

# СОВРЕМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

АНДРЕЙ ЦАПОВ

andrey.tsapov@eltech.spb.ru

Переоснащение Вооруженных сил России включает в себя модернизацию ранее разработанных, а также создание новых образцов изделий. Насущной задачей является предоставление качественных услуг по послепродажному обслуживанию и ремонту техники. Все эти работы включают комплексную лабораторную проверку отдельных узлов изделия на соответствие требованиям отрасли. Данная статья посвящена рассмотрению вопроса тестирования составных элементов техники на соответствие заданным техническим требованиям при наличии низкокачественной первичной сети питания.



**РИС. 1.** ▲  
Программируемый  
ИП постоянного тока  
серии XG

Выделим типичные особенности использования радиоэлектронного оборудования специального назначения:

1. Установка на средствах с автономными генераторами электрической энергии.
2. Диапазон потребляемой мощности от 10 Вт/ВА до 10 МВА/МВт.

3. Качество первичной сети питания, определяемое требованиями ТЗ (в преобладающем большинстве случаев имеется низкокачественная сеть питания).
4. Повышенные требования к надежности и безотказности работы. Остановимся более подробно на работоспособности составных эле-

ментов изделия при наличии на входе низкокачественной сети питания. Следует отметить, что подобные испытания характеризуются высокой сложностью. Связано это с трудностями поиска оборудования, способного качественно имитировать требуемые низкокачественные сети питания. Кроме того, различные объекты с автономными генераторами электрической энергии характеризуются различными параметрами первичной сети питания (таблица 1).

В каждом конкретном случае удобнее всего иметь специализированный имитатор низкокачественной сети питания, обладающий минимальным набором необходимых возможностей. С другой стороны, такой имитатор требует трудоемкой разработки. В этом случае эффективнее найти готовое оборудование, способное решать поставленные задачи. Далее в статье рассматриваются программируемые источники питания (ИП), способные моделировать низкокачественные сети питания постоянного и переменного токов.

## ИМИТАТОРЫ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ СЕТЕЙ ПИТАНИЯ

В качестве имитаторов низкокачественных сетей питания предлагает-

**ТАБЛИЦА 1. ТИПИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПЕРВИЧНОЙ СЕТИ ПИТАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ОБЪЕКТОВ-НОСИТЕЛЕЙ**

Тип транспортного средства	Параметры первичной сети питания, В
Наземный	Сети питания постоянного тока: 12; 24 (27)
Воздушный	Сеть питания переменного тока: 1×115, 400 Гц; 3×200 (линейное), 400 Гц. Сеть питания постоянного тока — 27
Надводный	Сеть питания переменного тока 3×380 (линейное), 50 Гц
Космический	Сеть питания постоянного тока*

\* – различные уровни напряжения

**ТАБЛИЦА 2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА КОМПАНИИ АМЕТЕК PROGRAMMABLE POWER**

Серия	Мощность <sup>1</sup> , кВт	Напряжение <sup>1</sup> , В	Ток <sup>1</sup> , А	Внешние интерфейсы <sup>2</sup>
DLM600	0,375–0,6	0–300	0–75	A, G, RS, USB, E
XG	0,67–1,7		0–220	
XFR	2,8		0–300	A, G, RS
DLM	3–4		0–450	
DCS	1–3		0–350	
SG	4–150	0–1000	0–6000	A, G, RS, E
SFA	4–150	0–160	0–2500	
ASD	10–320	0–60	0–8000	A, E

**Примечание:**

- <sup>1</sup> — параметры выходной сети ИП;
- <sup>2</sup> — сокращения для внешних интерфейсов связи:
  - A — аналоговый (с гальванической изоляцией и без);
  - G — GPIB (IEEE-488.2);
  - RS — RS-232;
  - USB — USB версии 2.0 (в редких случаях встречается версия 1.1);
  - E — Ethernet/LXI-Ethernet

**ТАБЛИЦА 3. ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОГРАММИРУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА КОМПАНИИ АМЕТЕК PROGRAMMABLE POWER**

Серия	Мощность <sup>1</sup> , кВА	Напряжение <sup>1</sup> , В	Ток <sup>1,2</sup> , А	Внешние интерфейсы <sup>3</sup>
i/iX	0,75–2,25	0–300	0–40	A, G, RS, E
CW	0,8–2,5	0–310	0–18,6	A, G, RS
i/iX series II	3–15	0–300	0–120	G, RS, USB, E
CSW	5,5–33,3	0–312	0–192	A, G, RS, USB, E
Ls/Lx	3–18	0–400	0–132	G, RS, USB, E
BPS	30–180		0–600	
MX	15–135		0–450	
RS	90–540		0–3600	
CS <sup>4</sup>	3–18		0–177,7	

