

Испытательные комплексы для проверки бортовых авиационных приборов на соответствие квалификационным требованиям КТ-160

Александр Подолько (Москва)

В статье представлены технические решения по построению программно-аппаратных комплексов на базе серийно выпускаемого зарубежного оборудования для проведения испытаний, регламентированных разделами 16 – 22, 25 КТ-160.

В данной статье мы не будем объяснять необходимость проведения испытаний на соответствие квалификационным требованиям КТ-160 «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудо-

вания (Внешние воздействующие факторы). Требования, нормы и методы испытаний». Этот документ был введен в действие с 1.10.2005 в качестве основного нормативно-технического документа (НТД) для проведения квалификации разрабатываемого бортового авиационного оборудования.

Оборудованием для проведения испытаний на механические, тепловые

Таблица 1. Комплекс для проведения испытаний на соответствие требованиям разделов 16, 17 и 18

Раздел требований	Приборы в составе комплекса	Основные характеристики приборов	Назначение
16 КТ-160D «Электропитание». Постоянный ток напряжением 27 В номинальной мощностью до 3 кВт	DAT80-120, DANA, Италия	Управляемый линейный источник постоянного тока: 0...80 В; 0...120 А; 9,6 кВт Аналоговое управление выходным напряжением Скорость изменения выходного напряжения 400 В/мс	Имитация всех показателей качества электроэнергии, установленных в КТ-160D, раздел 16, ГОСТ 19705 (кроме импульсов напряжения 50 и 600 В) и DO-160F, раздел 16 для испытаний авиационного оборудования, питающегося от сети постоянного тока 27 В при потребляемой номинальной мощности до 3000 Вт (максимальный потребляемый ток в диапазоне входных напряжений от 5 до 80 В – 120 А)
	TOE 8805-80, Toellner, Германия	Программируемый линейный источник постоянного тока: 0...32 В; 0...5 А; 160 Вт 1000 узловых точек для задания изменений во времени выходного напряжения и ограничений по току Скорость изменения выходного напряжения – 2 кВ/мс По заказу: амплитудная модуляция до 4 В; до 70 кГц (разд. 18 КТ-160) В предложенной конфигурации используется как программируемый задающий генератор для ИП фирмы DANA	
16 КТ-160D «Электропитание». Трёхфазный переменный ток, частота 360...800 Гц, напряжение 115/200 В, мощность 2 кВА на фазу с возможностью использования в однофазном режиме с мощностью 6 кВА. Постоянный ток напряжением 270 В, мощностью 4 кВт	61504, Chroma, Тайвань	Многофункциональный однофазный программируемый источник переменного тока 0...300 В; 16...1000 Гц; 2 кВА на фазу; постоянного тока напряжением до 400 В	Имитация всех показателей качества электроэнергии, установленных в ГОСТ 19705 (кроме импульсов напряжения 70 и 600 В и пульсации напряжения с частотой более 500 Гц в сети постоянного тока) и DO-160F раздел 16 для испытаний авиационного оборудования, питающегося от следующих сетей: – переменного тока трёхфазной и однофазной 115/230 В постоянной частоты 400 Гц и переменной частоты 360...800 Гц при мощности потребления до 6 кВА (максимальный ток до 14,8/44,4 А в диапазоне установившихся значений напряжений от 75 до 135 В); – постоянного тока 270 В при потребляемой мощности до 6 кВт (максимальный ток до 14 А в диапазоне установившихся значений напряжений от 230 до 290 В); – постоянного тока 27 В при потребляемой мощности до 500 Вт (максимальный ток линейно уменьшается с 22 А при напряжении 33 В, до 15 А при напряжении 20 В)
17 DO-160F «Импульсы напряжений»	MIG 2000-6, EMC-Partner, Швейцария	Генератор высоковольтных импульсов (силовая платформа)	Ввод в любую сеть электропитания высоковольтных импульсов ±600 В с формой, установленной разделом 16 КТ-160 (DO-160D), DO-160F и ГОСТ 19705
	Fx-DO160-S17, EMC-Partner, Швейцария	Сменный блок к MIG 2000-6, формирующий импульсы: амплитуда: ±(200...1000) В; длительность: 10 мкс; фронт: 2 мкс; период 1 с	
	CN-MIG-BT, EMC-Partner, Швейцария	Индуктор для инъекции в кабель питания импульсов от генератора MIG 2000-6 и синусоидальных колебаний с частотой более 5 кГц	
	Veri 50 (5), EMC-Partner, Швейцария	Высоковольтный высокочастотный резистор 50 Ом для калибровки процесса инъекции	
18 КТ-160D, «Восприимчивость к помехам звуковой частоты, поступающим через входы электропитания» Трёх-/однофазный переменный ток частотой 360...800 Гц, напряжение 115/200 В	TOE 7741, Toellner, Германия	Функциональный генератор 1 мГц...100 кГц; 45 мВ...45 В; 63 Вт. В качестве управляющего генератора обеспечивает в имитируемой сети постоянного тока пульсации напряжения с частотой до 20 кГц Через индуктор CN-MIG-BT обеспечивает создание в сети электропитания помех с частотой 5...100 кГц	Ввод помех до 5 кГц и амплитудой до 12 В в имитируемой цепи питания 115 В/400 Гц обеспечивается следующими функциональными возможностями программируемых источников питания переменного тока, предложенными для раздела 16: – поточечное построение формы выходного напряжения (дискретность 100 мкс.); – гармонический синтез выходного напряжения

