

Применение современного испытательного оборудования для проверки устойчивости функционирования РЭА

при изменении значений параметров качества входной электроэнергии

В статье приведены различные варианты применения испытательного оборудования в виде современных технических средств, обеспечивающих возможность выполнения проверок и испытаний на устойчивость функционирования РЭА при изменении значений параметров качества электроэнергии автономных источников и систем электроснабжения переменного и постоянного тока.

Юрий Либенко

Алексей Воронцов

Введение

Главной функцией испытательного оборудования, обеспечивающего проведение проверок и испытаний устойчивости функционирования РЭА при изменении значений параметров качества электроэнергии (ПКЭ), вырабатываемой автономными и стационарными источниками электроэнергии (ИЭ) или системами электроснабжения (СЭС) переменного и постоянного тока, является воспроизведение видов, а также нормативных и сверхнормативных диапазонов значений ПКЭ. Данное испытательное оборудование представлено рядом основных и вспомогательных технических средств (ТС), совокупно имитирующих необходимые виды и значения ПКЭ по командам оператора или под воздействием программ автоматизированных средств управления.

К основным имитационным ТС (ИТС), воспроизводящим наибольшее количество видов ПКЭ СЭС (ИЭ), в первую очередь относятся:

- имитатор ПКЭ СЭС переменного трехфазного тока (ИПрТ);
- имитатор высоковольтных импульсов напряжения (ВИН) для цепей переменного трехфазного тока (ИВИН-ПрТ);
- имитатор ПКЭ ИЭ постоянного тока (ИПТ);
- имитатор ВИН для цепей постоянного тока (ИВИН-ПТ).

Эти виды ИТС служат основой комплексов ИТС (КИТС), дополняемых другими видами ТС — со-

ставными частями (СЧ) КИТС, в зависимости от выполняемых ими задач.

Имитатор нештатных подключений (ИНП) применяется реже, что связано со специфичностью данного прибора, предназначенного для воспроизведения функций, необходимых для проверки ряда устройств защиты в РЭА, установленной на подвижных объектах, от:

- нарушения установленного порядка чередования фаз в цепи переменного трехфазного тока при ее оперативном подключении от внешнего автономного ИЭ ко входу электропитания объекта;
- подключения нейтрального рабочего проводника вместо любого из фазных в цепи переменного трехфазного тока при ее оперативном подключении от внешнего автономного ИЭ ко входу электропитания объекта;
- обрыва любого из фазных или нейтрального рабочего проводника в цепи переменного трехфазного тока, подключенной ко входу электропитания объекта;
- нарушения полярности цепи постоянного тока при ее оперативном подключении от внешнего автономного ИЭ ко входу электропитания объекта.

Наиболее часто применяемыми вспомогательными СЧ КИТС являются коммутационные ТС (КТС) в виде управляемых коммутаторов (УК) и нагрузочные ТС (НТС) в виде эквивалентов активных нагрузок (ЭАН). Первые позволяют автоматизированно выполнять необходимые коммутации силовых цепей, в том числе оперативную реструктуризацию КИТС в процессе проводимых испытаний. Вторые обеспечивают объективную аттестацию воздействий, фор-

мируемых ИТС, до их подачи на проверяемую РЭА, а также могут создавать управляемые воздействия на нее в виде изменения значений тока нагрузки — статических и динамических. Некоторые образцы КИТС, выпускаемые ООО «НТЦ АКТОР» на основе унифицированных шкафных конструкций и содержащие вышеупомянутые СЧ, приведены на рис. 1.

Левый и средний шкафы в совокупности представляют собой КИТС, воспроизводящий ПКЭ авиационной СЭС переменного трехфазного тока с напряжением 115/200 В, частотой 400 Гц и выходной мощностью 16 кВ·А (КИТС-ПрТ-16-3/115/400).

В левом шкафу размещается трехфазный ЭАН с мощностью рассеяния 16 кВт, ИПрТ, ИВИН-ПрТ, УК-ПрТ и пульт управления и отображения (ПУО) — ПУО-ПрТ¹ для обеспечения управления функционированием КИТС.

В правом шкафу размещается полный состав КИТС-ПТ-1,5-27, воспроизводящего ПКЭ авиационной бортовой СЭС постоянного тока с напряжением 27 В и выходной мощностью 1500 Вт: ИПТ, УК-ПТ, ИВИН-ПТ и ПУО-ПТ¹.

