

## Оборудование для проведения испытаний технических средств на соответствие требованиям по электропитанию

С. ГУДКОВ  
e-mail

**Проблема обеспечения надежной работы технических средств (ТС), особенно современной радиоэлектронной аппаратуры, в условиях воздействия помех и различных нестабильностей в сети их электропитания всегда была актуальной. Существуют и действуют нормативно-технические документы (НТД), регламентирующие требования и методы испытаний ТС в части электропитания.**

Нормы качества электрической энергии на клеммах питания ТС установлены в отраслевых и государственных стандартах на системы электропитания (СЭС), к которым подключаются данные ТС. Это могут быть как сеть общего назначения 220 В 50 Гц, так и автономные СЭС постоянного и переменного тока ограниченной мощности различных объектов, в которых напряжение и частота могут изменяться в очень широких пределах. Помехи, наводимые на шины питания ТС различными внутренними и внешними источниками (гармонические и импульсные помехи от радиочастотного излучения, коммутации, разрядов молний (рис. 1), электростатики), регламентируются другой группой стандартов. Это стандарты по электромагнитной совместимости (ЭМС). Таким образом, ТС должны быть работоспособны как при заданных нормах качества электроэнергии питающих СЭС, так и в условиях воздействия помех, заданных требованиями по ЭМС.



Рис. 1. Пример наведения помех от внешнего источника — разрядами молний

Проведение испытаний по требованиям ЭМС вызывает определенные сложности, но испытательное оборудование (генераторы гармонических и импульсных помех) всегда можно выбрать из серийно выпускаемых изделий. Однако следует заметить, что испытательное оборудование, которое обеспечивало бы моделирование всех необходимых показателей качества электроэнергии (имитаторов СЭС), до настоящего времени серийно не выпускалось. Попытки создания такого оборудования неоднократно предпринимались отечественной промышленностью (особенно для имитации авиационных СЭС), но выпущенные образцы не находили широкого применения по разным причинам, в том числе и технического характера.

Развитие силовой электроники и появление на современном рынке программно-управляемых источников постоянного и переменного тока позволили максимально просто и с наибольшей эффективностью решить проблему моделирования любого из показателей качества электроэнергии и, соответственно, создавать имитаторы практически любых СЭС в широком диапазоне мощностей: от 500 Вт до 50 кВт.

Такие источники способны имитировать:

- установившиеся и переходные отклонения напряжения (частоты) в широких пределах, обеспечивая любые параметры, требуемые в НТД;
- пульсацию напряжения различной формы в сети постоянного тока и наличие любого спектра высших гармонических составляющих напряжения в сети переменного тока (искажения формы кривой напряжения);
- амплитудную (частотную) модуляцию в широких пределах модулирующих частот;
- перерывы питания в пределах любых параметров, требуемых согласно НТД.

Трехфазные источники способны создавать также любой небаланс и сдвиг фаз.

Совместное использование источников, имитаторов СЭС, с различными генераторами помех позволяет создавать испытательные комплексы, способные обеспечить проведение испытаний любых ТС на воздействие всего многообразия процессов, имеющих место в цепях электропитания (рис. 2).

ЗАО «ТЕСТПРИБОР» предлагает испытательные комплексы для проведения испытаний на соответствие требованиям, установленным в следующей НТД:

- ГОСТ 19705-89 (MIL-STD 704), МУ-160, КТ-160 (DO-160), для ТС, устанавливаемых на борт самолетов или вертолетов;
- ГОСТ 28751-90, ГОСТ 21999-89 для ТС, устанавливаемых на автомобильную и бронетанковую технику;
- ГОСТ РВ 2090-04-2008, ГОСТ РВ 2090-06-2008, ГОСТ Р51317-4.XX (EN-61000) для ТС, устанавливаемых на борт кораблей;
- ГОСТ Р51317-4.XX (EN-61000), IТУ-K, ISO, ГОСТ Р В 51937-2002 для ТС связи.

Возможно создание универсального комплекса — имитатора, охватывающего весь объем необходимых требований.

