

преобразованию внутренней энергии НС во внутреннюю энергию производимой детали. Для того чтобы этим воспользоваться необходимо в вести определённые ограничения. Эти ограничения должны обеспечить воспроизводимость условий получения данной погрешности. Это материал заготовки, её габариты, это инструмент и т.д., т.е. условие возмущения, а реакция в виде объёма оставшегося материала. В этом случае безразмерная величина  $\chi$  является показателем качества НС станка как отношение реакции к возмущению.

$$\chi = \frac{\int_0^Z q(Z) dZ}{S \times \tau \times t}$$

Для апробации сформулированных положений был поставлен эксперимент, цель которого состояла в том, чтобы получить количественные значения показателя  $\chi$ . В эксперименте участвовали 7 станков токарного типа. Для того чтобы учесть влияние термических процессов, исследования проводили на каждом станке в течение смены. Обработывали  $n$  заготовок, с одинаковыми параметрами и одинаковым остро заточенным инструментом. Измеряли не погрешность размера или отклонение формы, а объём остаточного слоя материала на обработанной поверхности. Показатель  $\chi$  имеет пределы измерения

$$0 \leq \chi \leq \pm 1$$

При значении «ноль» ситуация предельная, когда погрешность отсутствует. При значении «единица», когда станок настолько плох, что не производит съём стружки. Если расстояние от 0 до 1 разделить на равные части, то получим шкалу и единицу измерения в виде безразмерной величины 0,1 КС (качества станка). Результаты экспериментов представлены на рис.3.

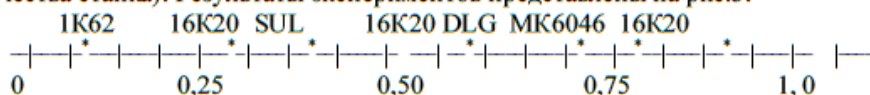


Рис. 3. Шкала качества станков токарной группы

Литература

1 Металлорежущие станки /Под ред. В.Э. Пуша, - м.; Машиностроение, 1986, - 575 с.

Выводы

- 1 Разработанный показатель даёт возможность оценивать свойства станков разного конструктивного исполнения и в любой момент эксплуатации.
- 2 Для получения сравнимых результатов оценки требуется воспроизводить условия рабочего процесса в одинаковых условиях.
- 3 Данный подход применим для станков универсального назначения, в том числе и для ЧПУ.

## ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ КМОП СБИС БОРТОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ ИЗ-ЗА ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭСР

к.т.н., доцент Жаднов В.В.  
МИЭМ НИУ ВШЭ, г. Москва

Рассмотрены основные этапы формирования модели интенсивности отказов КМОП СБИС из-за воздействия ЭСР. Показано, что для бортовой космической аппаратуры вероятность воздействия ЭСР может быть определена на основе характеристик окружающей радиационной обстановки.

### STUDY OF THE METHOD OF MODELING FAILURE VHSIC/VHSIC-LIKE BOARD SPACE EQUIPMENT DUE TO THE IMPACT OF ESD

Zhadnov V.

The main stages of forming a model of the failure rate of VHSIC/VHSIC-LIKE due to the impact of ESD. It is shown, that for the on-board space equipment likelihood of exposure to ESD may be determined on the basis of the characteristics of radiation situation.

Исследование осуществлено в рамках «Программы фундаментальных исследований» НИУ ВШЭ в 2013 году. Отказы из-за катастрофических электрических перегрузок (EOS) представляют собой события, не связанные с внутренними механизмами отказов ИС, т.к. они являются результатом воздействия приложенного внешнего напряжения (или тока). Развитие отказов, связанных с

воздействием EOS или электростатического разряда (ESD), не зависит от степени интеграции и определяется реальным уровнем стойкости конкретной микросхемы (за счет соответствующих схмотехнических и технологических решений) и условиями ее применения (характеристиками окружающей электрической среды), зависящими только от изготовителя радиоэлектронной аппаратуры.