В последнее время расширение круга задач по проверке и исследованиям современной РЭА вызвало необходимость создания новых или применения существующих видов дополнительного испытательного оборудования — регистрационных технических средств (РТС), обеспечивающих возможность регистрации видов и значений ПКЭ.

В связи с этим в статье приведены в первую очередь особенности применения упомянутых видов ИТС с последующим рассмотрением аналогичных аспектов в части РТС, КТС и НТС.

Общие сведения о возможностях ИТС

ИТС, как правило, воспроизводят виды и значения ПКЭ, соответствующие требованиям либо одного нормативно-технического документа (НТД), общего для различных направлений применения РЭА, либо одного НТД с требованиями для конкретного направления ее применения.

Реализация этих требований выполняется применением в ИТС одного общего программного обеспечения с возможностью выбора оператором необходимой его части или с помощью набора автономных программ.

ИТС обеспечивают воспроизведение видов ПКЭ:

- в пределах диапазонов значений, заданных в НТД;
- с диапазонами значений, превышающих заданные.

Первые, как правило, широко используются при проведении контрольных испытаний РЭА при ее производстве и ремонте, а вторые — при проведении различных исследований на этапе разработки и модернизации.

ИТС могут воспроизводить в заданной последовательности значения как отдельных, так и совмещенных во времени видов ПКЭ.

Кроме выполнения основной функции, ИТС обеспечивают:

- сопряжение с внешними информационно-управляющими устройствами (комплексами, системами) с помощью стандартного интерфейса;
- управление функционированием ручным способом с ПУО на лицевой панели ИТС или от внешней ПЭВМ, а также автоматизированное управление от внешних управляющих устройств (систем);
- передачу сведений об имитируемых воздействиях на внешние информационные устройства;
- косвенное сопряжение с проверяемой РЭА путем временной «привязки» моментов подачи имитирующего воздействия и реакции РЭА на него с помощью национальной шкалы координированного времени РФ;
- возможность однократного, N-кратного или циклического повторения проверок;
- то же при совмещении имитации видов и значений ПКЭ ИЭ (СЭС) с контролем внешними тестовыми системами, синхронизируемыми с ИТС, значений ПКЭ на выходах конечных преобразователей напряжения системы электропитания РЭА (в соответствии с п. А 1.5 «Приложения А» к ГОСТ РВ 20.57.310-98);
- определение запасов устойчивости РЭА при воздействии на ее вход электропитания нерегламентированных значений ПКЭ (за границами рабочего диапазона их значений);

- то же при совмещении имитации нерегламентированных значений ПКЭ с контролем внешними тестовыми системами, синхронизируемыми с ИТС, значений ПКЭ на выходах конечных преобразователей напряжения системы электропитания РЭА;
- формирование с помощью ИТС N-кратного или циклического повторения заранее зарегистрированного однократного или редко возникающего процесса.

Варианты применения, режимы и способы управления ИТС

СЧ КИТС, приведенных на рис. 1, не предусматривают их самостоятельного применения. Размещение ЭАН-ПрТ КИТС-ПрТ-16-3/115/400 в отдельной стойке обусловлено исключительно его массогабаритными характеристиками и принципиально высоким тепловыделением, требующим эффективного принудительного охлаждения. Управление функционированием ЭАН-ПрТ выполняется с общего ПУО-ПрТ КИТС (внешней ПЭВМ).

Сведения о возможных вариантах применения, режимах и способах управления перспективных самостоятельных СЧ КИТС, в том числе в части ИТС, приведены в [1]. Тем не менее для целостности представления дальнейшего материала авторы сочли целесообразным повторить основные из них.

ИТС могут функционировать в автономном и комплексном вариантах применения. Под автономным вариантом понимается само-



Рис. 1. КИТС-ПрТ-16-3/115/400 и КИТС-ПТ-1,5-27, выпускаемые ООО «НТЦ АКТОР»

¹ Для обоих видов ИТС также предусмотрено управление от внешней ПЭВМ.

стоятельное функционирование ИТС без задействования ресурсов одной или нескольких других СЧ КИТС.

Комплексный вариант применения ИТС предусматривает ее совместное функционирование с одной или несколькими СЧ КИТС (исключая ПЭВМ и РТС), создающее дополнительные функциональные возможности и (или) характеристики. При этом сама СЧ КИТС может быть унитарным техническим средством или некоторым набором устройств, входящим в ее состав.

