

Практические аспекты испытаний устойчивости технических средств к низкочастотным кондуктивным помехам, проводимых по оборонным и авиационным стандартам

А. Смирнов, д. т. н.¹

УДК 537.87 | ВАК 2.2.2

Тестирование устойчивости к кондуктивным помехам в низкочастотном диапазоне в рамках испытаний на электромагнитную совместимость актуально для различных технических средств (ТС) и областей применения. Методы проведения испытаний и измерений описаны в соответствующих стандартах – для общепромышленной аппаратуры (ГОСТ IEC 61000-4-16-2014) [1, 2], оборонной продукции (MIL STD 461, тесты CS101), авиационно-космического оборудования (DO 160, раздел 18). В статье обсуждаются особенности проведения испытаний на устойчивость к кондуктивным помехам в диапазоне частот до 150 кГц для оборудования оборонно-космической отрасли. Рассматриваются вопросы метрологического обеспечения данного вида испытаний.

Необходимость проведения испытаний на устойчивость ТС к кондуктивным помехам связана с влиянием двух основных факторов:

- наведением помех, излучаемыми близко расположенными радиотехническими и электрическими средствами;
- искажением сети питания из-за наличия в ней гармоник напряжения основной частоты.

Способы испытаний на ЭМС и условия проведения испытаний по данному тесту различаются в общепромышленной и оборонно-космической сфере. Если для общепромышленного оборудования помеха вводится в тестируемую цепь через напряжение в общем режиме, то испытания в оборонно-космической сфере проводятся в дифференциальном режиме. Кроме того, следует отметить, что для общепромышленного оборудования данные испытания (в общем режиме) не слишком востребованы – они актуальны, например, в энергетике, электросвязи и иных областях с длинными линиями передачи (порядка 20 м). В то же время для оборонно-космической отрасли подобные испытания входят в перечень обязательных. Поэтому имеет смысл обратить внимание на особенности реализации данных испытаний в сфере

выполнения требований соответствующих стандартов. К ним относятся:

- особенности калибровки воздействия и мониторинга воздействия в процессе испытаний;
- обеспечение безопасности оборудования и сохранности персонала при испытаниях;
- меры по сохранению оборудования при испытаниях;
- особенности метрологического обеспечения при испытаниях.

Как известно, испытания на кондуктивную восприимчивость CS101 предусматривают проведение двух калибровок:

- калибровка максимальной рассеиваемой мощности на калибровочном прецизионном резисторе в полосе тестируемых частот и фиксация показателей наибольшей подаваемой мощности $P_{\text{предел}}$;
- непосредственная калибровка воздействия и создание необходимого напряжения в процессе испытаний $U_{\text{тест}}$.

При этом в процессе испытаний контролируются обе величины, а повышение воздействия U_0 до требуемой величины $U_{\text{тест}}$ прекращается сразу при достижении $P_{\text{вых}} = P_{\text{предел}}$, даже если подаваемое напряжение не достигло требуемого уровня $U_0 \leq U_{\text{тест}}$. В реальности вместо контроля выходной мощности можно контролировать выходное напряжение $U_{\text{вых}} = U_{\text{предел}}$, которое легко пересчитывается исходя из величины сопротивления

¹ АО «НПФ «Диполь», руководитель направления ЭМС и радиоизмерений, smirnov@dipaul.ru.

калибровочного резистора. Стандарты требуют проводить испытания при питании объекта через эквиваленты сети (LISN, 50 мкГн). В связи с этим использование проходных конденсаторов является абсолютно необходимым, так как они обеспечивают компенсацию роста импеданса входящих в схему эквивалентов сети на высоких частотах. Номинал емкости проходного конденсатора 10 мкФ соответствует использованию стандартизованного эквивалента сети с индуктивностью 50 мкГн. При использовании иных вариантов ЭС (например, с индуктивностью 5 мкГн) следует подобрать соответствующий проходной конденсатор. На рис. 1 продемонстрирован эффект компенсации сопротивления ЭС на высоких частотах различными проходными конденсаторами для стандартного ЭС (50 мкГн).

Испытания CS101 могут проводиться на линиях питания постоянного и переменного тока. Частотный диапазон испытаний начинается от 30 Гц для линий постоянного тока (DC) и от второй гармоники частоты питания переменного тока (AC), иногда чуть меньше. Верхняя частота составляет 150 кГц. В целом испытания в нижней части частотного диапазона схожи с проверкой устойчивости к гармоникам частоты питания (ГОСТ), которые обычно реализуются с помощью источников питания с программируемой величиной искажений. Но подобные испытания обычно проводят в диапазоне частот до 2–5 кГц, и они в данной статье не рассматриваются. Наиболее часто тестируют линии DC, 28 В или AC (115 В, 400 Гц). При этом величина воздействия в пересчете на напряжение составляет 6,3 В (СКЗ) в диапазоне частот до 5 кГц и далее по линейно-логарифмическому закону спадает до уровня 1 В. Очевидно, что мониторинг напряжения помехи на фоне напряжения питания DC не составляет проблем и может быть выполнен с помощью простого пробника напряжения мультиметром (даже без использования режима отключения DC простым контролем экстремальных напряжений в режиме полного размаха (peak-to-peak)). Для линий питания AC проблема возникает в области низких частот воздействий. В самом деле, трудная задача – различить значение напряжения помехи (6,3 В с частотой 700 Гц) на фоне сильного сигнала (115 В, 400 Гц) в условиях неопределенности фазовых соотношений сигналов. Общий вид временных изменений суммарного напряжения при подаче помехи с частотой, равной первой и 50-й частотной точке (для частоты 400 Гц) приведен на рис. 2.

Для решения этой задачи требуется либо осциллограф с возможностью длительного накопления сигналов, либо селективные средства измерений (анализаторы спектра, измерительные приемники и т. д.). Расчеты показали, что при использовании осциллографа контроль воздействия в режиме осциллографа peak-to-peak с требуемой точностью требует временной выборки

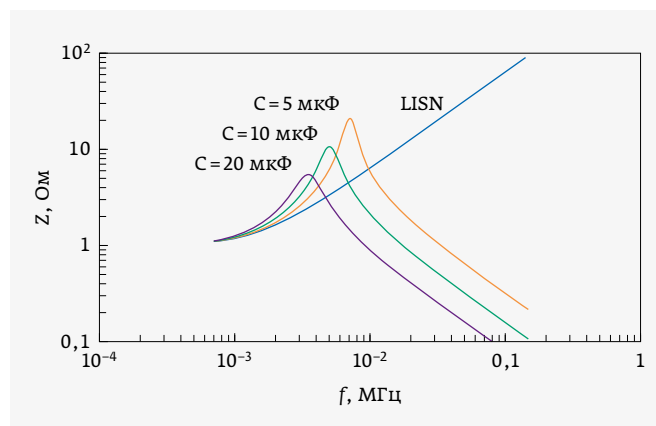


Рис. 1. Зависимость общего сопротивления со стороны источника питания от частоты для различных проходных конденсаторов и эквивалента сети (LISN) 50 мкГн

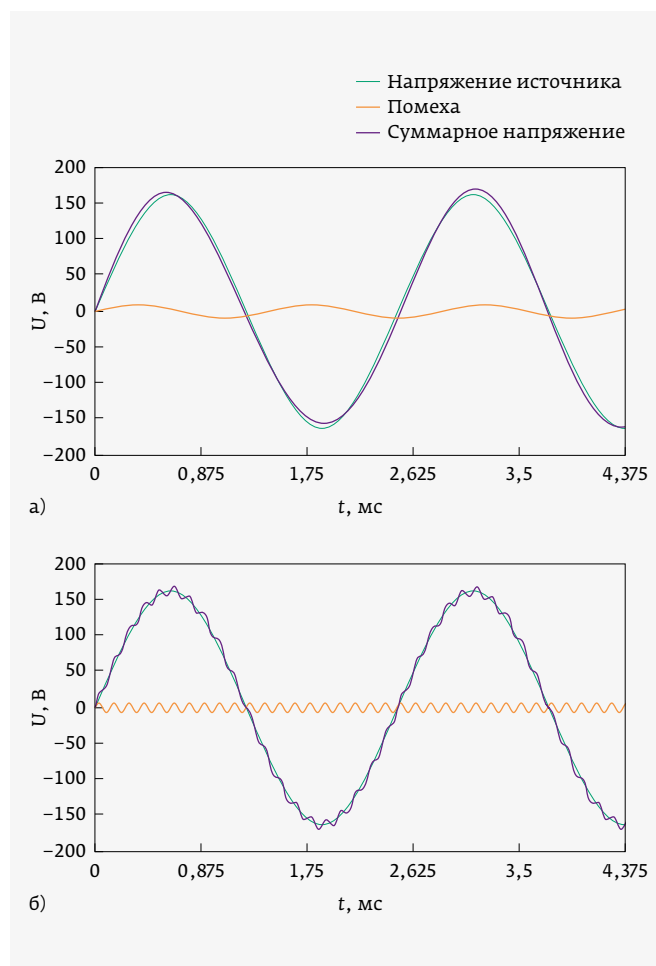


Рис. 2. Общий вид подаваемого напряжения с помехой с частотой, равной первой (сверху) и 50-й (снизу) частотной точке

порядка 1 с для частоты АС 400 Гц и помехи с частотой второй гармоники. Учитывая то, что согласно стандартам длительность воздействия на каждой частоте должна быть не менее 3 с, то дополнительная 1 с может существенно увеличить время испытаний. Кроме того, это требует применения соответствующего программного приложения.

Стандарты описывают метод воздействия помехи через трансформатор связи поочередно в каждую линию. Поскольку помеха вводится в дифференциальном режиме от выхода генератора и усилителя мощности, а одна из шин пробника осциллографа связана обычно с линией заземления питания, то чрезвычайно важно обеспечить развязку силовых и измерительных каналов по питанию. Поэтому питание осциллографа следует обеспечивать через развязывающий трансформатор.

Используемый трансформатор связи имеет обратное воздействие. В этом смысле наряду с подачей помехи в линии питания, он обратно связывает напряжение питания линии с выходными портами усилителя мощности. Иными словами, при прямой реализации схемы испытаний на выходы усилителя мощности будет подаваться напряжение питания DC или АС. Поэтому усилитель мощности должен иметь защиту выхода от высокого напряжения либо иметь подключаемую нагрузку на выходе в режиме ключа. Может быть также использована схема с параллельным подключением на выход усилителя компенсирующего напряжения с линии питания через дополнительный трансформатор связи с обратным включением (фазосдвигающая цепь). Общая схема испытательной системы с компенсирующим трансформатором представлена на рис. 3.

Схема с компенсирующим трансформатором требует использования источника питания с пониженным уровнем гармоник. Это связано с тем, что при испытаниях заранее неизвестен уровень вносимых искажений синусоидальности со стороны объекта испытаний. Поэтому

полная либо эффективная компенсация может не быть достигнута, так как фазовый сдвиг (противофаза) будет обеспечен не для всех гармоник.

Используемое оборудование относится к испытательному, поэтому в соответствии с существующими положениями подлежит аттестации [5]. Однако, стандарты по испытаниям [3, 4] требуют определения величин нормируемых воздействий непосредственно перед испытаниями. Таким образом, основную задачу аттестации нужно будет решать каждый раз перед испытаниями. В итоге теряется традиционный смысл аттестации как периодической оценки соответствия оборудования требованиям документации и требованиям стандартов по испытаниям. Более того, анализ схемы рис. 3 показывает, что состав испытательной системы может меняться. То есть оказывается неопределенным объект аттестации. В частности, требует уточнения необходимость формального включения (в паспорт или формуляр) источника питания, вольтметров и осциллографов, так как любой из этих элементов может быть использован как вспомогательное оборудование при проведении аттестации [5].

С другой стороны, используемые в составе системы технические средства, традиционно относящиеся к средствам измерений, в данной схеме не используются по прямому назначению (как средства измерений), хотя требования к ним предъявляются. В то же время требования к метрологическим характеристикам могут быть снижены. Иными словами, для некоторых элементов испытательной системы может быть проведена калибровка или измерение предписанных характеристик без полной оценки их метрологических характеристик (без поверки). К ним относятся импеданс эквивалента сети, действительное значение сопротивления резистора и емкости конденсаторов. В итоге, имеется определенная неоднозначность в выборе процедур оценки соответствия подобных испытательных систем.

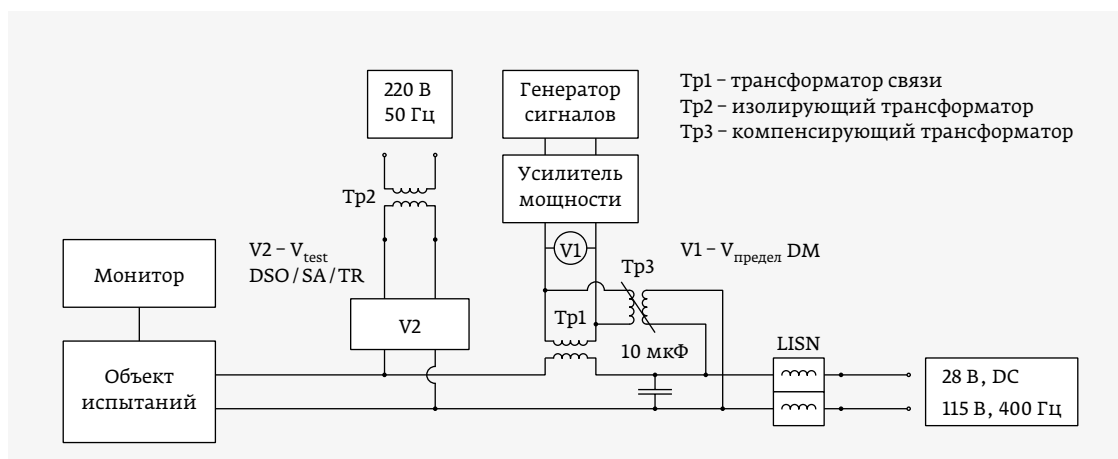


Рис. 3. Общая схема испытательной системы для тестирования CS101 с дополнительным оснащением

В статье показаны особенности реализации испытаний ТС на устойчивость к кондуктивным помехам в диапазоне частот до 150 кГц, подчеркнута важность использования дополнительных принадлежностей, рассмотрены проблемы метрологического обеспечения подобных испытательных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ IEC 61000-4-16-2014. Стандарт РБ. Электромагнитная совместимость. Часть 4-16. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к кондуктивным помехам общего вида в диапазоне частот от 0 до 150 кГц.
2. IEC 61000-4-19:2014. Electromagnetic compatibility (EMC). Part 4-19: Testing and measurement techniques. Test for immunity to conducted, differential mode disturbances and signaling in the frequency range 2 kHz to 150 kHz at a. c. power ports.
3. ГОСТ РВ 6601-001-2008. Оборудование бортовое авиационное. Общие требования к восприимчивости при воздействии электромагнитных помех и методики измерения.
4. Квалификационные требования КТ-160G/14G. Условия эксплуатации и окружающей среды для бортового авиационного оборудования (внешние воздействующие факторы – ВВФ). Требования, нормы и методы испытаний.
5. ГОСТ Р 8.568-2017. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 840 руб.

ЭТАЛОНЫ И СТАНДАРТНЫЕ ОБРАЗЦЫ В ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ. ЭЛЕКТРОРАДИОИЗМЕРЕНИЯ

Лукашкин В. Г., Булатов М. Ф.

М.: ТЕХНОСФЕРА,
2018. – 402 с.,
ISBN 978-5-94836-512-1

Издание осуществлено при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России (2012–2018 годы)»

В книге рассмотрены общие вопросы метрологического обеспечения и единицы физических величин. Изложены основные задачи технических средств метрологического обеспечения в области электрорадиоизмерений.

Даны оценки погрешности и неопределенности первичных и рабочих эталонов.

Книга может быть полезна студентам и аспирантам при выборе и обосновании эталонной базы в области электрорадиоизмерений, а также специалистам, занимающимся вопросами разработки, производства и оценки качества средств измерений, контроля и испытаний.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

☎ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; ☎ +7 495 956-3346; ✉ knigi@technosphere.ru, sales@technosphere.ru