Поскольку эти отказы не связаны с внутренними механизмами отказов ИС, то они не зависят от времени, а зависят только от вероятности возникновения чрезмерного напряжения ( $V_{STRESS}$ ) в окружающей электрической среде и чувствительности ИС к его воздействию. Следовательно, вероятность возникновения EOS может быть представлена как постоянная величина в функции распределения чувствительности ИС к воздействию  $V_{STRESS}$ .

Хотя существует много видов источников EOS, каждый со своими собственными характеристиками, наилучшим источником информации о чувствительности ИС (и в большинстве случаев единственным источником) являются испытания, предусмотренные в MIL-STD-883, метод 3015 [1]. Несмотря на то, что метод 3015 является лишь одним из методов измерения чувствительности ИС к воздействию EOS, но в силу его широкого распространения его результаты могут использоваться в математической модели интенсивности отказов из-за воздействия EOS ( $\lambda_{EOS}$ ) при построении функции распределения чувствительности ИС к воздействию  $V_{STRESS}$ .

Обоснованием возможности использования такого подхода является и то, что чувствительность ИС к воздействию EOS и уровень стойкости ИС к воздействию ESD сильно коррелированы.

Таким образом, в методе моделирования отказов из-за EOS, приведенном в RADS-TR-89-177 [2], отказы ИС рассматриваются только как результат катастрофических воздействий окружающей электрической среды.

Рассмотрим основные этапы формирования математической модели  $\lambda_{EOS}$ .

Исходя из выше изложенного, в основу модели  $\lambda_{EOS}$  положено следующее соотношение:

$$P\{F\} = P\{C\} \cdot P\{F|C\}, \quad (1)$$

где:  $P\{F\}$  - вероятность отказа ИС из-за воздействия EOS или ESD;  $P\{F|C\}$  - вероятность отказа ИС из-за воздействия EOS или ESD при контакте с источником EOS или ESD;  $P\{C\}$  - вероятность контакта ИС с источником EOS или ESD.

Для получения вероятности  $P\{F|C\}$  были использованы данные, которые характеризуют распределение  $V_{STRESS}$  для всех классов микросхем. Это распределение можно аппроксимировать логнормальным распределением со средним значением, равным 2200 В [3]. Выборка, на основе которой это распределение было получено, и выборка, на основе которой средняя интенсивность отказов из-за воздействия EOS или ESD была рассчитана, должны быть очень похожи, так как они являются репрезентативными для обеспечения хорошего усреднения по типам, технологиям и окружающим электрическим средам.

В таблице 1 представлены моменты распределения, которые были получены в работе [4] в предположении нормального распределения  $V_{STRESS}$  как функции от стойкости к ESD (порогового напряжения -  $V_{TH}$ ).

Таблица 1 - Моменты распределения  $V_{STRESS}$

Моменты $V_{STRESS}$	$V_{STRESS} < V_{TH}$	$V_{STRESS} > V_{TH}$	Среднее
1	2	3	4
Мат. ожидание, В	1175	8000	4600
Ст. отклонение, В	375	1750	2000

Средние значения, приведенные в столбце 4 таблицы 1, являются параметрами распределения  $V_{STRESS}$ , для которого была получена средняя интенсивность отказов из-за воздействия EOS или ESD.

Можно предположить, что распределение  $V_{STRESS}$  не является нормальным распределением, каковое было использовано в [4], а, скорее, является логарифмически-нормальным [3] или экспоненциальным распределением. Экспоненциальное распределение интуитивно понятно и более



адекватно, поскольку вероятность возникновения напряжения  $V_{STRESS} > V_{TH}$  в окружающей электрической среде возрастает при снижении стойкости ИС к воздействию ESD.