Совокупность ИТС с ПЭВМ или РТС не является комплексным применением первого, так как эти виды СЧ КИТС обеспечивают лишь повышенные сервисные возможности. Так, ПЭВМ используется только как более совершенное внешнее устройство управления и отображения, обеспечивающее возможность дистанционного управления ИТС ручным или автоматизированным способом, а РТС применяется взамен традиционно подключаемых к контрольному гнезду ИТС средств измерений, позволяя автоматизировать ряд ручных операций с участием этих средств.

При автономном и комплексном вариантах применения ИТС возможны два режима управления: местный и дистанционный. В местном режиме предполагается управление ИТС только ручным способом с помощью органов управления и индикации, расположенных на его ПУО.

В дистанционном режиме управление ИТС осуществляется с помощью внешней ПЭВМ двумя способами: ручным через экранный интерфейс оператора и манипулятора или автоматизированным, путем запуска программы, установленной на ПЭВМ. В дистанционном режиме происходит автоматическая блокировка возможности применения ПУО для ручного управления ИТС и всех дополнительно используемых СЧ КИТС с сохранением возможности отображения на индикаторе их ПУО заданной и текущей информации в процессе работы всех СЧ КИТС. При комплексном варианте применения, дистанционном режиме и любом способе управления все задействованные в комплексе СЧ КИТС объединяются магистральным интерфейсом для связи с управляющей ПЭВМ.

Все сказанное относится также к СЧ КИТС в виде КТС и НТС. Специфика структуры и функционирования РТС не предусматривает вариантов ее применения, что кратко пояснено в разделе «Общие сведения о возможностях РТС» настоящей статьи.

Автономный вариант применения ИТС

Как было отмечено во вводной части статьи, основными ИТС, воспроизводящими наибольшее количество видов ПКЭ соответствующих СЭС (ИЭ), являются:

- имитатор ПКЭ СЭС переменного трехфазного тока (ИПрТ);
- имитатор высоковольтных импульсов напряжения (ВИН) для цепей переменного трехфазного тока (ИВИН-ПрТ);

- имитатор ПКЭ ИЭ постоянного тока (ИПТ);
- имитатор ВИН для цепей постоянного тока (ИВИН-ПТ).

Поэтому большинство типовых проверок РЭА выполняется их автономным применением. При этом ИВИН-ПрТ и ИВИН-ПТ могут действовать автономно и в случае их подключения между реальными СЭС (ИЭ) и входом электропитания РЭА. Этот вариант используется при отсутствии необходимости совместного воздействия на РЭА ВИН и регулируемых значений других видов ПКЭ.

Управление перечисленными ИТС в данном варианте применения выполняется с помощью их ПУО с применением ручного способа, а также дистанционно с внешней ПЭВМ с применением ручного или автоматизированного способа.

Специализированный ИНП (см. «Введение») ввиду специфики формирования его воздействий применяется в автономном варианте в местном режиме управления с помощью ПУО ручным способом.

Комплексный вариант применения ИТС

Понятие «комплексный вариант применения ИТС» предусматривает его совместное функционирование с любой одной (включая другой вид ИТС) или с несколькими СЧ КИТС, создающее дополнительные функциональные возможности и (или) характеристики с помощью группы устройств в виде СЧ КИТС, связанных функционально единым управлением. Конкретный состав устройств определяется заказчиком или предлагается исполнителем на основании анализа требований заказчика к выполнению необходимого объема заданных исследований и проверок.

Возможными вариантами комплексного применения ИТС могут быть:

- а) выполнение задач по исследованию и проверке:
 - систем электропитания РЭА (РЭА в целом), электроснабжение которых обеспечивается от нескольких различных СЭС;
 - РЭА повышенной сложности со значительным количеством входящих в нее различных подсистем и реализуемых алгоритмов функционирования;
- б) проведение технологических тренировок РЭА и ее основных функциональных частей в процессе их производства;
- в) комплексное применение совместно с другими автоматизированными тестовыми системами (раздел «Общие сведения о возможностях ИТС») или в составе автоматизированных тестовых систем более высокого уровня для обеспечения выполнения сложных проверок РЭА, например, на соответствие требованиям к ее функциональной безопасности при применении на специальных объектах.