**Примечание:**

- <sup>1</sup> — параметры выходной сети ИП (для напряжения указаны фазные значения);
- <sup>2</sup> — суммарный выходной ток по всем фазам питания;
- <sup>3</sup> — сокращения для внешних интерфейсов связи:
  - A — аналоговый (с гальванической изоляцией и без);
  - G — GPIB (IEEE-488.2);
  - RS — RS-232;
  - USB — USB версии 2.0 (в редких случаях встречается версия 1.1);
  - E — Ethernet;
- <sup>4</sup> — серия CS представляет собой источник тока.

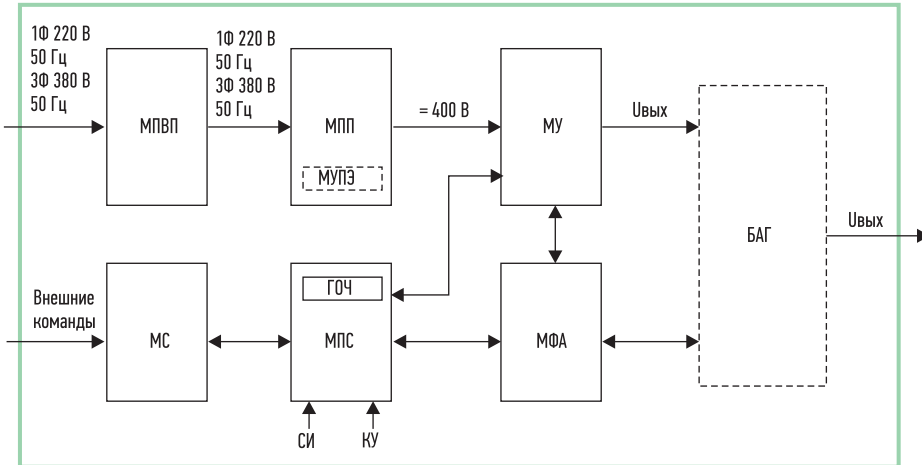
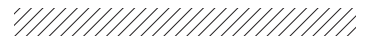
ся использовать программируемые ИП компании Ametek Programmable Power [1]. В таблицах 2, 3 представлены сводные технические характеристики рассматриваемого оборудования [2, 3, 4].

Для наглядности на рис. 1 представлен внешний вид программируемого ИП серии XG с выходной мощностью 1,5 кВт, а на рис. 2 — внешний вид ИП серии Ls с выходной мощностью 4,5 кВА.

Функциональная схема типичного программируемого ИП переменного тока показана на рис. 3, пояснения к рисунку приведены в таблице 4.



**РИС. 2.** ◀ Программируемый ИП переменного тока серии Ls



**РИС. 3. ▲**  
Функциональная схема типичного программируемого ИП переменного тока

**ТАБЛИЦА 4. ПОЯСНЕНИЯ К РИСУНКУ 3**

Обозначение	Расшифровка
МПВП	Модуль приема входного питания
МПП	Модуль преобразования питания
МУ	Модуль управления
БАГ	Блок анализатора гармоник
МС	Модуль сопряжения
МПС	Модуль памяти и синхронизации
МФА	Модуль фильтрации и анализа
ГОЧ	Генератор опорных частот
СИ	Синхроимпульсы
КУ	Команды управления (с органов управления, расположенных на лицевой панели прибора)
МУПЭ	Модуль учета потребленной электроэнергии

**ИСПЫТАНИЯ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ**

Программируемые ИП позволяют проводить испытания радио-

электронного оборудования на соответствие требованиям западных и отечественных нормативных документов. Так, проверки бортового авиационного оборудования проводятся по следующим отечественным стандартам:

- ГОСТ 19705-89, ГОСТ Р 54073 (требования к электропитанию самолетов и вертолетов);
- ГОСТ 26807-86 (работоспособность бортового оборудования в условиях электромагнитных воздействий);
- КТР-ВВФ/DO-160D/ED-14D (бортовое авиационное оборудование; переходные процессы, вызванные молнией).

А также по следующим западным стандартам:

- Airbus Detective 0100.1.8 tests (AC only);
- Airbus AMD24 Test;
- Airbus A380, A350 & AMD24 package;
- Boeing 787 Test Software;
- Mil-Std 704 rev D end E test firmware (AC only);
- Mil-Std 704 rev A-F;
- RTCA/DO-160, Change 2;
- EuroCAE-14D (Section 16, AC only).

Для примера в таблице 5 приведено сравнение возможностей программируемого ИП переменного тока серии Lx с требованиями, указанными в ГОСТ 19705-89.

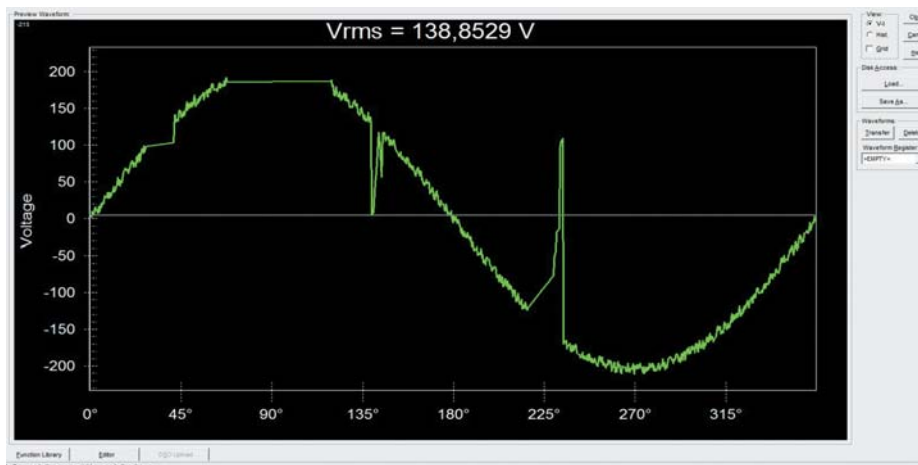
**ВОЗМОЖНОСТИ ИМИТАТОРОВ НИЗКОКАЧЕСТВЕННЫХ СЕТЕЙ ПИТАНИЯ**

Кратко рассмотрим возможности программируемых ИП Ametek Programmable Power. Во-первых, с их помощью пользователь может создавать уникальные формы выходного сигнала [4]. Форма выходного сигнала может задаваться следующими способами:

- по дискретным точкам (один период сигнала разбивается на 1024 точки, в каждой из которых можно задавать уникальное значение напряжения, рис. 4);
- путем задания параметров гармонических составляющих выходного сигнала (в этом случае можно задавать амплитуду и фазу с 1-й по 50-ю гармонической составляющей сигнала, рис. 5);
- комбинацией описанных выше способов.

Кроме описанных выше возможностей, программируемые ИП переменного тока могут включать в себя [4]:

**РИС. 4. ▼**  
Задание формы выходного сигнала по дискретным точкам



**ТАБЛИЦА 5. СРАВНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММИРУЕМОГО ИП СЕРИИ Lx С ТРЕБОВАНИЯМИ, УКАЗАННЫМИ В ГОСТ 19705-89**

Параметр	Требование по ГОСТ 19705-89	Параметр	Возможности источника питания серии Lx
<b>Система электроснабжения переменного тока</b>			
Величина выходного напряжения в установившемся режиме (для любой из фаз), В	100–127	Диапазон изменения выходного напряжения (фазное), В	0–400
Угол сдвига между векторами напряжений любых соседних фаз, град.	116–124	Диапазон изменения начальной фазы сигнала, град.	0–360*
Допустимая длительность перерывов электропитания, мс	80	Требование может быть выполнено	
Длительность накладываемых на питающую шину импульсов напряжения при отключении приемников напряжения, мкс	0,05–5	Требование может быть частично выполнено	
Установившийся допустимый диапазон частоты напряжения переменного тока, Гц	360–440	Диапазон изменения частоты выходного напряжения, Гц	17–1000
Длительность кратковременных нестабильностей величин выходного напряжения и частоты	От 10 мс до 7 с (в соответствии с табл. 5 ГОСТ 19705-89)	Типичная скорость нарастания/спада выходного сигнала для активной нагрузки, В/мкс	≈ 10–20
Скорость изменения частоты из-за ухода ее в пределах допусков установившегося режима работы, Гц/с	Не более 2,5	Требование может быть выполнено	
Коэффициент модуляции частоты при установившейся работе системы электроснабжения	Не более 0,01 от номинальной частоты	Требование может быть выполнено	
<b>Система электроснабжения постоянного тока</b>			
Допустимый диапазон изменения напряжения	24,0–31,5	Диапазон изменения выходного напряжения, В	0–400
Требования к частотным составляющим пульсации напряжения (п.п. 2.2.3), кГц	0,01–10	Требование может быть выполнено	
Длительность кратковременных нестабильностей величины выходного напряжения и частоты, с	0,01–7 (в соответствии с табл. 8 ГОСТ 19705-89)	Требование может быть выполнено	

**Примечание:** для сравнения из ГОСТ 19705-89 взяты значения, соответствующие ненормальной работе изделия (худший вариант).