и климатические воздействия (разделы 4 – 8, 10 – 14 КТ-160) оснащены многие испытательные центры и соответствующие подразделения предприятий авиационной промышленности.

До последнего времени практически отсутствовало в России или существовало в единственном экземпляре оборудование для проведения испытаний на:

- воздействие нестабильности и помех, возникающих в цепях питания (разделы 16, 17, 18, см. таблицу 1);
- на электромагнитную совместимость (ЭМС) (разделы 19, 20, 21, см. таблицу 2);
- воздействие электростатических и молниевых разрядов (разделы 22, 23, 25, см. таблицу 3).

Это оборудование, как и любое испытательное оборудование, необходимо не только для проведения испытаний, но и для отработки технических решений, обеспечивающих успешное прохождение квалификационных испытаний.

В качестве одного из вариантов решения этой проблемы мы представля-

ем наши технические решения по построению программно-аппаратных комплексов на базе серийно выпускаемого зарубежного оборудования для проведения испытаний, регламентированных разделами 16 – 22, 25 КТ-160D.

КОММЕНТАРИЙ К РАЗДЕЛУ 16 КТ-160D «ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ»

Целью этих испытаний является проверка работоспособности изделий в условиях возможного отклонения параметров электропитания от номинальных. Для проведения испытаний необходим программируемый источник питания постоянного или переменного тока. Сегодня на российском рынке уже появились предложения программируемых источников нескольких зарубежных производителей. Но чаще всего эти источники лишь имеют какой-либо цифровой интерфейс для дистанционного, не синхронизированного по времени управления выходным напряжением.

Нашей задачей является выдать строго нормированный во времени график

изменения выходного напряжения источника. Для выполнения этой задачи на обычных программируемых источниках питания необходимо создать на компьютере программы реального времени для каждого испытательного сигнала.

Вторая проблема, которая возникает при попытке использования большинства предлагаемых программируемых источников питания, – это их быстродействие, т.е. скорость изменения выходного напряжения. У одних приборов эта характеристика вообще не приводится, у других (большинства) – неприемлема, так как составляет от 4 до 0,1 В/мс, в зависимости от входного сопротивления испытуемого изделия. Таким образом, время изменения выходного напряжения от 27 до 80 В и/или от 80 до 27 В будет составлять примерно 50...500 мс, а требования по длительности испытательного напряжения 80 В – 20 мс.

В КТ-160D не регламентировано время переходного процесса, но очевидно, что оно не должно быть в 5 – 20 раз больше регламентирован-

Таблица 2. Комплекс для проведения испытаний на соответствие требованиям разделов 19, 20 и 21

Раздел требований	Приборы в составе комплекса	Основные характеристики приборов	Назначение
19 DO-160F «Восприимчивость к помехам индукции, воздействующим через провода линий связи и корпуса оборудования»	D4AAR, DANA, Италия	Источник переменного напряжения и тока (четырёхквadrанный усилитель) с токами до 120 А в диапазоне 0...20 В и частотами от 0 до 20 кГц, с встроенным аналоговым интерфейсом управления выходным напряжением	Создание магнитных полей, наводимых на корпуса и соединительные кабели для испытаний всех категорий оборудования (Z, A, B, C) (частоты 380 Гц...15 кГц, ток 1,6...120 А)
	TOE 7741, Toellner, Германия	Функциональный генератор 1 мГц...100 кГц; 45 мВ...45 В; 63 Вт	
	Заказное изделие	Повышающий трансформатор напряжения	Создание электрических полей, наводимых на соединительные кабели для испытаний всех категорий оборудования (Z, A, B, C) (частоты 380 Гц...15 кГц, напряженность поля 135...5400 В/м)
	MIG 2000-6, MC-Partner, Швейцария	Генератор высоковольтных импульсов (силовая платформа)	Создание импульсов электрических полей, наводимых на соединительные кабели для испытаний всех категорий оборудования (Z, A, B, C)
Fx-DO160-S19, EMC-Partner, Швейцария	Сменный блок к MIG 2000-6, формирующий пачки импульсов: амплитуда 100...1000 В; период повторения 4 мкс; длительность пачки 250 мкс		
20 DO-160F «Радиочастотная восприимчивость. (Проводимость)»	NSG 4070-75 (6), Teseq, Швейцария	Высокочастотный генератор 9 кГц...1 ГГц с встроенным усилителем 75 Вт	
	CIP 9136, Teseq, Швейцария	Инжектор для ввода радиочастотных помех от 10 кГц до 400 ГГц	
21 DO-160F, «Излучение радиочастотной энергии»	Aaronia MagnoShield DUR, Aaronia, Германия	Материал для экранирования помещения 5 × 3 × 3 м от внешнего магнитного поля, плотность потока до 0,8 Т; коэффициент подавления в 10–12 раз для частот от 0 до 30 МГц	Альтернативный вариант экранирования от внешнего радиоизлучения
	Aaronia X-Dream +, Aaronia, Германия	Материал для экранирования помещения 5 × 3 × 3 м от внешнего радиоизлучения частотой от 1 МГц до 30 ГГц; подавление 80...100 дБ для RF и 40...50 дБ для LF	
	Aaronia Shield, Aaronia, Германия	Прозрачный материал для экранирования объёма 2 × 1 × 0,7 м от внешнего радиоизлучения частотой от 100 МГц до 18 ГГц; подавление: 43...50 дБ для RF и 40...50 дБ для LF	
	Grounding Kits, Aaronia, Германия	Комплект заземления	
	EMC Bundle 3, Aaronia, Германия	Комплект для измерения электромагнитного излучения в составе: – анализатор спектра ВЧ 1 МГц...9 ГГц; – анализатор спектра НЧ 1 Гц...1 МГц; – биконическая широкополосная антенна 20 МГц...1 ГГц; – логопериодические широкополосные измерительные антенны 680 МГц...10 ГГц; – набор пробников для измерения электрических и магнитных полей 0...6 ГГц	

Таблица 3. Комплекс для проведения испытаний на соответствие требованиям разделов 22 и 25

Раздел требований	Приборы производства EMC-Partner, Швейцария	Основные характеристики приборов
22 DO-160F «Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией»	MIG 0600MS	Генератор импульсов формы 1, 4, 5; уровень: 2 – 5 для MS и 2 – 3 для SS
	CN-MIG-TT	Pin-инжектор для контактного ввода импульсов
	CN-GI-CI-V	Индуктор для электромагнитной наводки в кабель импульсов тока формы 1
	MIG 0618SS	Усилитель импульсов формы 1, 4, 5 до уровня 4, 5 для SS
	NW-MS-LEVEL1	Аттенюатор для ослабления импульсов формы 1, 4, 5 до уровня 1
	I-PROBE-MS	Пробник для измерения тока
	MIG-OS-MB	Генератор импульсов формы 2, 3 уровень 1 – 3 для контактного ввода; уровень 1 – 3 для любых кабелей; уровень 4 для кабелей длиннее 5 м; уровень 5 для кабелей с индуктивностью больше 47 мкГн
	MIG-OS-MB-EXT	Платформа для установки модулей генераторов импульсов формы 6Н и усилителей импульсов формы 2, 3 до уровня 4 – 5 для любых кабелей
	AC-DC DEC Levit 4&5	Устройство согласования MIG-OS-MB-EXT с Pin-индуктором
	NW-WF6H-MB	Модуль к MIG-OS-MB-EXT, генерирующий импульс формы 6Н
	NW-WF2-SS	Модуль к MIG-OS-MB-EXT, генерирующий импульсы формы 2 уровня 4, 5 – SS на любой кабель
	NW-WF3-1M-SS	Модуль к MIG-OS-MB-EXT, генерирующий импульс 1M-SS формы 3
	NW-WF3-10M-SS	Модуль к MIG-OS-MB-EXT, генерирующий импульс 10M-SS формы 3
	CN-MIG-BT	Индуктор для инъекции в кабель импульсов формы 2, 3; уровня 1 – 3 и импульсов от генератора MIG 2000-6
	CN-MIG-BT1	Индуктор для инъекции в кабель импульсов формы 2, 3 с апертурой 3 × 7,5
	CND-BDBC	Устройство развязки, защищающее источник питания от высокоамперных импульсов
	DN-LISN160-32	Эквивалент сети электропитания
	I-PROBE-MB-P1	Пробник для измерения тока при наведении в кабель импульсов формы 2 и 3
	TEMA	Программное обеспечение для управления комплексом MIG 0600MS и MIG-OS-MB
ESD3000-OPTOLINK	Оптическая линия связи	
Veri 50	Высоковольтный резистор	
Genecs-mig	Программное обеспечение для управления MIG 2000-6	
25 DO-160F «Электростатический разряд»	ESD3000DN1	Генератор электростатического разряда 150 пФ/330 Ом Воздушный разряд ±(1...30) кВ Контактный разряд ±(1...30) кВ Период 50 мс – 30 с
	ESD-VERI-V	Калибровочный резистор 20 ГОм
	ESD-TARGET2	Калибровочное устройство



Рис. 1. Источник питания переменного тока 1500 IX фирмы California Instruments



Рис. 2. Генератор импульсов MIG 2000 фирмы EMC-Partner

ной длительности установившегося значения. Кстати, в DO-160F и в планируемых к выпуску в 2012 г. соответствующих требованиях КТ-160F регламентируется, что время переходных процессов должно быть не более 1 мс. Таким образом, быстродействие испытательного источника постоянного тока должно быть не менее 50 В/мс.

Мы рекомендуем в качестве программируемых источников питания постоянного тока серию TOE 88x5 немецкой фирмы Toellner. Это – классические линейные источники, специально разработанные для проведения испытаний различной техники и имеющие быстродействие более 2000 В/мс. Кроме того, в комплект поставки этих источников входит специальное программное обеспечение (ПО) Arbnnet, автоматизирующее процесс создания управляющих команд временного изменения выходного напряжения.

Как и для других классических линейных источников, массогабаритные и стоимостные характеристики различных моделей серии TOE8x5 прямо пропорциональны их максимальной мощности. Поэтому мы рекомендуем источники TOE8x5 для проведения испытаний изделий номинальной мощностью до 0,5 кВт.

Для больших мощностей мы предлагаем использовать линейные источники итальянской фирмы DANA с двойным тиристорным управлением, имеющие аналоговый интерфейс. Эти приборы примерно в 2-3 раза меньше и дешевле, чем источники фирмы Toellner, и имеют быстродействие более 200 В/мс. В качестве задающего генератора для входа аналогового интерфейса можно использовать мало мощный источник TOE 88x5, что обеспечит высокий уровень автоматизации создания испытательных сигналов.

Что касается программируемых источников переменного тока, то мировыми лидерами в этом сегменте являются фирмы Chroma, Тайвань и California Instruments, США (см. рис. 1). В конкурентной борьбе между собой они выпускают практически идентичные приборы с одинаковыми и очень широкими функциональными возможностями: работа в режимах AC, DC, AC+DC, гармонический синтез выходного сигнала и его спектральный анализ, «поточечное» построение с ограничением спектра выходного сигнала до 2,5 кГц.

Но самым главным конкурентным преимуществом изделий этих фирм является программное обеспечение, которое позволяет очень легко и быстро создавать различные испытательные сигналы. Библиотека испытательных сигналов для DO-160 уже создана и поставляется вместе с источником.

Большинство источников предлагаемых серий можно объединять в трёхфазную сеть или включать параллельно для увеличения мощности однофазной сети.

КОММЕНТАРИЙ К РАЗДЕЛАМ 17, 19, 20 КТ-160D «Импульсы напряжения»

Так сложилось, что три мировых лидера в области разработки и производства испытательных генераторов для тестирования на ЭМС расположены в Швейцарии. Это фирмы Teseq (Schaffner), EM-Test и EMC-Partner (см. рис. 2). Наиболее широко проводятся испытания на общие требования по ЭМС (МЭК 61000, ГОСТ Р 51317-XX) и требования по ЭМС, принятые в автомобилестроении. Все три фирмы выпускают практически полный спектр оборудования для указанных испытаний, и в этой области между ними существует высокая конкуренция.

Что касается оборудования для испытаний на авиационные требования по ЭМС, то здесь между этими фирмами существует чёткое разделение. Генераторы высоковольтных импульсов под требования разделов 17 и 19 DO-160 выпускает только фирма EMC-Partner. Она же выпускает испытательный комплекс под раздел 22 «Восприимчивость к помехам, наведённым молниевыми разрядами».

Комплекс оборудования для испытаний под требования раздела 20 «Радиочастотная восприимчивость» выпускает фирма Teseq.

Здесь мы приводим только решение для испытаний на радиочастотную восприимчивость к помехам, наведённым в силовые и информационные линии связи. Решение, связанное с испытаниями на восприимчивость к излучаемым радиочастотным помехам, сильно зависит от габаритов испытуемого изделия.

Проблема обеспечения надёжной работы технических средств (ТС), особенно современной радиоэлектронной аппаратуры, в условиях взаимного электромагнитного влияния (ЭМС) и воздействия помех и различных нестабильностей в сети электропитания всегда была актуальной. На сегодняшний день существует реальная возможность подобрать оптимальный вариант испытательного оборудования для отработки технических решений, обеспечивающих решение этой проблемы.

Следует добавить, что практически все описанные в статье решения уже реализованы и успешно аттестованы с участием представителей 32 ГНИИИ МО РФ на проведение испытаний ТС в соответствии с требованиями, установленными конкретной НТД. Значительная часть вышеперечисленного оборудования будет представлена на авиасалоне МАКС-2011.