В случае комплексного варианта применения и при дистанционном режиме управления

к выбранной совокупности СЧ КИТС с помощью информационной магистрали подключается ПЭВМ с установленным на нее специальным программным обеспечением (СПО), с помощью которого она реализует управление работой всех СЧ КИТС в соответствии с заданным алгоритмом функционирования.

Общие сведения о возможностях РТС

РТС в процессе проведения проверок и испытаний РЭА на устойчивость функционирования при изменении значений ПКЭ, вырабатываемой ИЭ (СЭС) переменного (постоянного) тока, предназначены для:

- регистрации и долговременного хранения значений ПКЭ в цепях ИЭ (СЭС) переменного одно- и трехфазного (постоянного) тока, обеспечивающих электроэнергией объекты проверки (ОП);
- выдачи по запросу ПЭВМ ранее зарегистрированных видов и значений ПКЭ для подготовки оператором алгоритмов управления ИПрТ (ИПТ), ИВИН-ПрТ (ИВИН-ПТ) с целью последующего воспроизведения ими этих данных;
- формирования «электроэнергетических портретов» ОП с автономными ИЭ путем соответствующей обработки зарегистрированных данных для определения потенциальных возможностей проведения модернизации (замены) устаревшего на них функционального оборудования, а также для решения ряда других задач;
- непрерывного (периодического) контроля работоспособности (диагностирования) ИТС, РТС, КТС и НТС переменного одно- и трехфазного (постоянного) тока автономно или в составе КИТС-ПрТ (КИТС-ПТ).

В связи с этим КИТС, в составе которых имеются РТС, выполняющие вышеперечисленные задачи, являются более совершенными и могут позиционироваться как КИТС нового поколения с аббревиатурой КРИТС (-ПрТ или -ПТ) из-за наличия в них двух основных функциональных частей — регистрирующей и имитационной.

В свою очередь, регистрирующая часть состоит из совокупности (не менее двух) отдельных устройств и является функционально законченной измерительной системой, которая в соответствии с функциональным назначением ранее получила название «Регистратор ПКЭ» (-ПрТ или -ПТ): РПКЭ-ПрТ или РПКЭ-ПТ. Этими устройствами являются модуль аналогового ввода (МАВ) [-ПрТ или -ПТ] и управляющая ПЭВМ КРИТС (соответствующая часть ее ресурса).

Основной функцией МАВ обоих типов является аналого-цифровое преобразование исходных данных: значения тока и напряжения в контролируемой цепи и передача их в цифровом виде в ПЭВМ по стандартному информационному каналу.

Функцией ПЭВМ (части ее ресурса) является различная обработка регистрируемых данных, включая необходимые вычисления, отображе-

ние, хранение, представление их результатов в заданном виде.

Вышеупомянутый минимальный состав РПКЭ в КРИТС может обеспечивать:

- непрерывный (текущий) контроль функционирования (диагностирование) основных и вспомогательных СЧ;
- регистрацию значений ПКЭ одного или нескольких (последовательно, с помощью дополнительного коммутатора контролируемых входных цепей) ИЭ (СЭС) при наличии возможности непосредственного их подключения к МАВ, расположенного совместно с другими СЧ КРИТС (стационарный вариант исполнения МАВ), их последующую обработку и хранение.

Возможна также совместная реализация в одном КРИТС обоих этих вариантов, приведенная на рис. 2 (для КРИТС переменного трехфазного тока) и рис. 3 (для КРИТС постоянного тока).

На обеих структурных схемах верхний канал обеспечивает регистрацию видов и значений ПКЭ внешних ИЭ (СЭС) при их подключении к ОП или ЭАН (выбирается с помощью УК, подключенного к выходным цепям РПКЭ). Нижний канал РПКЭ обеспечивает контроль функционирования (диагностирование) основных СЧ КРИТС — ИПрТ (ИПТ) и ИВИН-ПрТ (ИВИН-ПТ), также подключаемых к ОП или ЭАН через УК в зависимости от алгоритма работы КРИТС.

При отсутствии возможности непосредственного подключения внешних электрических цепей переменного трехфазного (постоянного) тока к МАВ-ПрТ/С (МАВ-ПТ/С) аналогичную технологию регистрации и последующего воспроизведения зарегистрированных значений ПКЭ с помощью ИТС можно реализовать с помощью выносных (удаленных) МАВ-ПрТ/В (МАВ-ПТ/В), также входящих в состав РПКЭ-ПрТ (РПКЭ-ПТ) в количестве, определяемом соответствующим количеством контролируемых объектов (совокупным количеством точек контроля). Информационные потоки от группы однотипных выносных МАВ для сопряжения с обрабатывающей ПЭВМ объединяются с помощью универсального устройства сопряжения УС-РПКЭ, также входящего в состав РПКЭ-ПрТ (РПКЭ-ПТ) и обеспечивающего выносные МАВ бесперебойным электропитанием. Иллюстрация данного варианта РПКЭ приведена в [1].

