

Сертификационные испытания технических средств на соответствие требованиям электромагнитной совместимости

Валерий Герасимов (Москва)

В статье рассмотрены программно-аппаратные комплексы для проведения сертификационных испытаний технических средств на соответствие требованиям электромагнитной совместимости, регламентированных разделами 16–22, 25 КТ-160D.

До недавнего времени на предприятиях России и СНГ существовало разрозненное оборудование, используемое для имитации работы бортовых сетей питания при проведении испытаний на электромагнитную совместимость авиационных приборов и систем. Развитие и совершенствование авиационной техники привело к появлению более совершенных программно-аппаратных испытательных комплексов, имеющих модульную архитектуру, которая позволяет конфигурировать данные комплексы для решения различных задач.

Рассмотрим программно-аппаратные комплексы на базе серийно выпускаемого зарубежного оборудования для проведения испытаний, регламентированных разделами 16–22, 25 КТ-160D:

- комплекс имитации бортовых сетей (КИБС) электропитания для испытаний технических средств авиационной аппаратуры на основе современных программируемых источников питания;
- комплекс имитации переходных процессов (КИПП), возникающих при одиночном и многократном ударе молнии, а также при многократных вспышках молнии;
- комплекс имитации электростатических разрядов (КИЭР).

Комплекс имитации бортовых систем

Без проведения полномасштабных испытаний на воздействие всех помех, существующих в цепях питания самолётов и вертолётов, невозможно гарантировать надёжную работу любых летательных аппаратов (ЛА), электропитание которых осуществляется от бортовых систем электроснабжения.

Проведение испытаний позволяет обнаружить наиболее уязвимые места ЛА, оценить степень их помехозащищённости и исключить возможные отказы и сбои при эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры.

Однако до настоящего времени проведение таких испытаний являлось сложной технической задачей и требовало разработки нестандартного и дорогостоящего оборудования.

При построении имитаторов бортовой сети постоянного и переменного тока, входящих в состав многофункциональных имитационных лабораторий для наземных испытаний электрооборудования ЛА, требуется высокая точность воспроизведения параметров бортовой сети. Амплитуда, частота и гармонический состав выходного напряжения имитатора должны соответствовать требованиям ГОСТ 19705-89, КТ-160, ГОСТ В 21134-75, ГОСТ В 21999-86, ГОСТ 28751-90, ГОСТ РВ 51937-2002, ГОСТ Р 51317.4.11 (4.12; 4.14; 4.16; 4.17), ГОСТ В 24425-80 и частным техническим требованиям для космических аппаратов на системы электроснабжения самолётов и вертолётов, существенно отличающихся от подобных требований к общепромышленным системам.

Известно, что при испытаниях силовых модулей с бортовыми нагрузками, возникают проблемы электромагнитной совместимости, которые до сих пор решались созданием модуля для испытания конкретного изделия. В то же время изменение элементной базы силовых модулей и состава бортовых потребителей постоянного и переменного тока привело к усложнению проблемы электромагнитной совместимости и многофункциональности.

Важным условием расширения функциональных возможностей ими-

таторов бортовой сети является их интеллектуализация, предполагающая введение информационных компонентов в состав управляющего устройства. Это позволяет решать задачи эффективного управления за счёт применения микроконтроллерных средств и персональных компьютеров.

Описываемый КИБС представляет собой программно-аппаратный комплекс, который позволяет проводить проверку и испытания ЛА на соответствие требованиям к качеству электропитания, установленным в указанных выше нормативно-технических документах (НТД). Развитое программное обеспечение облегчает моделирование любых процессов в системах электроснабжения в соответствии с требованиями, предъявляемыми к испытываемой аппаратуре.

Компактность и удобство работы с предлагаемыми комплексами позволяет использовать их на всех стадиях жизненного цикла ЛА – от разработки до приёмо-сдаточных испытаний, а также при аттестации серийно выпускаемой продукции, в том числе и зарубежной.