Структурно комплекс (рис. 2) состоит из следующего оборудования:

- программируемого источника — имитатора постоянного тока;
- программируемого источника — имитатора переменного тока (однофазного или трехфазного);
- генератора сигналов произвольной формы, обеспечивающего создание пульсации напряжения в сети постоянного тока и наведение гармонических и импульсных помех с амплитудой до 20 В в диапазоне частот до 10 МГц;
- генератора импульсных помех, обеспечивающего создание импульсов напряжения

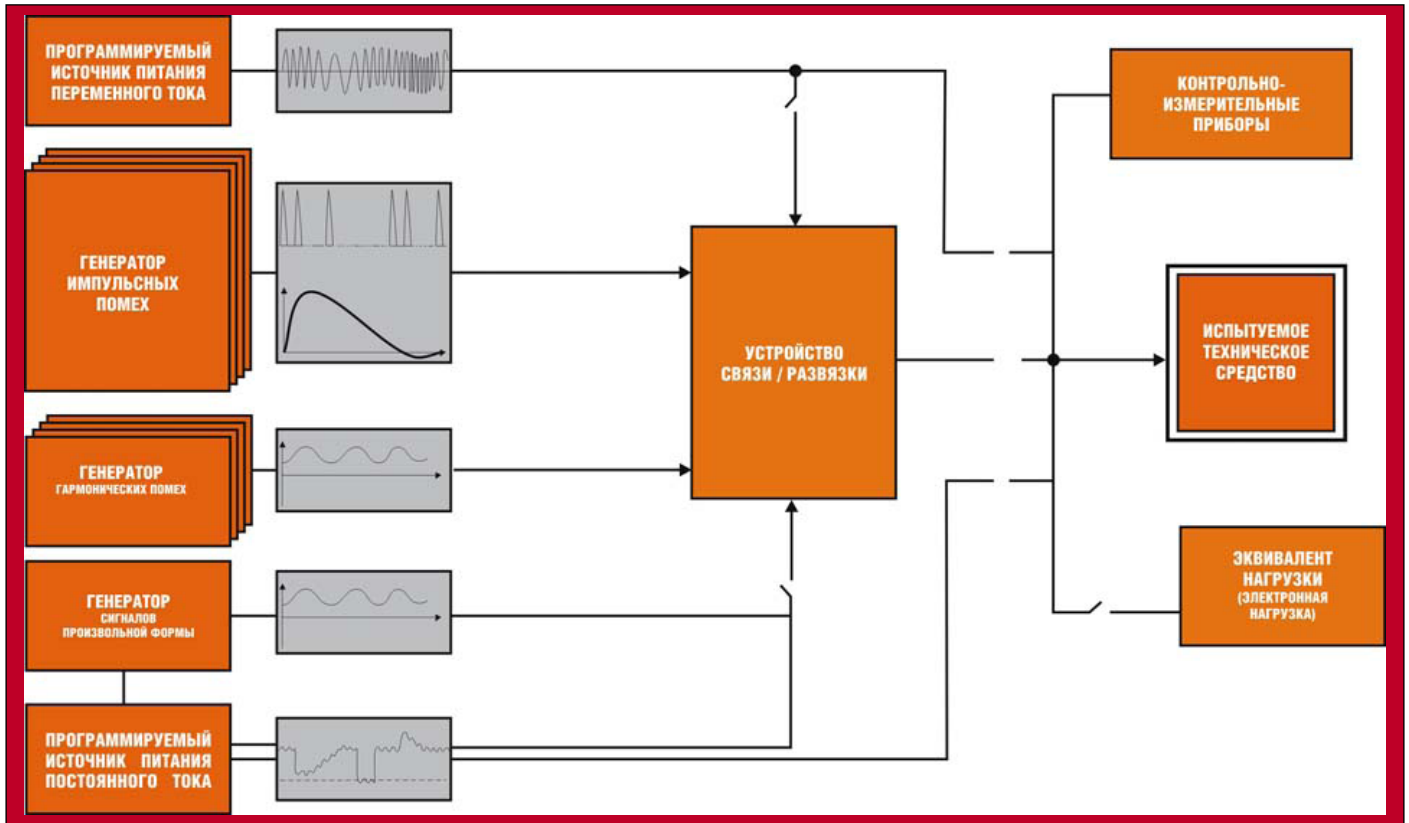


Рис. 2. Структура построения комплекса имитации

- амплитудой от 250 до 4000 В длительно-стью от 50 нс до 800 мкс;
- генераторов гармонических помех, обеспечивающих наведение на шины питания гармоник в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц;



Рис. 3. Источник питания постоянного тока Toellner TOE 8845

- различных типов устройств связи/развязки для ввода в сеть питания импульсных и гармонических помех.