Предполагая, что распределение экспоненциальное, и используя среднее значение напряжения ( $V_{STRESS} = 4500$  В), для показателя экспоненты  $\left( \Theta = -\frac{\ln 0,5}{4500} \right)$  получается значение  $\Theta$  равное 0,0002 и, соответственно, следующая функция плотности вероятности  $V_{STRESS}$ :

$$f(V_{STRESS}) = 0,0002 \cdot e^{-0,0002 \cdot V_{STRESS}}. \quad (2)$$

Подставив (2) в выражение (1) получают:

$$e^{-\lambda_{EOS} \cdot t} = 1 - P(V_{STRESS}) \cdot e^{-0,0002 \cdot V_{STRESS}}. \quad (3)$$

Разрешив (3) относительно  $\lambda_{EOS}$  для  $t = 0,00876 \cdot 10^6$  получают:

$$\lambda_{EOS} \cdot 10^6 = \frac{-\ln \left[ 1 - P(V_{STRESS}) \cdot e^{-0,0002 \cdot V_{STRESS}} \right]}{0,00876} \quad (4)$$

Несмотря на тот очевидный факт, что окружающая электрическая среда, в которой функционирует ИС, является главным фактором отказов из-за воздействия EOS, ее характеристики не могут быть использована в модели  $\lambda_{EOS}$ , поскольку пользователи модели, как правило, не имеют достоверных данных об этих характеристиках, позволяющих оценить вероятность возникновения EOS.

Например, в авиационном электронном оборудовании наблюдается большое число отказов ИС из-за воздействия EOS, несмотря на то, что характеристики электропитания оборудования известны. Это лишний раз подтверждает то, что количественная оценка величины уровня воздействия EOS в зависимости от характеристик окружающей электрической среды является сложной задачей и в RADS-TR-89-177 [2] такая задача не рассматривалась. Поэтому при разработке модели  $\lambda_{EOS}$  для была получена только её зависимость от стойкости ИС к воздействию ESD вида (2).

Для оценки значения  $P(V_{STRESS})$  в RADS-TR-89-177 [2] использовано значение среднего напряжения  $V_{STRESS}$  равное 2200 В и значение средней интенсивности отказов равное  $0,0419 \cdot 10^{-6}$ , полученные по данным RAC [3, 5]. В этом случае значение  $P(V_{STRESS})$  для  $t = 0,00876 \cdot 10^6$  составит:

$$P(V_{STRESS}) = \frac{1 - e^{-0,0419 \cdot 10^{-6} \cdot 0,00876 \cdot 10^6}}{\int_0^{2200} 0,0002 \cdot e^{-0,0002 \cdot V_{STRESS}} dV_{STRESS}} = \frac{0,000367}{0,644} = 0,00057.$$

Подставив это значение в (4) и приравняв  $V_{STRESS} = V_{TH}$  получают итоговую математическую модель  $\lambda_{EOS}$ :

$$\lambda_{EOS} \cdot 10^6 = \frac{-\ln \left[ 1 - 0,00057 \cdot e^{-0,0002 \cdot V_{TH}} \right]}{0,00876}. \quad (5)$$

Несмотря на то, что модель (5) получена на основе статистических данных по чувствительности ИС к воздействию  $V_{STRESS}$ , полученных в 80-х годах прошлого века, она применяется до настоящего времени. Например, модель (5) входит в математические модели интенсивностей отказов КМОП СБИС, рекомендованные в американских справочниках по прогнозированию надежности MIL-HDBK-217 [6] и RIAC-HDBK-217Plus [7], для учета влияния отказов из-за воздействия EOS или ESD.

Однако, в ряде случаев значение  $P(V_{STRESS})$  можно оценить исходя из особенностей механизма возникновения ESD. Например, у ИС в пластиковых корпусах, применяемых в бортовой космической аппаратуре, ESD может возникнуть не только в результате прямого воздействия окружающей электрической среды, но и в результате накопления заряда в материале корпуса ИС из-за воздействия ионизирующего излучения космического пространства. В этом случае значение  $P(V_{STRESS})$  в модели (4) при таком механизме возникновения ESD можно найти на основе тех же характеристик окружающей радиационной обстановки на орбите космического аппарата, которые используются при расчетах радиационной стойкости ИС.

#### Литература

1. MIL-STD-883.
2. RADS-TR-89-177. VHSIC/VHSIC-LIKE reliability prediction modeling. - RADS, 1989.

3. VZAP-1. Electrostatic discharge susceptibility of electronic device/ - Reliability analysis center publication, 1983.
4. Giusti, J. The probability of an ESD failure in unprotected equipment. / J. Giusti. // Electrical overstress/Electrostatic discharge symposium proceedings, 1986.
5. MDR-21. Microcircuit device reliability trend analysis. - Reliability analysis center publication, 1985.
6. MIL-HDBK-217F. Reliability prediction of electronic equipment. - USA: DoD, 1995.
7. RIAC-HDBK-217Plus. Hand book of 217PlusTM reliability prediction models. - USA: DoD, 2006.

## РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВОГО СЧЁТЧИКА

Ковцова И.О., к.ф.-м.н Ухов В.И.  
Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
Филиал «Протвино»

В данной статье рассматривается архитектура программного обеспечения «MeterSoft», предназначенного для счётчика электроэнергии.

### DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE SOFTWARE FOR DIGITAL METER Kovtsova I., PhD Ukhov V.

This article describes the software architecture «MeterSoft», intended for the electricity meter.

Сегодня развитие современных аппаратных и программных средств позволяет осуществить революционный переход в новый век – век цифровой подстанции. Основная идея «цифровой» подстанции состоит в создании систем контроля, защиты и управления нового поколения, где вся информация передается в цифровой формат на уровне интеллектуальному первичному измерительному оборудованию и далее передается уже в таком виде вторичному интеллектуальному микропроцессорному оборудованию. К первичному измерительному оборудованию относятся высоковольтные цифровые измерительные оптические трансформаторы тока и напряжения, интеллектуальные выключатели, а к вторичному – микропроцессорные устройства РЗ и автоматики, многофункциональные приборы измерений и учета. Устройства работают на едином стандартном протоколе обмена информацией — IEC 61850 (МЭК 61850).

МЭК 61850 является объектно-ориентированным протоколом, сфокусированным на автоматизацию подстанций, и значительно расширяющим возможности предшествующих стандартов. Область применения стандарта МЭК 61850 – системы связи внутри подстанции. Это набор стандартов, в который входят стандарт по одноранговой связи и связи клиент-сервер, стандарт по структуре и конфигурации подстанции, стандарт по методике испытаний, стандарт экологических требований, стандарт проекта.

Оптические трансформаторы осуществляют измерение мгновенных значений тока и напряжения, их оцифровку и высокоскоростную передачу данных по оптическим каналам связи, по так называемой шине процесса (Process Bus). Передача данных осуществляется по протоколу МЭК 61850-9-2. Измеренные мгновенные значения получают различные интеллектуальные электронные устройства. Одним из таких устройств является счётчик электрической энергии.

Компания ООО "Систел" разрабатывает линейку устройств "SysteLLogic" для цифровой подстанции на современной программно-аппаратной базе. Особое внимание уделяется разработке архитектуры программного обеспечения для интеллектуальных устройств (IED-счётчик, мультиметр и анализатор показателей качества электроэнергии).

На рисунке 1 приведена архитектура программного обеспечения «MeterSoft». Процесс xWriter (Писатель) принимает мгновенные значения тока и напряжения по трём фазам и нейтрали в соответствии с МЭК 61850-9-2 LE по сетевому интерфейсу и записывает их с отметкой времени в разделяемую память (Shared memory). Процесс MeterSoft считывает данные из разделяемой памяти и производит расчёты. Частота дискретизации данных согласно МЭК 61850-92-LE может быть 80 или 256 выборок на период с частотой сети 50 Гц (4000 или 12 800 срезов мгновенных значений в секунду). Как правило, производители устройств делают поддержку двух этих режимов, хотя для учёта электроэнергии частота дискретизации передаваемых данных должна быть не хуже 256 точек на период.

Счётчик, используя мгновенные значения тока и напряжения, рассчитывает секундный профиль, состоящий из: