

Особенности построения имитаторов бортовых систем электроснабжения

В статье рассматриваются современные проблемы, которые требуется решать при создании испытательного оборудования, представляющего собой имитаторы систем электроснабжения. Основное внимание уделяется бортовым авиационным системам электроснабжения, параметры которых наиболее полно содержатся в государственных стандартах.

Алексей Воронцов

av@aktor.ru

Петр Заика

sp.pribor@gmail.com

Качество электроэнергии (КЭ) системы электроснабжения (СЭС), независимо от ее назначения, функционального и структурного построения, при работе на активную статическую нагрузку практически не приводит к изменению первоначальных его показателей, что, в свою очередь, благоприятно сказывается на работоспособности любого вида аппаратуры. Однако реальная нагрузка и ее циклограмма потребления электроэнергии (мощности) существенно отличаются от статического режима. Это обуславливает изменение текущих значений всех показателей КЭ, воздействующих на входные цепи аппаратуры. Отсюда вытекает требование стойкости аппаратуры и обеспечения заданных функциональных характеристик при реальных

значениях изменений входного напряжения, которые являются выходными параметрами СЭС.

Все статические и динамические изменения напряжения, которые отражают КЭ конкретной СЭС самолетов и вертолетов, нормируются в [1]. В соответствии с этим КЭ принято характеризовать следующими показателями:

- установившееся отклонение напряжения;
- переходное отклонение напряжения;
- коммутационные импульсы напряжения;
- высокочастотные составляющие (модуляция напряжения).

На рис. 1–6 приведены в графическом изображении показатели КЭ, действующие в СЭС постоянного (рис. 1–5) и переменного (рис. 2, 3, 6) тока самолетов и вертолетов. Изображения, приведенные на рисунках, даны без учета наложения на номинальное напряжение СЭС.

Форма кривой, приведенной на рис. 1, показывает переходные отклонения напряжения, возникающие в процессе динамических изменений нагрузки и соответствующих изменений режимов работы СЭС, и не соответствует действительным значениям. Их принято изображать эквивалентными характеристиками, позволяющими упростить методы испытаний аппаратуры.

Обеспечение работоспособности аппаратуры при воздействии на ее вход указанных факторов предполагает, во-первых, правильное задание требований к аппаратуре, а во-вторых — соответствующую экспериментальную проверку. Основой для формирования требований, предъявляемых к аппаратуре, являются реальные значения показателей КЭ, изложенные в нормативных документах на системы электроснабжения [1]. Они являлись базовыми значениями при отработке требований, предъявляемых к аппаратуре, питание которой осуществ-

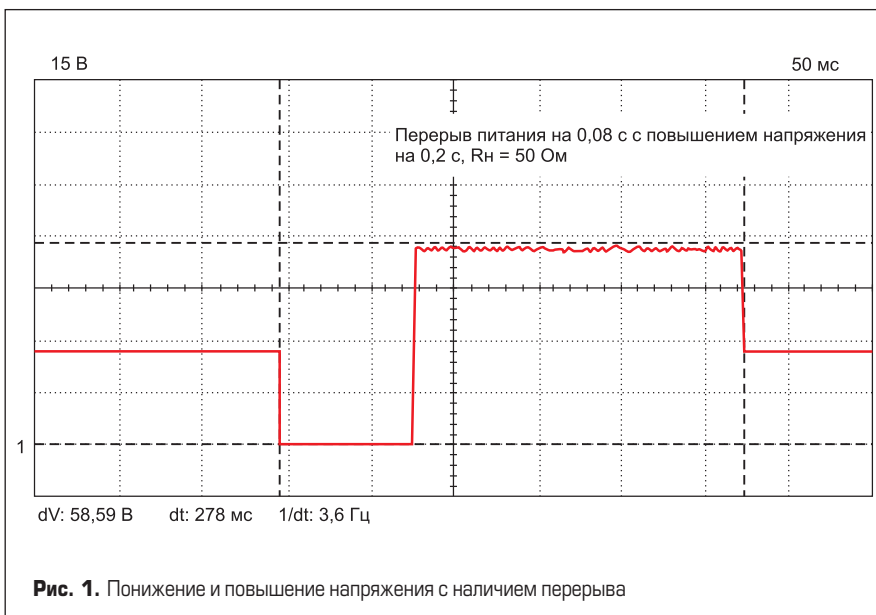


Рис. 1. Понижение и повышение напряжения с наличием перерыва

вляется от данных СЭС, приведенных в [2]. Требования к преобразователям напряжения, которые являются составной частью аппаратуры, также изложены в [2].