Общие сведения о возможностях КТС

Статус «вспомогательной» СЧ КИТС для КТС в виде УК (см. вводную часть данной статьи) исторически был присвоен из-за относительно простой функции, традиционно выполняемой им в КИТС, — переключение выходной цепи ИТС от входа электропитания ОП ко входу ЭАН для выполнения регламентированной предварительной аттестации параметров переходного отклонения напряжения ИЭ под активной нагрузкой со значением электрической мощности, эквивалентной мощности потребления ОП. Само переключе-

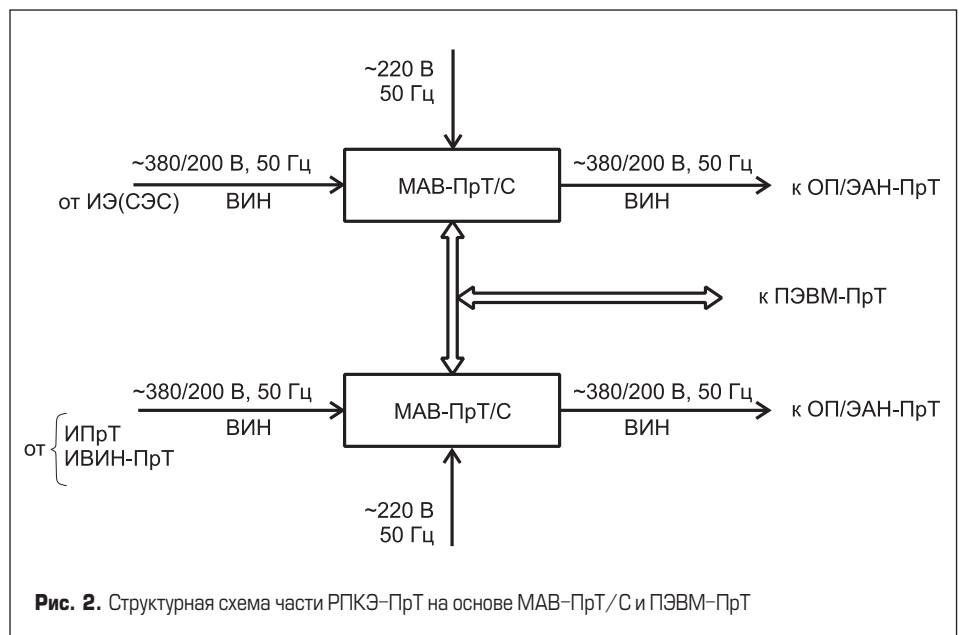


Рис. 2. Структурная схема части РПКЭ-ПрТ на основе МАВ-ПрТ/С и ПЭВМ-ПрТ

ние выполняется при обесточенной цепи электропитания. После аттестации и при также обесточенной цепи выполняется обратное действие с подключением к выходу ИТС входа электропитания ОП. Учитывая вышеизложенное, а также однократное или ограниченное количество переключений в процессе проведения проверки одного объекта, УК может переключать выходную цепь ИТС как вручную, так и автоматически.

При усложнении задач проверки ОП и, соответственно, структуры и функций КИТС его СЧ выполнение УК только своей традиционной функции оказалось недостаточно. Усовершенствование КТС в виде УК вызвано, прежде всего, необходимостью оперативной реструктуризации КИТС и применения в его составе ряда дополнительных внешних устройств, а также возросшей степенью автоматизации процессов проверки. Таким критериям соответствует УК с матричной архитектурой (УКМА) с N-входами и M-выходами, способный обеспечить альтернативное или

независимое подключение любого из входов к любому из выходов. Каждая коммутация сопровождается контролем ее исполнения, положительный результат которого дает разрешение на выполнение следующей. Поскольку алгоритмическая реструктуризация КИТС реализуется только при предварительно обесточенных электрических цепях с проверкой отсутствия в них напряжения, то обе контрольные задачи выполняются объединенным узлом контроля и управления коммутацией.

УКМА может быть применен и в качестве автономного устройства вне состава КИТС.

Управление его функционированием в обоих случаях может обеспечиваться как ручным способом с ПУО, так и ручным или автоматизированным способом с внешней ПЭВМ.

Общие сведения о возможностях ЭАН

ЭАН также относится к вспомогательной СЧ КИТС (см. вводную часть данной статьи).

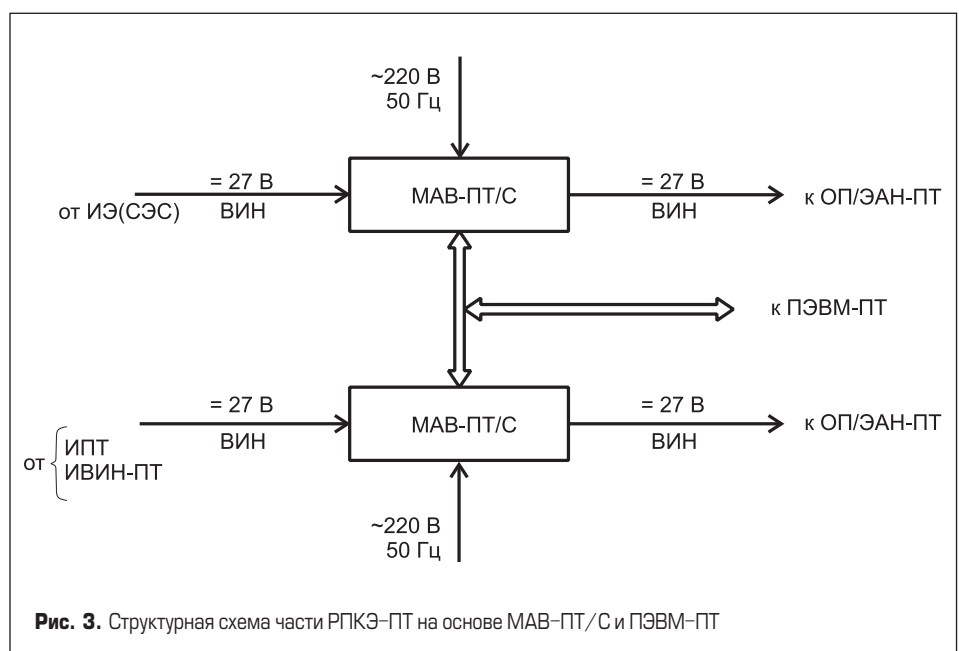


Рис. 3. Структурная схема части РПКЭ-ПТ на основе МАВ-ПТ/С и ПЭВМ-ПТ

Он, как и УК, традиционно использовался в составе КИТС для выполнения регламентированной предварительной аттестации параметров переходного отклонения напряжения ИЭ под активной нагрузкой со значением электрической мощности, эквивалентной мощности потребления ОП. Это значение обычно задается заказчиком КИТС, как правило, для одного или нескольких ОП, подобных по этому показателю. Поэтому в предыдущих разработках ЭАН для конкретного варианта КИТС выполнялся на одно заданное значение мощности рассеяния.

Вышеупомянутые усложнения задач проверки ОП коснулись и ЭАН. Так, появились требования к введению определенных шагов изменения значения мощности, добавления к активной части эквивалента нагрузки емкостной и индуктивной составляющих с дискретно изменяемыми значениями потребляемой мощности, формирования импульсного характера потребляемой мощности. В итоге ЭАН с новыми возможностями превратился в ЭН (эквивалент нагрузки) с секционированной структурой как по значению рассеиваемой мощности, так и по характеру нагрузки. Это дает возможность его применения в качестве имитатора воздействия на ОП в виде ИЭ (с подключением к его выходной цепи) путем управляемых изменений значения тока нагрузки: статических, динамических (перепадов и импульсов). В этом качестве ЭН может обеспечить определение нагрузочной характеристики ИЭ, зависимость значения КПД от изменения нагрузки, значение частотной неустойчивости по току нагрузки и др.

ЭН так же, как УКМА, может быть применен в виде автономного устройства вне состава КИТС. Способы управления в автономном и комплексном вариантах применения аналогичны приведенным для УКМА.

Продолжение следует

Литература

1. Либенко Ю., Воронцов А. Перспективы совершенствования имитационных технических средств для воспроизведения видов и значений параметров качества электроэнергии // Силовая электроника. 2020. № 5.