$n_0(t) = \Delta\delta\sin(2\pi\Omega_\delta t), \quad (Г.27)$$

где $\Delta\delta = 0{,}05$ рад — амплитуда колебания фазового угла;

$\Omega_\delta = 0{,}0025$ Гц — частота колебания частоты;

$$n_\delta(t) = \sigma_\delta n_\delta(t), \quad (Г.28)$$

где $\sigma_\delta = 0{,}01$ рад — среднеквадратическое отклонение случайной составляющей абсолютной фазы;

$n_\delta(t)$ — белый шум.

Модель шума напряжения (шум, разный по фазам):

$$n_0(t) = \Delta U\sin(2\pi\Omega_U t), \quad (Г.29)$$

где $\Delta U = 0{,}05$ В — амплитуда колебания амплитуды напряжения;

$\Omega_U = 0{,}01$, $0{,}04$ Гц — частота колебания амплитуды напряжения;

$$n_{U(t)} = \sigma_U n(t), \quad (Г.30)$$

где $\sigma_U = 0{,}01$ В — среднеквадратичное отклонение случайной составляющей напряжения;

$n_{U(t)}$ — белый шум.

Модель шума тока:

$$n_0(t) = \Delta I\sin(2\pi\Omega_I t), \quad (Г.31)$$

где $\Delta I = 0{,}001$ А — амплитуда колебания амплитуды тока;

$\Omega_I = 0{,}01$ Гц — частота колебания амплитуды тока;

$$n_I(t) = \sigma_I n_I(t), \quad (Г.32)$$

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 $X(t) = X_m \cos(2\pi f_{ном}t + \pi df t^2 + \delta + k_\delta n_\delta(t)) + k_{u,i}n_{u,i}(t)$,

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

k_δ 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;

б) правила вариации параметра: частота изменяется линейно (см. рисунок Г.3), начиная с $f_{ном} = 50$ Гц до 46 Гц с приведенной в таблицах Г.23, Г.24 скоростью изменения частоты;

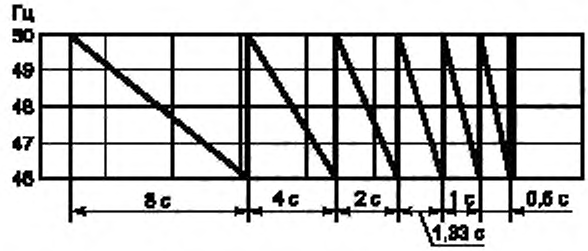


Рисунок Г.3 — Правила линейного изменения частоты

в) принцип проведения теста: установить $k_\delta = k_x = 0$ и, изменяя в соответствии с условиями проведения теста частоту входного сигнала, определить погрешности УСВИ (с учетом интервала исключения (большее из ($2/F_s$, $2/f_{ном}$), на котором погрешности не рассчитывают). Повторить тест при добавлении шума (правило моделирования сигнала с шумом приведено в Г.7.1) и заполнить таблицы Г.23, Г.24.

Т а б л и ц а Г.23 — Погрешности измерений УСВИ при линейном изменении частоты

Вариация параметров		Погрешности измерений УСВИ (U_1 (f_1))							
$\Delta F = 4\ t_{измен.f}$, с	df, Гц/с	погрешность по модулю U_1, %		$\Delta\delta$		TVE (U_1), %, без шума		TVE (U_1), %, с шумом	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
8	0,5								
4	1								
2	2								
1,33	3								
1	4								
0,5	8								

Т а б л и ц а Г.24 — Погрешности измерений УСВИ при линейном изменении частоты

Вариация параметров		Погрешности измерений УСВИ							
$\Delta F = 4\ t_{измен.f}$, с	df, Гц/с	FE, Гц, без шума		FE, Гц, с шумом		RFE, мГц/с, без шума		RFE, мГц/с, с шумом	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
8	0,5								
4	1								
2	2								
1,33	3								
1	4								
0,5	8								

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 $x(t) = + k_{u,i} n_{u,i}(t)$, где

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

$$df = \Delta F \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_e}\right)\right), \qquad (Г.33)$$