К настоящему времени состав и нормы КЭ уже сформировались для всех СЭС постоянного и переменного тока и стали типовыми. Однако численные значения показателей КЭ для СЭС различных носителей, но одного номинального выходного напряжения, отличаются, что обусловлено физической природой систем генерирования. Кроме того, они с течением времени не остаются постоянными: по мере совершенствования принципов построения СЭС, уровня развития ее основных составных частей показатели КЭ постепенно улучшаются.

Принципам формирования требований к СЭС в части КЭ и к аппаратуре, сложившимся в практике, присущи некоторые особенности, которые состоят в следующем:

- требования к СЭС формируются исходя из оптимизации ее технико-экономических показателей;
- требования к аппаратуре устанавливаются исходя из норм, действующих на ее входе, и физической возможности противостоять им без дополнительных средств защиты, т. е. надежности.

В некоторых нормативных документах (НД) требования к СЭС и к аппаратуре совмещены. Но при разработке этих требований не всегда учитывались функциональные особенности аппаратуры и физические процессы, которые приводят к искажению стандартизованных уровней показателей КЭ, изложенных в НД на СЭС. Таким образом, и методики по проверке работоспособности аппаратуры при заданных уровнях показателей КЭ содержат критерии, неточно отражающие процессы, протекающие во входных цепях аппаратуры. Что, в свою очередь, приводит к некоторой некорректности выбора критериев оценки и, соответственно, методики испытаний.

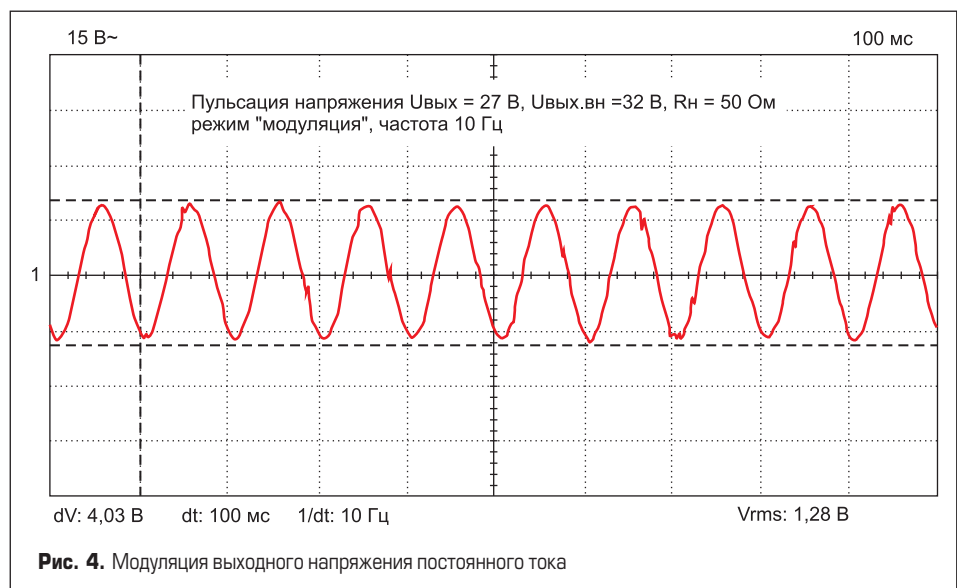
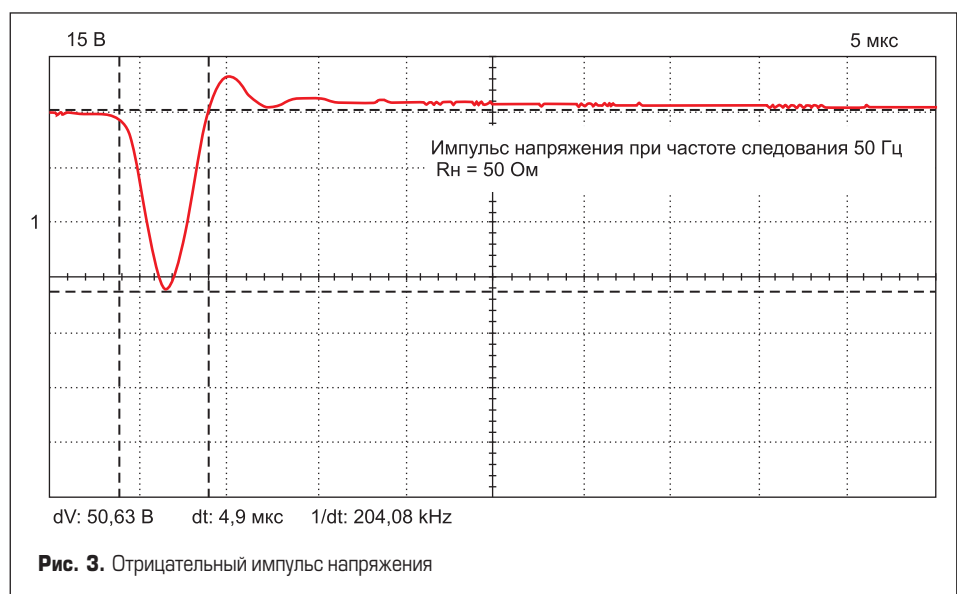
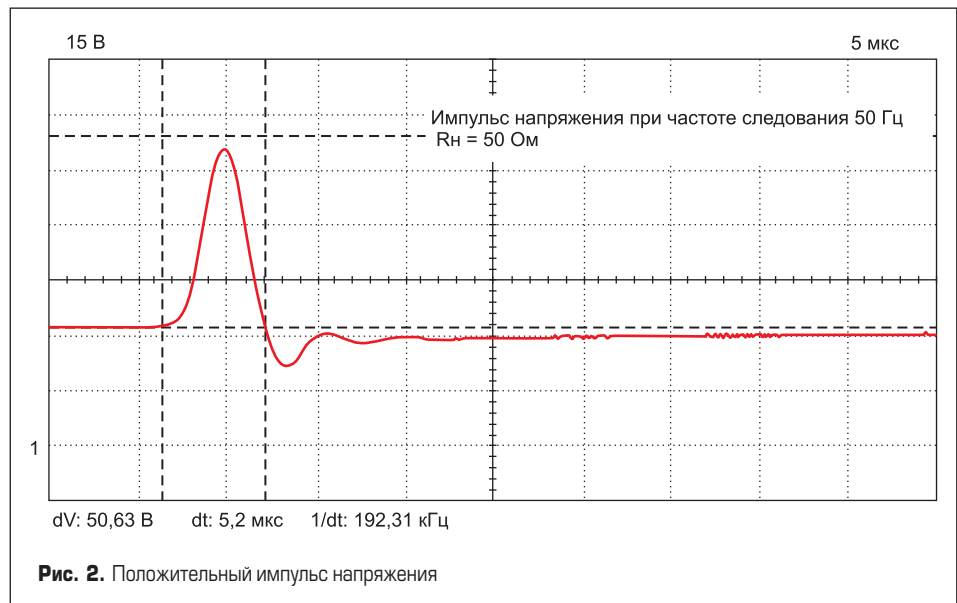
Текущее значение напряжения СЭС постоянно изменяется. Максимальное и минимальное отклонения напряжения нормируются НД на СЭС, имеют конкретные значения и могут отличаться для систем разных объектов-носителей. Они являются теми пределами, при длительном воздействии которых аппаратура должна надежно работать в течение заданного ресурса.

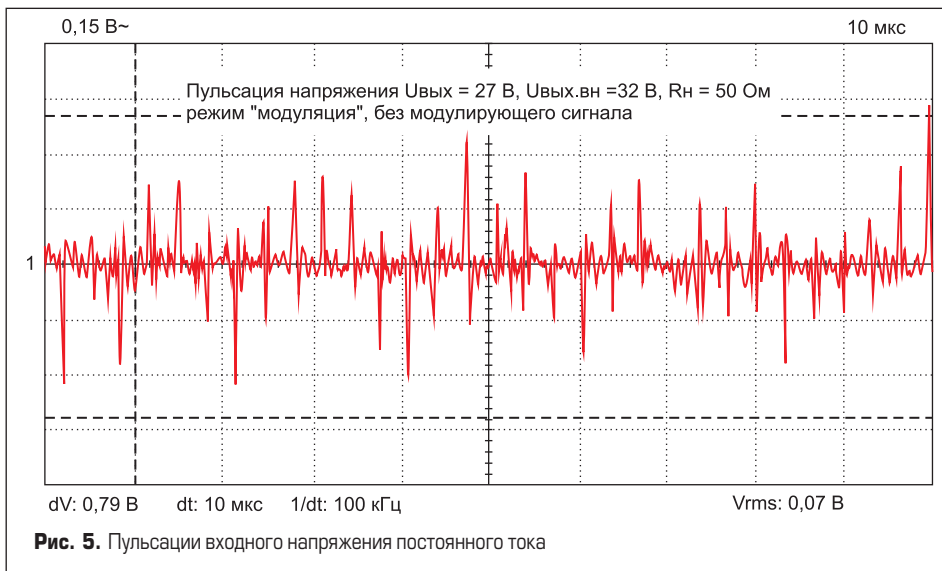
Разумнее было бы формулировать требования к аппаратуре не в конкретных значениях показателей КЭ, приведенных ко входу, а указывать некоторый диапазон, ограниченный минимальным и максимальным уровнями. При этом оценка стойкости аппаратуры должна проводиться путем воздействия на ее входные цепи минимального и максимального, а также любого значения из указанного диапазона.

Такой подход позволяет несколько облегчить испытания аппаратуры, а это, в свою очередь, позволит снизить сложность испытательного оборудования, т. е., в конечном счете упростить построение имитаторов.

Рассмотрим более подробно два подхода к оценке работоспособности аппаратуры при испытаниях на стойкость к воздействию переходных отклонений напряжения. Для упрощения анализа процессов, протекающих

во входных цепях аппаратуры, рассмотрим три случая при следующих допущениях: входные цепи аппаратуры обладают чисто активным, чисто индуктивным или чисто емкостным сопротивлением.





Следует заметить, что в качестве входных цепей аппаратуры выступают преобразователи напряжения, на входе которых содержатся фильтры. В момент воздействия переходного отклонения напряжения величина входного (пускового) тока будет определяться схематехническим построением входной цепи аппаратуры. Для чисто активного характера ток будет пропорционален скачку напряжения. Если напряжение увеличится в три раза, то и входной ток также вырастет втрое.

При чисто емкостной нагрузке ток достигает огромных значений. Он может быть в десять и более раз больше входного тока при номинальном режиме работы. Это связано с величиной емкости и местом ее положения в тракте передачи мощности — непосредственное присоединение к входным клеммам или подключение через дроссель. При чисто индуктивной нагрузке с момента появления скачка напряжения ток будет медленно нарастать до установившегося значения.

Эти замечания справедливы для случаев, когда в аппаратуре не приняты специальные меры по ограничению тока или напряжения, а входные цепи представляют один из рассмотренных вариантов. Следует отметить, что эти варианты чисто теоретические. На практике входные цепи аппаратуры являются более

сложными по схемному построению. В [3] для примера приведены применяемые на практике простейшие способы защиты от импульсных воздействий и переходных отклонений напряжения. Отсюда напрашивается требование к аппаратуре в следующем изложении:

- приемники электроэнергии, предназначенные для работы непосредственно от СЭС, должны обеспечивать свои выходные характеристики при значениях показателей КЭ, установленных для этой системы;
 - потребляемый ток в момент воздействия переходного отклонения напряжения не должен превышать полуторакратного значения от тока, потребляемого при номинальном режиме работы. Возможны и другие нормы.
- Требования в таком изложении могут быть реализованы, если во входных цепях аппаратуры имеются узлы ограничения тока и напряжения. Это является принципиальным положением, так как из него следует и соответствующий метод проверки аппаратуры.

Современные требования устанавливают ограничения на уровне пяти номинальных значений от потребляемого тока при номинальном режиме работы. Стандартизованная длительность переходного отклонения напряжения находится в диапазоне 0–1 с с дискретными значениями 0,08; 0,1; 0,2; 0,5; 1 с,

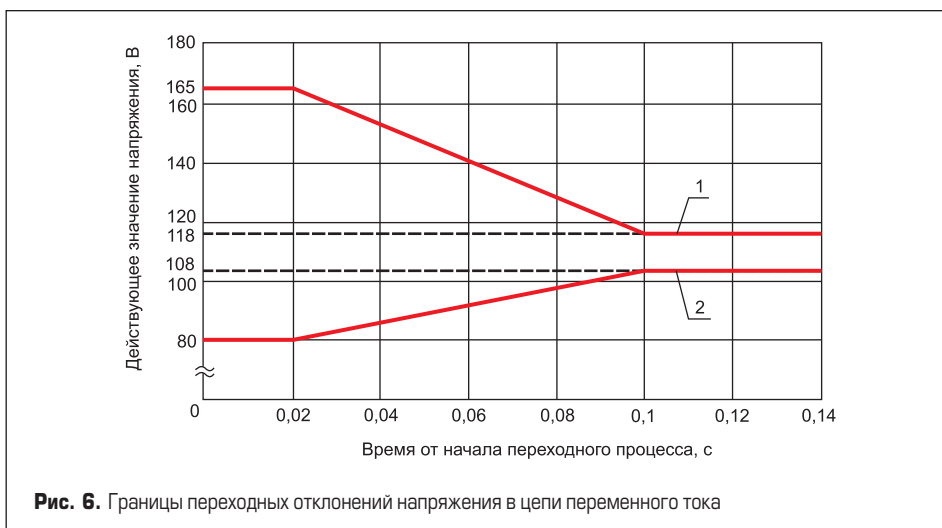


Рис. 6. Границы переходных отклонений напряжения в цепи переменного тока

а длительность переходного отклонения потребляемого тока на порядок меньше.

Наиболее сложный случай имеет место при емкостной нагрузке. Это следует из того, что активное сопротивление входных цепей мало, поэтому им можно пренебречь при расчете входного тока. При заряде входных емкостей их постоянная времени также незначительна.

Кроме того, немаловажное значение имеет правильный выбор критериев для подбора характеристик испытательного оборудования. Основным устройством испытательного оборудования является имитатор СЭС.

Основываясь на выводах о протекающих процессах во входных цепях аппаратуры, можно сформулировать следующие требования к имитатору СЭС и его аттестации:

- Мощность имитатора должна быть соизмерима с мощностью испытываемой аппаратуры или более.
- При наличии во входных цепях аппаратуры ограничителей напряжения и тока испытания могут проводиться с помощью имитатора меньшей мощности, чем потребляемая мощность аппаратуры в номинальном режиме. Это не сказывается на достоверности результатов испытаний. Однако такое положение применимо только в тех случаях, когда имеется возможность изменять мощность, потребляемую испытываемой аппаратурой.
- Амплитуда переходного отклонения напряжения, формируемая имитатором, устанавливается на эквиваленте резистивной нагрузки, сопротивление которой по величине должно быть таким, чтобы выходная мощность, рассеиваемая на нем, соответствовала номинальной мощности имитатора.
- С целью сокращения времени на проведение испытаний по всему составу показателей КЭ последовательность подачи воздействий на испытываемую аппаратуру можно запрограммировать.

При таком подходе методика сводится к следующим простым операциям:

- установка амплитудного значения переходного отклонения на резистивном эквиваленте нагрузки;
- подача на вход аппаратуры переходного отклонения;
- измерение потребляемого тока в течение действия переходного отклонения напряжения;
- измерение функциональных характеристик аппаратуры — критериев ее работоспособности синхронно с подачей переходного отклонения.

Если амплитудное значение потребляемого тока не превышает заданного значения и при этом не произошло других отказов, то испытания считаются положительными.

При анализе проблем, связанных с особенностями создания имитационного оборудования, рассматривался только один показатель КЭ — переходное отклонение напряжения. Аналогично обстоит дело и с остальными показателями. Если имитатор обеспечивает генерацию импульсов напряжения амплитудой до 1000 В, провалов входного напряжения до нуля, высокочастотные помехи в заданном

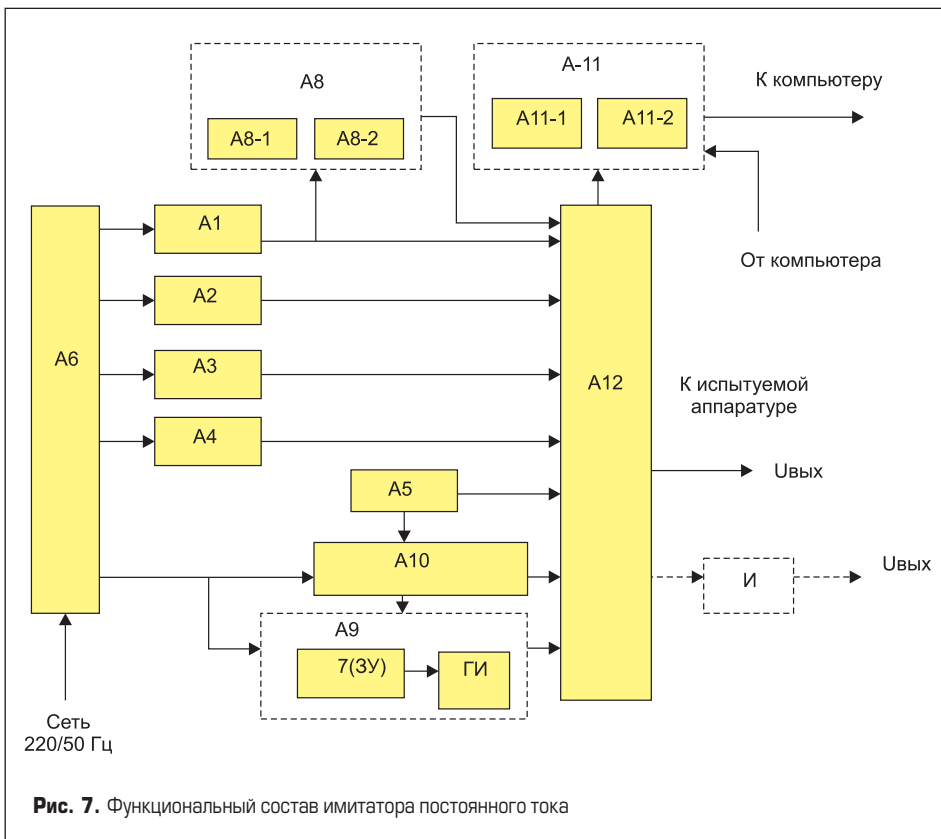


Рис. 7. Функциональный состав имитатора постоянного тока

диапазоне частот, изменение установившегося отклонения напряжения, то существенных методических отличий при испытаниях не будет. Проведенный анализ позволяет сформировать имитационный комплекс для проведения испытаний аппаратуры.

На рис. 7 представлена функциональная схема имитатора, который позволяет проводить полный цикл испытаний аппаратуры на соответствие требованиям [2]. Представленная функциональная схема может рассматриваться как базовая. В современных условиях вместо трех источников, обеспечивающих установившееся значение напряжения, повышение и понижение с нулевым значением на заданное время, задача может решаться двумя или одним программно управляемым источником.

Исходя из требований к имитатору (рис. 7) в его состав входят следующие функциональные устройства:

- A1 — основной внутренний источник, предназначенный для питания испытываемой аппаратуры в установившемся режиме работы и при воздействии нестационарных процессов.