В статье предоставлены технические решения по комплектации программно-аппаратных комплексов на базе серийно выпускаемого зарубежного оборудования для проведения испытаний, регламентированных разделами 16–18 КТ-160D (см. таблицу 1).

Комплекс имитации переходных процессов

В настоящее время обязательным видом испытаний бортового электротехнического и электронного оборудования (БО) летательных аппаратов являются испытания на восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией. Эти процессы возникают при прямом ударе молнии в корпус летательного аппарата и последующем растекании токов молнии по различным металлическим узлам этих аппаратов, в частности, по межблочным линиям связи (МЛС).

Высокая поражающая эффективность токов растекания объясняется тем, что в МЛС возникают наведённые импульсы высокого напряжения и большие токи, представляющие собой серьёзную угрозу для современной слаботочной электроники БО. Поэтому стойкость к переходным процессам, вызванным молнией, выделена в отдельный вид испытаний, который регламентируется нормативным документом EUROCAE ED-14D/RTCA-DO-160D (KT-160D) «Условия окружающей среды и методики испытаний бортового оборудования», раздел 22: «Восприимчивость к переходным процессам, вызванным молнией». Этот документ с 2004 г. распространяется и на все типы БО, выпускаемые в России и странах СНГ.

Оборудование должно выполнять свои функции под воздействием ис-

пытательных импульсов идеализированной формы, которые имитируют импульсные наводки, индуцируемые молнией. Требования по стойкости оборудования к переходным процессам от молнии должны быть определены в НТД.

Для квалификации оборудования следует применять две группы испытаний. Первая группа испытаний оборудования на повреждаемость выполняется посредством контактного ввода, как описано в п. 22.5.1. Вторая группа испытаний, описанных в п. 22.5.2, оценивает работоспособность оборудования при воздействии импульсов на жгуты соединительных кабелей. Испытания кабельными вводами включают испытания на единственный удар, многократный удар и многократную вспышку. Их можно использовать и для проверки стойкос-

ти к повреждениям. Соответствующая группа или группы испытаний должны быть установлены в НТД на оборудование.

Данные испытания, возможно, не охватывают все аспекты взаимодействия и воздействий молнии на оборудование, работающее в системе. Для сертификации оборудования или системной установки в зависимости от выполняемых функций могут потребоваться дополнительные испытания, такие как подача импульсов разной формы, одновременный ввод импульсов в кабельный жгут и использование множества частот.

КИПП-1 предназначен для воспроизведения условий испытания бортового оборудования на устойчивость (иммунитет) к воздействию испытательных импульсов идеализированной формы, имитирующих им-

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 KT-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 KT-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 KT-160). В предложенной конфигурации используется как программируемый задающий генератор для ИП фирмы DANA | |
| 16 KT-160D «Электропитание». Трёхфазный переменный ток, частота 360...800 Гц, напряжение 115/200 В, мощность 2 кВА на фазу с возможностью использования в однофазном режиме 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; постоянный ток напряжением до 400 В | Имитация всех показателей качества электроэнергии, установленных в ГОСТ 19705 (кроме импульсов напряжения 70 и 600 В и пульсаций напряжения с частотой более 500 Гц в сети постоянного тока) и DO-160F, раздел 16, для испытаний авиационного оборудования, питающегося от следующих сетей: <ul style="list-style-type: none"> 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 KT-160 (DO-160D), DO-160F и ГОСТ 19705 |
| | Fx-DO160-S17, EMC-Partner, Швейцария | Сменный блок к MIG 2000-6, формирующий импульсы амплитудой ±(200...1000) В и длительностью 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 KT-160D, «Восприимчивость к помехам звуковой частоты, поступающим через входы электропитания». Трёх-/однофазный переменный ток частотой 360...800 Гц, напряжение 115/200 В | TOE 741, 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 частотой до 5 кГц и амплитудой до 12 В в имитируемую цепь питания 115 В/400 Гц обеспечивается следующими функциональными возможностями программируемых источников питания переменного тока, предложенными для раздела 16: <ul style="list-style-type: none"> поточечное построение формы выходного напряжения (дискретность 100 мкс.); гармонический синтез выходного напряжения |

пульсные наводки, индуцируемые молнией, в соответствии с требованиями раздела 22.0 КТ-160D (RTCA DO-160) «Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования».

Комплекс формирует испытательные импульсы напряжения или тока положительной и отрицательной полярности различной формы (см. рис. 1). Режимы воспроизведения импульсов, обеспечиваемые комплексом:

- единичные импульсы с регулируемым интервалом повторения от 3 с, имитирующие переходный процесс от однократного удара молнии (SS). Однократный удар – наиболее энергетически мощный переходный процесс при ударе молнии, предназначенный для оценки устойчивости оборудования;
- одиночные пачки импульсов длительностью от 10 мс до 2 с, состоящие максимум из 30 импульсов, распределённых внутри пачки с произвольным интервалом от 10 до 500 мс и регулируемым интервалом повторения пачек от 60 до 90 с, имитирующие переходный процесс от многократного удара молнии (MS). На рисунке 2 приведён пример имитируемого переходного процесса от многократного удара молнии;
- многократные пачки импульсов длительностью от 1 мс до 2 с, с количеством импульсов в пачке до 30; импульсы распределены внутри пачки с произвольным интервалом от 10 мкс до 10 мс и регулируемым интервалом повторения пачек от 2 до 10 с и имитируют переходный процесс от многократных вспышек молнии (MB). На рисунке 3 приведён пример имитируемого переходного процесса от многократной вспышки молнии.

Параметры пачек импульсов задаются в виде шаблонов (pattern) «ударов» и «вспышек» (см. рис. 4). Комплекс представляет собой набор функционально законченных устройств, которые в совокупности обеспечивают имитацию всех требуемых воздействий для проведения испытаний. В состав комплекса входят следующие технические средства:

- генератор MIG 0600SS для создания одиночных импульсов и генератор MIG 0600MS для создания многократ-

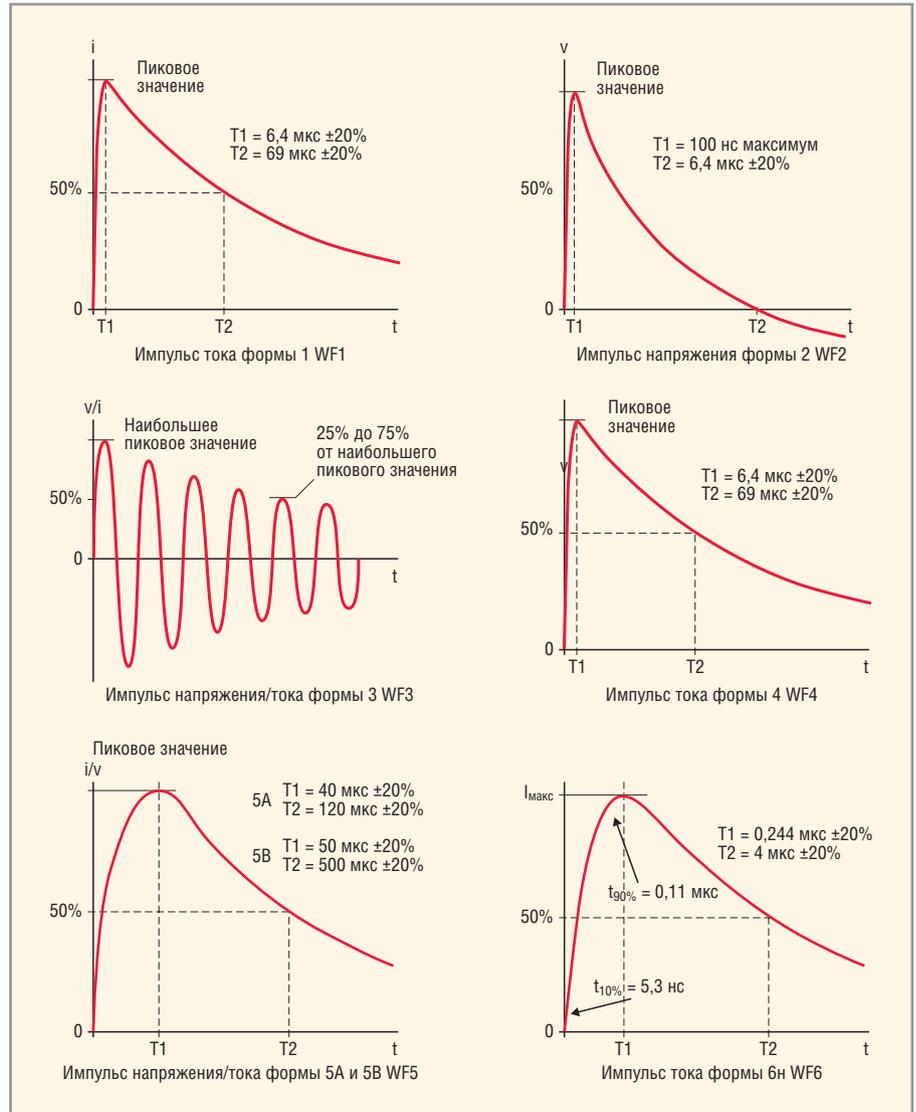


Рис. 1. Импульсы напряжения и тока

ных импульсов (одиночных пачек импульсов) формы WF1, WF4, WF5A, WF5B;

- генератор MIG 0618SS для создания одиночных импульсов формы WF1, WF4, WF5A, WF5B с уровнями жёсткости 3–5;
- генератор MIG-OS-MS с устройством расширения MIG-OS-MB-EXT для создания одиночных и многократных импульсов, а также многократных пачек импульсов формы WF2, WF3, WF6;
- устройство связи и развязки (магнитные индукторы) CN-GI-CI, CN-GI-CI-V, CN-MIG-BT1, CN-MIG-BT для ввода помех.

В качестве стабилизатора (эквивалента) сети питания для проведения испытаний необходимо использовать устройство DN-LISN160-32 и набор шунтирующих конденсаторов (особенности применения данного устройства изложены в его руководстве по эксплуатации).

Для развязки цепей питания и выхода генераторов импульсов, а также защиты источника от высоковольтных импульсов используются ограничительный диод или варистор, входящие в комплект GND-BDDC (см. руководство по эксплуатации). Пол-

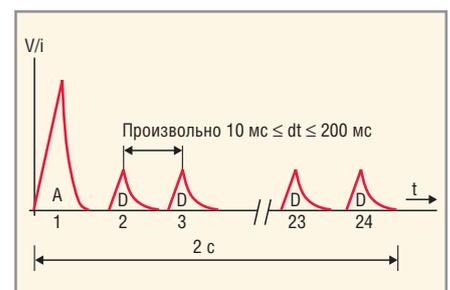


Рис. 2. Многократный удар молнии

Два или более возвратных удара молнии, возникающие во время единичной вспышки молнии. Например, за составляющей тока импульса А следуют двадцать три составляющих тока D с амплитудой 50% импульса А, распределённые в произвольном порядке на протяжении до 2 с

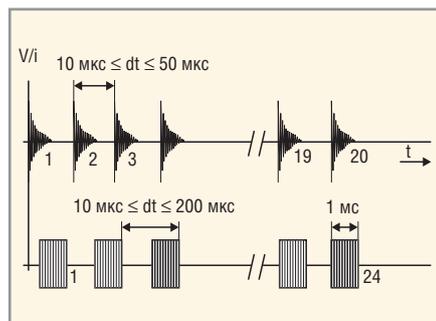


Рис. 3. Многократная вспышка

Распределённая в произвольном порядке серия пачек импульсов короткой длительности с малой амплитудой импульсов тока, в которой каждый импульс характеризуется большой скоростью изменения тока. Эти импульсы могут возникать в результате прохождения или ветвления лидера молнии и ассоциируются с междуоблачными разрядами. Многократные вспышки проявляются наиболее интенсивно во время воздействия на летательный аппарат первого лидера. Например, вспышка состоит из 20 импульсов; таких вспышек 24, они распределены в произвольном порядке на протяжении до 2 с