где T_e — постоянная времени;

k_δ 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.4, частота изменяется с $f_{ном}$ = 50 Гц до заданной в таблицах Г.25, Г.26 величины с постоянной времени T_e = 1 с. При этом после возврата частоты к значению $f_{ном}$ 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.5, частота изменяется с $f_{ном}$ = 50 Гц до 46 Гц с постоянной времени T_e, заданной в таблицах Г.27, Г.28. При этом после возврата частоты к значению $f_{ном}$ обязательно наличие восстановительного интервала времени длительностью не менее $7/F_s$ (для УСВИ класса М), $2/F_s$ (для УСВИ класса Р);

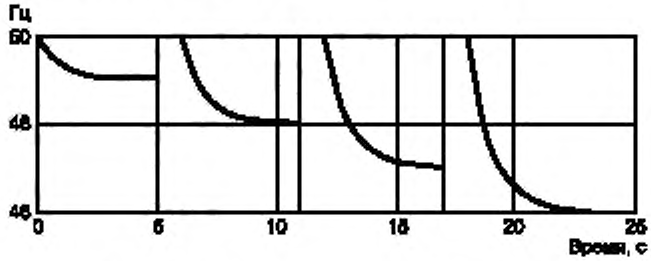


Рисунок Г.4 — Характер изменения частоты в тесте 1

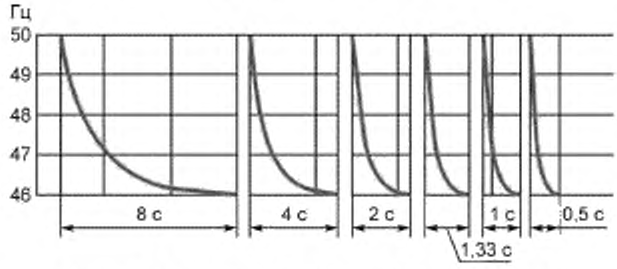


Рисунок Г.5 — Характер изменения частоты в тесте 2

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 (правило моделирования сигнала с шумом приведено в Г.7.1). Результаты зафиксировать в таблицах Г.25, Г.26, Г.27, Г.28.

Таблица Г.25 — Погрешности измерений УСВИ при нелинейном изменении частоты (тест 1)

Изменяемый параметр		Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))							
f, Гц	ΔF, Гц	погрешность по модулю, %		$\Delta\delta$		TVE, %		TVE, %, с шумом	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
49	1								
48	2								
47	3								
46	4								

Таблица Г.26 — Погрешности измерений УСВИ при нелинейном изменении частоты (тест 1)

Изменяемый параметр		Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))							
f, Гц	ΔF, Гц	FE, Гц		FE, Гц, с шумом		RFE, Гц/с		RFE, Гц/с, с шумом	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
49	1								
48	2								

Окончание таблицы Г.26

Изменяемый параметр		Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))							
f, Гц	ΔF, Гц	FE, Гц		FE, Гц, с шумом		RFE, Гц/с		RFE, Гц/с, с шумом	
		макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
47	3								
46	4								

Таблица Г.27 — Погрешности измерений УСВИ при нелинейном изменении частоты (тест 2)

Изменяемый параметр			Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))							
Частота, Гц	$t_{изменен.}$, с	$T_{ф}$, с	погрешность по модулю, %		$\Delta\delta$		TVE, %		TVE, %, с шумом	
			макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
$\Delta F = 4$	8	1,6								
	4	0,8								
	2	0,4								
	1,33	0,166								
	1	0,2								
	0,5	0,1								

Таблица Г.28 — Погрешности измерений УСВИ при нелинейном изменении частоты (тест 2)

Изменяемый параметр			Погрешности измерений УСВИ (U_1 (I_1))							
Частота, Гц	$t_{перех.проц.}$, с	$T_{ф}$, с	FE, Гц		FE, Гц с шумом		RFE, Гц/с		RFE, Гц/с, с шумом	
			макс	сред	макс	сред	макс	сред	макс	сред
$\Delta F = 4$	8	1,6								
	4	0,8								
	2	0,4								
	1,33	0,166								
	1	0,2								
	0,5	0,1								

Г.8 Требования к представлению результатов тестирования УСВИ

Результаты тестирования УСВИ должны быть сведены в таблицы Г.29 — Г.32 и представлены для каждого устройства в графической форме отдельно для основных и дополнительных тестов.