Программное управление комплексом служит для автоматической установки требуемых в НТД значений напряжений (частот) электропитания и подачи их на испытуемое ТС с заданной последовательностью и длительностью.

Основной комплекс является источник электропитания, который выбирают в зависимости от рода имитируемой сети и требуемой мощности.

Для имитации только сети постоянного тока предлагаются программируемые источники питания немецкой фирмы Toellner Elektronik Instrumente GmbH серий TOE 88X5-YY (рис. 3) — TOE 8871 (8872)-YY.

Серия TOE 88X5-YY (табл. 1) представлена широкой модельной линией с диа-

пазоном выходного напряжения от 0 до 16; 18; 20; 24; 32; 40; 48; 64; 80; 100 В и токами от 0 до 320 А в зависимости от модели.

Главными достоинствами этой серии являются выработка довольно чистого питания (так как источники построены на основе линейных стабилизаторов напряжения) и высокое быстродействие по изменению напряжения во всем выходном диапазоне (время изменения напряжения от 10 до 90% диапазона — не более 200 мкс). Это свойство, в совокупности с прилагаемым программным обеспечением построения кривых выходного напряжения и тока (ArbNet), позволяет создавать практически реальные кривые переходных процессов и имитировать пульсацию напряжения с частотой до 2 кГц. Кроме того, для этих источников существуют опции, позволяющие создавать пульсации напряжения

Таблица 1. Выходные параметры источников серии TOE 88X5-YY

xx = Voltage Version	0–16 В	0–18 В	0–20 В	0–24 В	0–32 В	0–40 В	0–48 В	0–64 В	0–80 В	0–100 В
TOE 8805-xx	0–10 А	0–9 А	0–8 А	0–7 А	0–5 А	0–4 А	0–3,5 А	0–2,5 А	0–2 А	0–1,6 А
TOE 8815-xx	0–20 А	0–18 А	0–16 А	0–14 А	0–10 А	0–8 А	0–7 А	0–5 А	0–4 А	0–3,2 А
TOE 8825-xx	0–40 А	0–36 А	0–32 А	0–27 А	0–20 А	0–16 А	0–14 А	0–10 А	0–8 А	0–06,4 А
TOE 8835-xx	0–60 А	0–54 А	0–48 А	0–42 А	0–30 А	0–24 А	0–21 А	0–15 А	0–12 А	0–10 А
TOE 8845-xx	0–80 А	0–72 А	0–64 А	0–56 А	0–40 А	0–32 А	0–28 А	0–20 А	0–16 А	0–13 А
TOE 8855-xx	0–100 А	0–90 А	0–80 А	0–70 А	0–50 А	0–40 А	0–35 А	0–25 А	0–20 А	0–16 А
TOE 8865-xx	0–120 А	0–110 А	0–100 А	0–80 А	0–60 А	0–50 А	0–40 А	0–30 А	0–25 А	0–20 А
TOE 8885-xx	0–160 А	0–145 А	0–130 А	0–110 А	0–80 А	0–65 А	0–55 А	0–40 А	0–32 А	0–26 А
TOE 88105-xx	0–200 А	0–180 А	0–160 А	0–135 А	0–100 А	0–80 А	0–70 А	0–50 А	0–40 А	0–32 А
TOE 88115-xx	0–220 А	0–200 А	0–180 А	0–150 А	0–110 А	0–90 А	0–77 А	0–55 А	0–45 А	0–36 А
TOE 88125-xx	0–240 А	0–215 А	0–195 А	0–160 А	0–120 А	0–96 А	0–80 А	0–60 А	0–48 А	0–40 А
TOE 88145-xx	0–280 А	0–250 А	0–225 А	0–190 А	0–140 А	0–115 А	0–95 А	0–70 А	0–56 А	0–45 А
TOE 88165-xx	0–320 А	0–285 А	0–260 А	0–215 А	0–160 А	0–130 А	0–110 А	0–80 А	0–64 А	0–52 А



Рис. 4. Источник питания постоянного тока Toellner TOE 8872

с гармониками до 100 кГц с помощью обычного маломощного генератора. Есть и другие полезные для испытания опции. Например, возможность кратковременной отдачи в цепь питания тока, в 3 раза превышающего номинальный (максимальный).

Важным моментом выбора модели источника серии TOE 88X5-YY является обеспечение требуемой мощности при минимальном значении установившегося напряжения питания испытуемого ТС. Например, для авиационных ТС при ненормальном режиме работы СЭС минимальное установившееся значение напряжения питания будет 18 В, а переходное значение напряжения может достигать 80 В. Таким образом, для испытаний ТС с номинальной потребляемой мощностью 500 Вт нужен источник с диапазоном выходных напряжений от 0 до 80 В и током до 27,7 А. Такие параметры могут обеспечить только модель TOE 8885-80 и модели с более высокой мощностью. Это связано с тем, что модели серии TOE 88X5-YY не работают в режиме поддержания постоянной выходной мощности. Выходной ток ограничивается одним заданным значением во всем диапазоне выходных напряжений. Конструктивно источники этой серии строятся с использованием модульного принципа: один модуль

является основным ведущим, остальные — ведомыми (бустерами). Количество бустеров устанавливается в зависимости от необходимой мощности. Максимально ведущий модуль поддерживает до 15 бустеров, что позволяет, например, построить имитатор бортовой авиационной СЭС номинального напряжения 27 В с мощностью до 1,28 кВт.

Источники серии TOE 8871-YY (рис. 4) (мощностью 1000 Вт) и TOE 8872-YY (мощностью 1500 Вт) на основе импульсных методов преобразования работают в режиме автоматического поддержания постоянной мощности, отдаваемой в нагрузку. Они обеспечивают изменение выходного напряжения от 0 до 40; 60; 80; 130; 200; 400 В в зависимости от модели (табл. 2), но имеют существенно меньшее быстродействие, чем источники серии TOE 88X5-YY (время изменения выходного напряжения от 5 до 10 мс).

На основе этих источников можно создавать комплексы для имитации сетей постоянного тока мощностью более 1,5 кВт, так как эти источники имеют возможность работать параллельно (до трех модулей). В этом случае максимальная мощность сети постоянного тока может достигать 4,5 кВт.

Для имитации сети переменного тока наиболее перспективно применение источни-



Рис. 5. Источник питания переменного тока California Instruments — Compact-ijX

Таблица 2. Выходные параметры источников серии TOE 8871-YY, TOE 8872-YY

Xx = Voltage Version	0–40 В	0–60 В	0–80 В	0–130 В	0–200 В	0–400 В
TOE 8871-xx	0–50 А	0–39 А	0–25 А	0–16 А	0–10 А	0–5 А
TOE 8872-xx	0–100 А	0–65 А	0–50 А	0–25 А	0–15 А	0–7,5 А

ков питания фирмы California Instruments (США) — серий Compact-ijX (рис. 5) или Series II-ijX. Эти источники специально разработаны для тестирования авиационного бортового оборудования и в полной мере могут называться имитаторами СЭС, так как могут работать не только в режиме АС, но и в режимах DC и АС+DC.

В модельном ряду представлены источники мощностью 750, 1500, 3000, 5000 и 10000 В·А, которые можно включать параллельно (до трех модулей) для увеличения мощности, а также конфигурировать в трехфазные источники с максимальной мощностью до 30 кВ·А (табл. 3).

В режиме АС эти программируемые источники питания работают в двух диапазонах напряжений (нижний диапазон — от 0 до 150 В, верхний диапазон — от 0 до 300 В) и выдают частоту от 16 до 1000 Гц. Напряжение может быть модулировано как по амплитуде, так и по частоте, а для трехфазного режима может быть запрограммирован фазовый сдвиг, изменяемый во времени, и небаланс напряжений в различных фазах. Также возможно получение от источника переменного напряжения со сдвигом кривой напряжения на постоянную величину (режим АС+DC). Мощность, отдаваемая в нагрузку в режиме АС, максимальна в диапазоне выходных напряжений от 50 до 90% верхнего значения диапазона, что оптимально для имитации авиационной бортовой сети 115/200 В при 400 Гц.