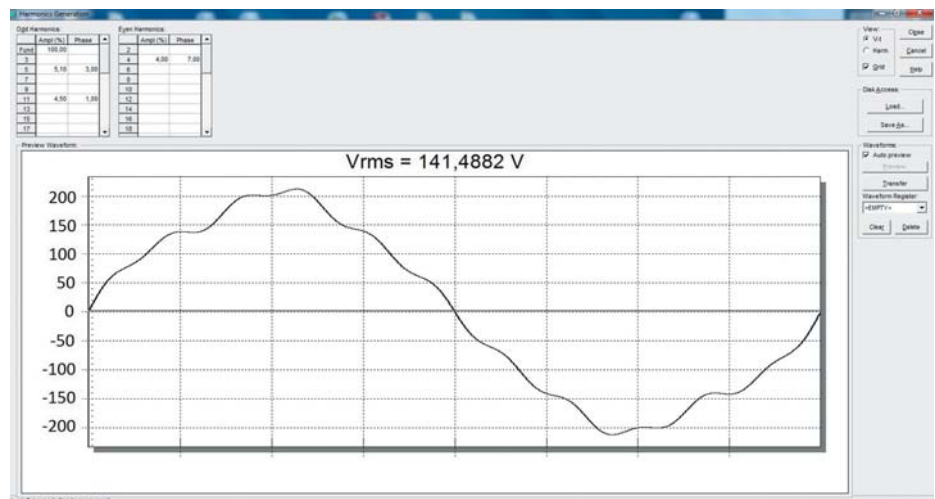
\* – по умолчанию, начальная фаза сигнала фазы А принимается равной 0. Фазы В и С могут варьироваться в пределах 0–360°.

- анализатор параметров выходной цепи (рис. 6);
  - анализатор параметров гармонических составляющих выходного сигнала (рис. 7);
  - встроенный калибратор;
  - встроенный анализатор формы выходного сигнала (по току и напряжению, рис. 8);
  - счетчик количества потребленной электрической энергии (рис. 9).
- Анализатор параметров выходной цепи позволяет измерять указанные ниже параметры выходной цепи для каждой из трех фаз отдельно:
- напряжение (действующее значение);
  - ток (действующее значение);
  - фаза;
  - активная, реактивная и полная мощность;
  - коэффициент мощности;
  - пиковое значение тока;
  - крест-фактор.
- Анализатор параметров гармонических составляющих выходного

сигнала позволяет измерять амплитуду и фазу с 1-й по 50-ю гармонической составляющей сигнала. Измерение производится по напряжению и току для каждой из трех фаз отдельно.

Встроенный калибратор предназначен для калибровки выхода ИП при помощи встроенных измерительных средств ИП. Встроенный анализатор формы выходного сигнала предназначен

**РИС. 5. ▼** Задание формы выходного сигнала путем ввода параметров (амплитуды и фазы) гармонических составляющих сигнала



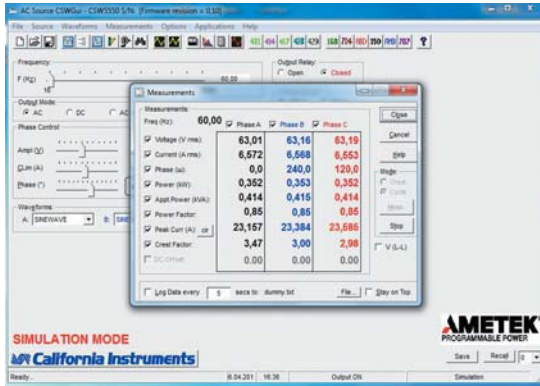
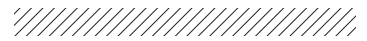


РИС. 6. ▲

Внешний вид анализатора параметров выходной цепи при использовании графического пользовательского интерфейса для управления ИП

РИС. 7. ►

Внешний вид анализатора параметров гармонических составляющих выходного сигнала при использовании графического пользовательского интерфейса для управления ИП

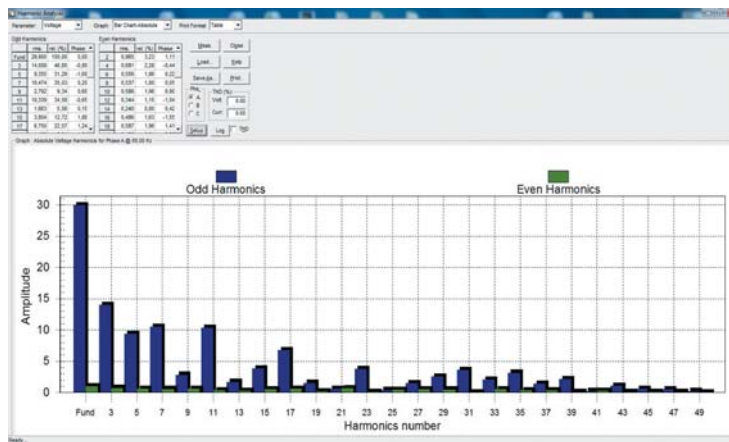


РИС. 8. ►

Внешний вид встроенного анализатора формы выходного сигнала при использовании графического пользовательского интерфейса для управления ИП

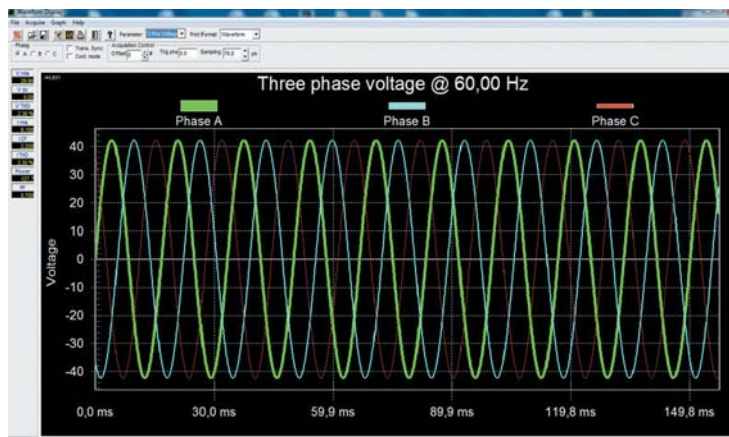


РИС. 9. ▼

Внешний вид счетчика количества потребленной электрической энергии при использовании графического пользовательского интерфейса для управления ИП



для визуализации выходного сигнала (аналог стандартного осциллографа). Для вывода доступны формы кривых напряжения и тока. Визуализация возможна как по выбранной фазе, так и для всех трех фаз отдельно.

Счетчик количества потребленной электрической энергии измеряет потребление электрической энергии по каждой из трех фаз отдельно и суммарное значение. Дополнительно данная опция позволяет строить график зависимости от мощности потребления от времени.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящее время проблемы проверки радиоэлектронного оборудования военного назначения становятся все более актуальными. В частности, любое оборудование должно стабильно функционировать при наличии низкокачественной первичной сети питания. Для выполнения данной проверки требуются специализированные средства, способные имитировать различные типы нестабильности сетей питания постоянного и переменного токов, включая кратковременные искажения. Для решения данной задачи предлагается использовать программируемые ИП компании Ametek Programmable Power. Данное оборудование позволяет:

- уменьшить временные затраты на проверку изделий (в части стабильности работы изделия при низкокачественной первичной сети питания);
- автоматизировать процесс проверки оборудования;
- интегрировать оборудование в существующий/создаваемый лабораторный комплекс разработчика (используя возможности интерфейса Ethernet, среды LabView и др.);
- уменьшить суммарные габариты лабораторного оборудования благодаря наличию большого количества встроенных средств (другими словами, ИП будет заменять ряд дискретных приборов: анализатор параметров цепи, счетчик количества потребленной электроэнергии, анализатор мощности, стандартный осциллограф и т. д.);
- сократить время, необходимое для обучения персонала работе с лабораторным комплексом, благодаря уменьшению номенклатуры и унификации перечня используемого оборудования. ●

**ЛИТЕРАТУРА**

1. www.programmablepower.com
2. Цапов А. А. Программируемые источники питания постоянного тока серии SG // Компоненты и технологии. 2014. № 6.
3. Цапов А. А. Применение программируемых источников питания постоянного тока для проведения испытаний радиоэлектронного оборудования // Силовая электроника. 2014. № 6.
4. Цапов А. А. Применение имитатора низкокачественной сети питания для проверки радиоэлектронного оборудования // Технологии в электронной промышленности. 2015. № 2.
5. www.eltech.spb.ru/

Более того, ИП может работать в одном из трех основных режимов работы: AC, DC, AC+DC. AC и DC-режимы соответствуют режимам работы источника переменного и постоянного тока соответственно. Другими словами, ИП переменного тока может заменить два различных прибора: источник питания переменного и источник питания постоянного тока. Режим работы AC+DC соответствует переменному напряжению с постоянной составляющей.