Непревышение пределов допускаемых погрешностей отмечают знаком «+».

Превышение пределов допускаемых погрешностей отмечают знаком «–».

Табличные значения результатов тестов для каждого устройства необходимо приложить к протоколу на цифровом носителе информации.

Таблица Г.29 — Итоговые результаты тестирования УСВИ в статических условиях

Тип УСВИ	Класс	Тестирование в статических условиях														
		изменение амплитуды			изменение фазового угла			изменение частоты			гармонические искажения			интергармонические помехи		
		TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE
№ 1																

Таблица Г.30 — Итоговые результаты тестирования УСВИ в динамических условиях

Тип УСВИ	Класс	Тестирование в динамических условиях												Примечание
		модуляция по амплитуде			модуляция по углу			модуляция по амплитуде и углу			линейное изменение частоты			
		TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	
№1														

Таблица Г.31 — Итоговые результаты тестирования УСВИ в динамических условиях

Тип УСВИ	Класс	Тестирование в динамических условиях										Примечание
		скачкообразное изменение амплитуды сигнала					скачкообразное изменение амплитуды сигнала					
		TVE	FE	RFE	σ	$T_{реакции}$	TVE	FE	RFE	σ	$T_{реакции}$	
№ 1												

Таблица Г.32 — Итоговые результаты тестирования УСВИ в дополнительных тестах

Тип УСВИ	Класс	Тестирование в дополнительных тестах									Примечание
		линейное изменение частоты, f = const			экспоненциальное изменение частоты, тест 1			экспоненциальное изменение частоты, тест 2			
		TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	TVE	FE	RFE	
№ 1											

Библиография

[1] Правила технологического функционирования электроэнергетических систем (утверждены постановлением Правительства Российской Федерации от 13 августа 2018 г. № 937)

[2] Требования к оснащению линий электропередачи и оборудования объектов электроэнергетики классом напряжения 110 кВ и выше устройствами и комплексами релейной защиты и автоматики, а также к принципам функционирования устройств и комплексов релейной защиты и автоматики (утверждены приказом Минэнерго России от 13 февраля 2019 г. № 101)

[3] IEEE Std C37.118.2-2011 Системы синхронизированных векторных измерений (IEEE Standard for Synchrophasor Measurements for Power Systems)

[4] МЭК 61850-8-1:2011 Сети связи и системы автоматизации энергосистем общего пользования. Часть 8-1. Специфическое отображение сервиса связи (SCSM). Отображения для MMS (ISO 9506-1 и ISO 9506-2) и ISO/IEC 8802-3 (IEC 61850-8-1:2011 Communication networks and systems for power utility automation — Part 8-1: Specific communication service mapping (SCSM) — Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3)

[5] МЭК/TR 61850-90-5:2012 Сети и системы связи для автоматизации энергосистем общего пользования. Часть 90-5. Использование IEC 61850 для передачи информации синхрофазора согласно IEEE C37.118 (IEC/TR 61850-90-5:2012 Communication networks and systems for power utility automation — Part 90-5: Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118)

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

[7] МЭК 61850-9-2:2011 Сети и системы связи для автоматизации энергосистем общего пользования. Часть 9-2. Схема особого коммуникационного сервиса (SCSM). Значения выборок по ISO/IEC 8802-3 (IEC 61850-9-2:2011 Communication networks and systems for power utility automation — Part 9-2: Specific communication service mapping (SCSM) — Sampled values over ISO/IEC 8802-3)

УДК 621.311 ОКС 27.010

Ключевые слова: электроэнергетическая система, система мониторинга переходных режимов, устройство синхронизированных векторных измерений

Редактор *Г.Н. Симонова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 15.04.2021. Подписано в печать 26.04.2021. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,02.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru