

Оборудование для проведения испытаний технических средств на соответствие требований к электропитанию

Сергей Гудков (Москва)

В статье обсуждается проблема моделирования показателей качества электроэнергии и создание имитаторов систем электроснабжения в диапазоне мощностей от 500 Вт до 50 кВт.

Проблема обеспечения надёжной работы технических средств (ТС), особенно современной радиоэлектронной аппаратуры, в условиях воздействия помех и различных нестабильностей в сети 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 электроснабжения (СЭС), к которым подключаются данные ТС. Это может 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, электростатики), регламентируются группой стандартов 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.

Проведение испытаний по требованиям ЭМС вызывает определённые сложности, но испытательное оборудование для их проведения (генераторы гармонических и импульсных помех) всегда можно выбрать из номенклатуры серийно выпускаемых изделий. Испытательное оборудование, которое обеспечивало бы моделирование всех необходимых пока-

зателей 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 позволило в настоящее время максимально просто и с наибольшей эффективностью решить проблему моделирования любого из показателей качества электроэнергии и, соответственно, создавать имитаторы практически любых СЭС в 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 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 НТД.

Трёхфазные источники способны создавать также любой небаланс и сдвиг фаз.

Совместное использование источников – имитаторов СЭС с различными генераторами помех позволяет созда-

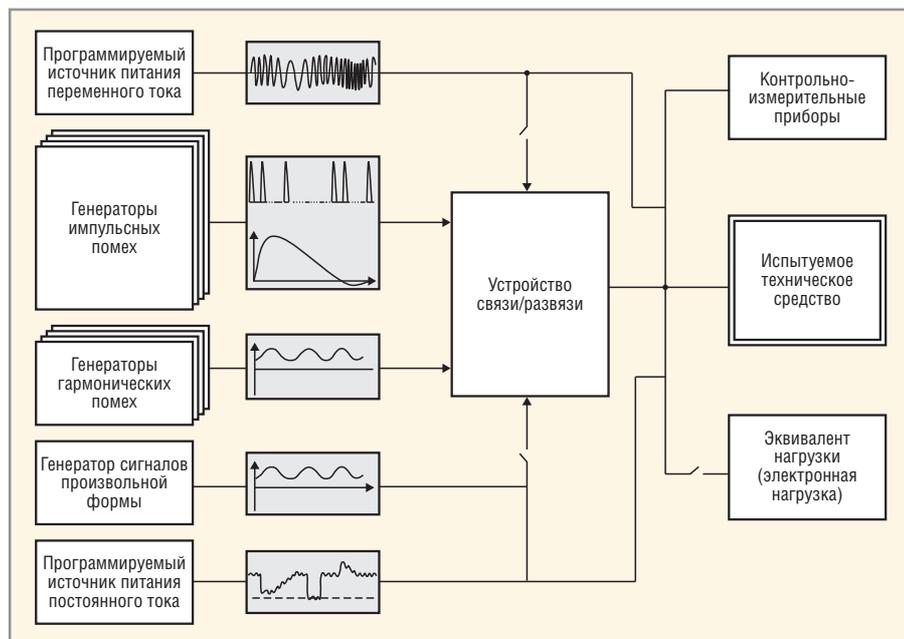
вать испытательные комплексы, способные обеспечить проведение испытаний любых ТС на воздействие всего многообразия процессов, имеющих место в цепях электропитания.

Существуют 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 Р 51317-4.XX (EN-61000) для ТС, устанавливаемых на борт кораблей;
- ГОСТ Р 51317-4.XX (EN-61000), ИТУ-К, ISO, ГОСТ Р В 51937-2002 для ТС связи.

Возможно создание также универсального комплекса-имитатора, охватывающего весь объём необходимых требований. Структурно комплекс (см. рисунок) состоит из следующего оборудования:

- программируемого источника – имитатора постоянного тока;
- программируемого источника – имитатора переменного тока (однофазного или трёхфазного);
- генератора сигналов произвольной формы, обеспечивающих 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 амплитудой от 250 до 4000 В длительностью от 50 нс до 800 мкс;
- генераторов гармонических помех, обеспечивающих наведение на шины питания гармоник в диапазоне частот от 100 кГц до 300 МГц;
- различных типов устройств связи и развязки для ввода в сеть питания импульсных и гармонических помех.



Блок-схема комплекса имитации

Программное управление комплексом обеспечивает автоматическую установку требуемых НТД значений напряжений (частот) электропитания и подачи их на испытуемое ТС с заданной последовательностью и длительностью.

Основой комплекса является источник электропитания, который выбирается в зависимости от рода имитируемой сети и требуемой мощности. Для имитации только сети постоянного тока предлагаются программируемые источники питания немецкой фирмы Toellner Elektronik Instrumente серий TOE 88X5-YY и TOE 8871(8872)-YY.

Серия TOE 88X5-YY (см. таблицу 1) представлена широким модельным рядом с диапазоном выходного напряжения 0...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 (т.к. источники построены на основе линейных стабилизаторов напряжения) и высокое быстродействие по изменению напряжения во всём выходном диапазоне (время изменения напряжения от 10 до 90% диапазона не более 200 мкс). В совокупности с прилагаемым программным обеспечением для построения кривых выходного напряжения и тока (ArbNet), это позволяет создавать близкие к реальным кривые переходных процессов и имитировать пульсацию напряжения с частотой до 2 кГц. Кроме того, для этих источников существуют дополнительные модули,

позволяющие создавать пульсации напряжения с гармониками до 100 кГц с помощью обычного маломощного генератора. Есть и другие полезные для испытаний возможности, например, кратковременная отдача в цепь питания тока, в три раза превышающего номинальный (максимальный).

Важным аспектом выбора модели источника серии TOE 88X5-YY является обеспечение требуемой мощности при минимальном значении установившегося напряжения питания испытуемого ТС. Например, для авиационных ТС при штатном режиме работы СЭС минимальное установившееся значение напряжения питания составит 18 В, а переходное значение напряжения может достигать 80 В. Таким образом, для испытаний ТС с номинальной потребляемой мощностью 500 Вт требуется 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 другие 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 только одним заданным значением во всём диапазоне выходных напряжений. Конструктивно источники данной серии строятся с использованием модульного принципа: один модуль является 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 с номинальным напряжением 27 В и мощностью до 1,28 кВт.

Источники серии TOE 8871-YY (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 (см. таблицу 2), но имеют существенно меньшее быстродействие, чем источники серии TOE 88X5-YY (время изменения выходного напряжения от 5 до 10 мс).

На основе данных источников можно создавать комплексы для имитации сетей постоянного тока мощностью

Таблица 1. Максимальные выходные токи источников серии TOE 88X5-YY, А

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

более 1,5 кВт, поскольку имеется возможность параллельной работы до трёх модулей. В этом случае максимальная мощность сети постоянного тока может достигать 4,5 кВт.

Для имитации сети переменного тока наиболее перспективно применение источников питания фирмы California Instruments, США, Compact i/iX или i/iX Series II. Эти источники специально разработаны для тестирования авиационного бортового оборудования и в полной мере могут называться имитаторами СЭС, т.к. могут работать не только в режиме АС, но и в режимах DC и АС+DC.

В модельном ряде представлены источники мощностью 750, 1500, 3000, 5000 и 10 000 ВА, которые можно включать параллельно (до трёх модулей) для увеличения мощности, а также конфигурировать в трёхфазные источники с максимальной мощностью до 30 кВА (см. таблицу 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 трёхфазного 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 с частотой 400 Гц.

В комплект поставки, например, для испытания авиационных ТС, могут быть включены 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). Максимальная мощность отдаётся 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 низко-

Таблица 2. Максимальные выходные токи источников серии TOE 8871-YY и TOE 8872-YY, А

Модель	Выходное напряжение (xx в названии модели), В					
	40	60	80	130	200	400
TOE 8871-YY	50	39	25	16	10	5
TOE 8872-YY	100	65	50	25	15	7,5

Таблица 3. Максимальные выходные токи источников Compact i/iX и i/iX Series II, А

Модель	Выходное напряжение, В			
	AC, 150	AC, 300	DC, 200	DC, 400
Compact i/iX				
751i/iX	6,5	3,25	3,25	1,6
1501i/iX	13	6,5	6,5	3,25
2253i/iX*	19,5	9,75	9,75	4,8
i/iX Series II				
3001i/iX	22,2	11,1	15,6	7,8
5001i/iX	37	18,5	26	13
9003i/iX*	66,6	33,3	46,8	23,4
10001i/iX	74,0	37,0	52,0	26,0
15001i/iX*	111,0	55,5	78,0	39,0
15003i/iX*	111,0	55,5	78,0	39,0
30003i/iX*	74,0	37,5	52,0	26,0

* Сборка из 3 источников

вольтных 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 трёх источников i/iX Series II. В этом случае комплекс будет обеспечивать имитацию сетей как постоянного, так и переменного тока. Такое решение с использованием единого источника питания Compact i/iX или i/iX Series II получается оптимальным по критерию цена/качество, если требуется имитировать мощную сеть переменного тока и относительно мало-мощную низковольтную сеть постоянного тока.

Подбор устройств генерации импульсных и гармонических помех для разных типовых вариантов комплектации слабо зависит от рода тока имитируемой сети и в основном определяется требованиями НТД. В одних случаях используются вышеописанные возможности источников питания, в других – стандартные лабораторные генераторы в комплексе с широкополосными высокочастотными усилителями мощности или специализированные генераторы высоковольтных импульсов и мощные генераторы гармонических помех.

Последние 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 для сигналов, вырабатываемых серийно выпускаемыми генераторами. Например, импульсы напряжения, возникающие в электросети общего назначения, имеют длительность до 100 мкс, а в авиационной СЭС по ГОСТ 19705-89 – до 10 мкс. Используя различные схемы согласования («рассогласования»), аттенуаторы и дополнительные нагрузки, можно преобразовывать формы импульсов одного стандарта в импульсы другого стандарта.

Всегда можно подобрать оптимальный вариант испытательного комплекса требуемой мощности. Компактность и удобство использования предлагаемых комплексов позволяет использовать их на всех стадиях жизненного цикла ТС – от разработки до приёмосдаточных испытаний, а также при аттестации серийно выпускаемой продукции, в том числе и зарубежной.

В заключение следует добавить, что комплексы имитации могут быть аттестованы с участием 32 ГНИИИ МО на возможность проведения испытаний ТС в соответствии требованиями, установленными конкретной НТД.