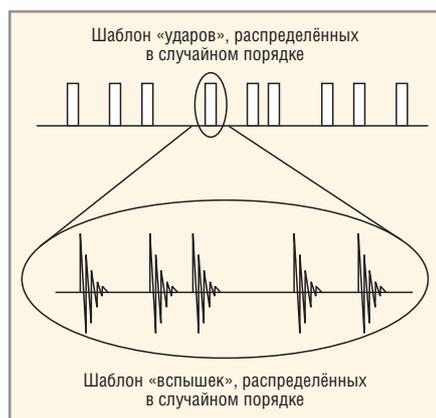


Рис. 4. Шаблон «ударов» и «вспышек», распределённых в случайном порядке

ный состав оборудования, входящего в состав КИПП-1, представлен в таблице 2.

Комплекс имитации электростатических разрядов

Увеличение ресурса эксплуатации космических аппаратов (КА) является актуальной научно-технической проблемой. Для нового поколения КА рост отношения массы полезной нагрузки к общей массе КА сопровождается снижением помехозащищённости бортовой радиоэлектронной аппаратуры (БРЭА). Это связано, в том числе, и с тем, что расширение функциональных возможностей БРЭА (цифровые технологии, повышение тактовых частот обработки информации, расширение спектра обрабатываемых сигналов и

т.п.) с одновременным уменьшением массогабаритных показателей и снижением энергопотребления приводит к необходимости применения новой элементной базы, к сожалению, более чувствительной к электромагнитным помехам (ЭМП). Всё это усложняет проблему электромагнитной совместимости приборов и узлов БРЭА и отражается на работоспособности само-го КА.

Одной из наиболее сложных задач в процессе создания работоспособных КА является обеспечение стойкости БРЭА к воздействию электростатических разрядов (ЭСР), являющихся следствием процессов электризации в условиях эксплуатации аппаратов.

Процессы электризации (как внешней, так и внутренней) КА можно классифицировать по способу поражения как самих электронных блоков, так и элементов электронных схем:

- разряды на поверхности КА, создающие импульсные помехи в бортовой кабельной сети (БКС), антеннах и датчиках, расположенных на внешней поверхности КА. Эти помехи поступают на входы электронных блоков и приводят к обратимым и необратимым отказам в работе электроники;
- разряды непосредственно в кабели, соединяющие между собой электронные блоки, антенны, датчики и панели солнечных батарей;
- разряды в проводники печатных плат блоков электроники (выводы интегральных схем, транзисторов, диодов и др.);
- разряды непосредственно в кристаллы полупроводниковых элементов из диэлектрических корпусов этих элементов.

Особую роль при этом играют процессы электризации поверхности КА, что вызывает электростатические разряды на поверхности блоков и кабельных систем. Электростатические разряды, возникающие вследствие дифференциальной зарядки летательного аппарата, являются источниками электромагнитных помех, воздействующих на отдельные элементы и устройства и (или) бортовые системы в целом.

Разности потенциалов на поверхностях КА, находящихся на геостационарной орбите (ГСО), могут достигать 20 кВ, а средние значения энергии ЭСР составляют 6...200 мДж. В результате

разряда по корпусу аппарата протекают импульсные токи амплитудой до 100 А, которые приводят к возникновению ЭМП в элементах кабельных систем БРЭА.

Электромагнитные помехи различной природы, вызванные ЭСР, могут приводить к нарушению режимов работы БРЭА в виде кратковременных сбоев и отказов, искажению информационных сигналов и сигналов управления, а в отдельных случаях и к физическому повреждению бортовых устройств. Из-за высокой сложности реальных конструкций КА (и БРЭА) задача определения места разряда и его уровня является достаточно сложной и на сегодняшний день не решена. Это затрудняет разработку методов и средств предотвращения ЭСР и, соответственно, защиты аппаратуры от его воздействия.

Если проблема, связанная с обеспечением стойкости РЭА КА к воздействию ЭСР, не будет решена, то возможный ущерб от потери спутников по этой причине может многократно превосходить их стоимость.

Для исследования электромагнитной восприимчивости и электромагнитной совместимости возникает необходимость в разработке методов и технических средств проведения исследований и испытаний. Испытательные технические средства состоят из имитаторов и измерителей – преобразователей параметров электромагнитной обстановки. Параметры электромагнитной обстановки и условия проведения испытаний регламентируются международными и национальными государственными и отраслевыми стандартами, например КТ-160D.

Существующие стандарты не охватывают всё разнообразие электромагнитных помех от существующих и вновь появляющихся источников. В связи с этим необходимо разрабатывать и использовать при испытаниях и исследованиях универсальные имитаторы, позволяющие создавать практически все виды помех, с широким интервалом перестраиваемых параметров, и реализовывать нестандартные методы исследований и испытаний для различных типов бортовых систем летательных аппаратов.

При проведении испытаний важно не только установить факт работоспособности элементов и устройств бортовых систем, но и диагностировать

Таблица 2. Комплекс для проведения испытаний на соответствие требованиям раздела 22

| Раздел требований | Приборы производства EMC Partner, Швейцария | Основные характеристики приборов |
|--|---|---|
| 22 КТ-160D «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 | Аттенуатор 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 более 5 м; уровень 5 для кабелей с индуктивностью более 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 Level 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 импульс 1М-SS формы 3 |
| | NW-WF3-1М-SS | Модуль к MIG-OS-MB-EXT, генерирующий импульс 1М-SS формы 3 |
| | NW-WF3-10М-SS | Модуль к MIG-OS-MB-EXT, генерирующий импульс 10М-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 3Ч 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 | |

Таблица 3. Комплекс для проведения испытаний на соответствие требованиям раздела 25

| Раздел требований | Приборы производства EMC Partner, Швейцария | Основные характеристики приборов |
|--|---|---|
| 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 |

причины отказа или выхода из строя. До настоящего времени практически не разработаны теоретические и экспериментальные методы диагностирования причин отказов (сбоев, нарушения работоспособности), возникающих вследствие воздействия электромагнитных помех.

Установление причин отказов требует значительных временных и материальных затрат. Поэтому в настоящее время, в связи с усложнением испытываемых бортовых систем, возрастает актуальность разработки методов диагностирования бортовых систем в условиях адекватной электромагнитной обстановки.

Стойкость к воздействию электростатических разрядов регламентируется нормативным документом EUROCAE ED-14D/RTCA-DO-160D (КТ-160D) «Условия эксплуатации и окру-

жающей среды для бортового авиационного оборудования», раздел 25: «Электростатический разряд». Оборудование должно выполнять свои функции в соответствии с применяемой НТД без ухудшения характеристик во время действия электростатического импульса, создаваемого происходящим в воздухе разрядом.

Устойчивость к электростатическому разряду должна определяться по способности испытываемого комплекта оборудования выдерживать последовательность электростатических импульсов при заданном уровне жёсткости 15 000 В в определённых местах «контакта оборудования с человеком» в этом комплекте. Импульсов должно быть десять в каждой из заданных позиций как положительной, так и отрицательной полярности напряжения.

Комплекс имитации электростатических разрядов (КИЭР) представляет собой набор отдельных функционально законченных устройств, которые в совокупности обеспечивают имитацию всех требуемых воздействий для проведения испытаний. Состав комплекса представлен в таблице 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из требований заказчика, можно подобрать оптимальный вариант испытательного комплекса требуемой мощности. Поставляемые комплексы имитации могут быть аттестованы с участием 32 ГНИИИ МО РФ на возможность проведения испытаний ЛА в соответствии требованиями, установленными в конкретной технической документации.