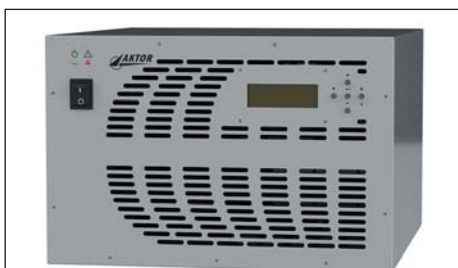


Рис. 8. Базовый преобразователь имитационного комплекса постоянного и переменного тока

- A2, A3 — внутренние источники, предназначенные для формирования переходных отклонений напряжения как при однократном, так и при циклическом воздействии повышения или понижения соответствующим.
- A4 — внутренний служебный источник, предназначенный для питания электро-механических силовых реле.
- A5 — схема ручного задания параметров и режима работы. В состав схемы входят элементы управления, расположенные на передней панели.
- A6 — узел распределения напряжения по внутренним узлам имитатора, питание которых осуществляется от входной сети.
- A8 — устройство формирования переменных составляющей в выходном напряжении имитатора. В составе устройства имеется генератор стандартных сигналов (A8-1),

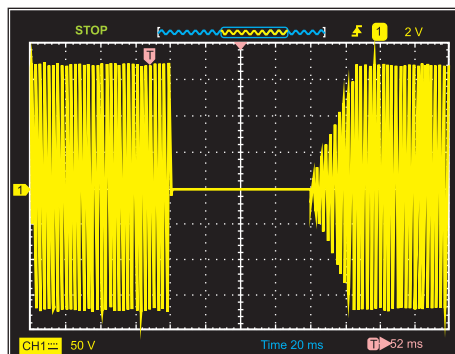


Рис. 9. Моделирование провала питающего напряжения переменного тока 115 В/400 Гц до 0 В на время 80 мс с последующим восстановлением до номинального значения за 20 мс

предназначенный для создания синусоидального сигнала в заданном диапазоне частот, и усилитель мощности (A8-2).

- A9 — устройство формирования импульсов. В его состав входит зарядное устройство (ЗУ-7) с регулируемым выходным напряжением от 20 до 400 В (A7), предназначенное для заряда накопительных конденсаторов, и генератор импульсов (ГИ).
- A10 — блок формирования переходных отклонений напряжения и задания временных характеристик всех нестационарных процессов.
- A11 — комплекс измерений и регистрации переходных процессов на выходе имитатора с выдачей информации на компьютер (осциллограф A11-1) и генератор стандартных сигналов (A11-2).
- A12 — блок электро-механических силовых реле, с помощью которых устанавливаются необходимые параметры и режим работы. Конструктивные исполнения функциональных узлов максимально приближены к сопряженным с ними другими функциональными узлами. С другой стороны, практически все функциональные узлы связаны с элементами управления, расположенными на передней панели (A5).

По приведенной структуре может быть изготовлен имитатор постоянного и переменного тока. Отличие между ними состоит только в наличии в структуре имитатора постоянного тока дополнительно инвертора (И), обозначенного на схеме пунктиром, и контрольных приборов переменного тока. Такое структурное построение использовано при серийном изготовлении имитаторов.

На рис. 8 приведен базовый вариант преобразователя, позволяющий создавать имитационные комплексы бортовых систем электроснабжения постоянного и переменного тока с номинальным напряжением 27 и 115 В (400 Гц). Такие комплексы предназначены для электропитания и испытания аппаратуры на устойчивость к воздействию переходных отклонений напряжения (бросков и провалов, рис. 9), импульсов положительной или отрицательной полярностей, переменной составляющей в диапазоне частот в соответствии с требованиями ГОСТ Р 54073-2010 [1]. Имитаторы учитывают рекомендации, изложенные в КТ160D/14D.

Имитационные комплексы уместно использовать в процессе разработки, испытаний и производства бортовой аппаратуры.

Литература

1. ГОСТ Р 54073-2010 «Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии».
2. ГОСТ В 24425-1990 «Источники вторичного электропитания унифицированные. ОТТ».
3. Кушнерев Н. А., Родин М. В. Защита источников вторичного электропитания большой мощности от бросков пускового тока и коммутационных процессов в питающей сети // Электропитание. 2014. № 3.