В комплект поставки, например для испытания авиационных ТС, могут быть включены как опции уже готовые программные пакеты для проведения испытаний на соответствие DO-160 и Mil-Std 704D/E.

В режиме DC напряжение также может изменяться от 0 до 200 В (нижний диапазон) или от 0 до 400 В (верхний диапазон).

Таблица 3. Выходные параметры источников серии Compact-ijX и Series II-ijX

Xx = Voltage Version	AC 0–150 В	AC 0–300 В	DC 0–200 В	DC 0–400 В
Compact 751 ijX	0–6,5 А	0–3,25 А	0–3,25 А	0–1,6 А
Compact 1501 ijX	0–13 А	0–6,5 А	0–6,5 А	0–3,25 А
Compact 2253 ijX*	0–19,5 А	0–9,75 А	0–9,75 А	0–4,8 А
Series II 3001 ijX	0–22,2 А	0–11,1 А	0–15,6 А	0–7,8 А
Series II 5001 ijX	0–37 А	0–18,5 А	0–26 А	0–13 А
Series II 9003 ijX*	0–66,6 А	0–33,3 А	0–46,8 А	0–23,4 А
Series II 10001 ijX	0–74 А	0–37 А	0–52 А	0–26 А
Series II 15001 ijX*	0–111 А	0–55,5 А	0–78 А	0–39 А
Series II 15003 ijX*	0–74 А	0–37,5 А	0–52 А	0–26 А

Примечание. \* — сборка из трех источников.

Максимальная мощность отдается в нагрузку при выходном напряжении, равном 65% верхнего значения диапазона, а затем линейно снижается при уменьшении выходного напряжения. Эту особенность источников необходимо учитывать при использовании их для имитации низковольтных сетей постоянного тока. Так, для имитации авиационной бортовой сети 27 В мощностью до 500 Вт с диапазоном установившегося напряжения 18–32 В необходимо использовать сборку из трех источников Series II-iiX. В этом случае комплекс будет обеспечивать имитацию как сети постоянного, так и переменного тока. Такое решение с использованием единого источника питания серий Compact-iiX или Series II-iiX получается оптимальным по критерию «цена/качество», если требуется имитировать мощную сеть переменного тока и относительно маломощную низковольтную сеть постоянного тока.

Выбор решения по подбору устройств генерации импульсных и гармонических

помех для разных типовых вариантов комплектации мало зависит от рода тока имитируемой сети, а больше от требований НТД. В одних случаях используются вышеописанные возможности источников питания, в других — стандартные лабораторные генераторы в комплексе с широкополосными высокочастотными усилителями мощности, и наконец, специализированные — генераторы высоковольтных импульсов и мощные генераторы гармонических помех.

Эти генераторы формируют помехи, нормированные по форме, частоте и амплитуде международной системой стандартов по ЭМС для электросетей общего назначения. Форма, частота и амплитуда допустимых помех, регламентированная отраслевыми (точнее «видовыми») стандартами, часто отличаются от сигналов, вырабатываемых серийно выпускаемыми генераторами. Например, импульсы напряжения, возникающие в электросети общего назначения, имеют длительность 100 мкс, а в авиационной

СЭС по ГОСТ 19705-89 — 10 мкс. Используя различные схемы согласования («расгласования»), аттенуаторы и дополнительные нагрузки, можно преобразовывать формы импульсов одного стандарта в импульсы другого стандарта.

Исходя из ваших требований специалисты ЗАО «ТЕСТПРИБОР» всегда могут подобрать оптимальный вариант испытательного комплекса требуемой мощности. Компактность и удобство пользования предлагаемых комплексов позволяют использовать их на всех стадиях жизненного цикла ТС: от разработки до приемо-сдаточных испытаний, а также при аттестации серийно выпускаемой продукции, в том числе и зарубежной.

В заключение хочется добавить, что поставляемые ЗАО «ТЕСТПРИБОР» комплексы имитации могут быть аттестованы с участием 32 ГНИИИ МО на возможность проведения испытаний ТС в соответствии с требованиями, установленными в конкретной НТД. ■