

УДК 621.398

© 2010 г. **Н.А. Алмина,**  
**В.Ю. Гаврилов,** канд. техн. наук,  
**Н.Н. Номоконова,** канд. техн. наук  
(Владивостокский государственный университет экономики и сервиса)

## **КОНТРОЛЬ МИКРОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ МЕТОДОМ КРИТИЧЕСКИХ ПИТАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ<sup>1</sup>**

Рассматривается информационно-измерительная система контроля индивидуальных свойств микроэлектронных устройств, реализующая метод критических питающих напряжений.

**Ключевые слова:** критические питающие напряжения, сигнатурный анализатор, контроль качества БИС, частотная характеристика.

### **Введение**

Несмотря на применение высоких технологий при изготовлении полупроводниковых интегральных электронных устройств (ИУ), разработка различных систем выходного контроля качества как на отечественных, так и зарубежных предприятиях (Япония, США), проблема выхода из строя указанных устройств, продолжают интересовать исследователей.

Среди всего многообразия микроэлектронных устройств выделяется группа, которая используется в ответственных технических системах. Это системы, сбой в функционировании которых может привести к непоправимым последствиям техногенного характера и даже к человеческим жертвам. К подобным устройствам (ИС и БИС) предъявляются повышенные требования по надежности. Определение такой характеристики качества функционирования как безотказность возможно с помощью проведения процедур прогнозирующего контроля – оценки индивидуального технического состояния ИУ.

В статье формулируются особенности прогнозирующего контроля. Описывается стратегия развития, как метода контроля, так и его программно-аппаратного обеспечения – поиск новых информативных параметров (ИП), специфичных для современной микроэлектроники, по значениям которых проводится прогнозирующий контроль ИУ с целью выбора среди них высоконадежных для функционирования в составе систем ответственного применения. Описывает-

---

<sup>1</sup> Работа выполнялась в рамках проекта "Информационно-измерительная система контроля и анализа индивидуальных технических свойств микроэлектронных устройств" (регистрационный номер ВНИИЦ 01.2.006 06538).

ся практическое применение метода относительно современных микроэлектронных устройств.

Для решения этой сложной научно-технической проблемы разработана и создана информационно-измерительная система контроля качества микроэлектронных устройств (ИИСКК) (рис. 1). Теоретической основой для создания системы явился метод косвенного контроля ИУ.

Важнейшей задачей любого подобного метода является поиск ИП, совокупность которых необходимо формировать с учетом особенностей прогнозирующего контроля современных ИУ.

Первая особенность состоит в том, что внезапные отказы зависят от двух факторов: от количества дефектов, изначально присутствующих в материалах устройства, и от сочетания эксплуатационных воздействий (электрических, механических, климатических, радиационных и др.). Предсказать техническое состояние изделия в предстоящий времени эксплуатации можно, если упомянутые изменения свойств материалов своевременно выявляются путем измерений некоторого количества таких параметров, величины которых однозначно отражают эти изменения.

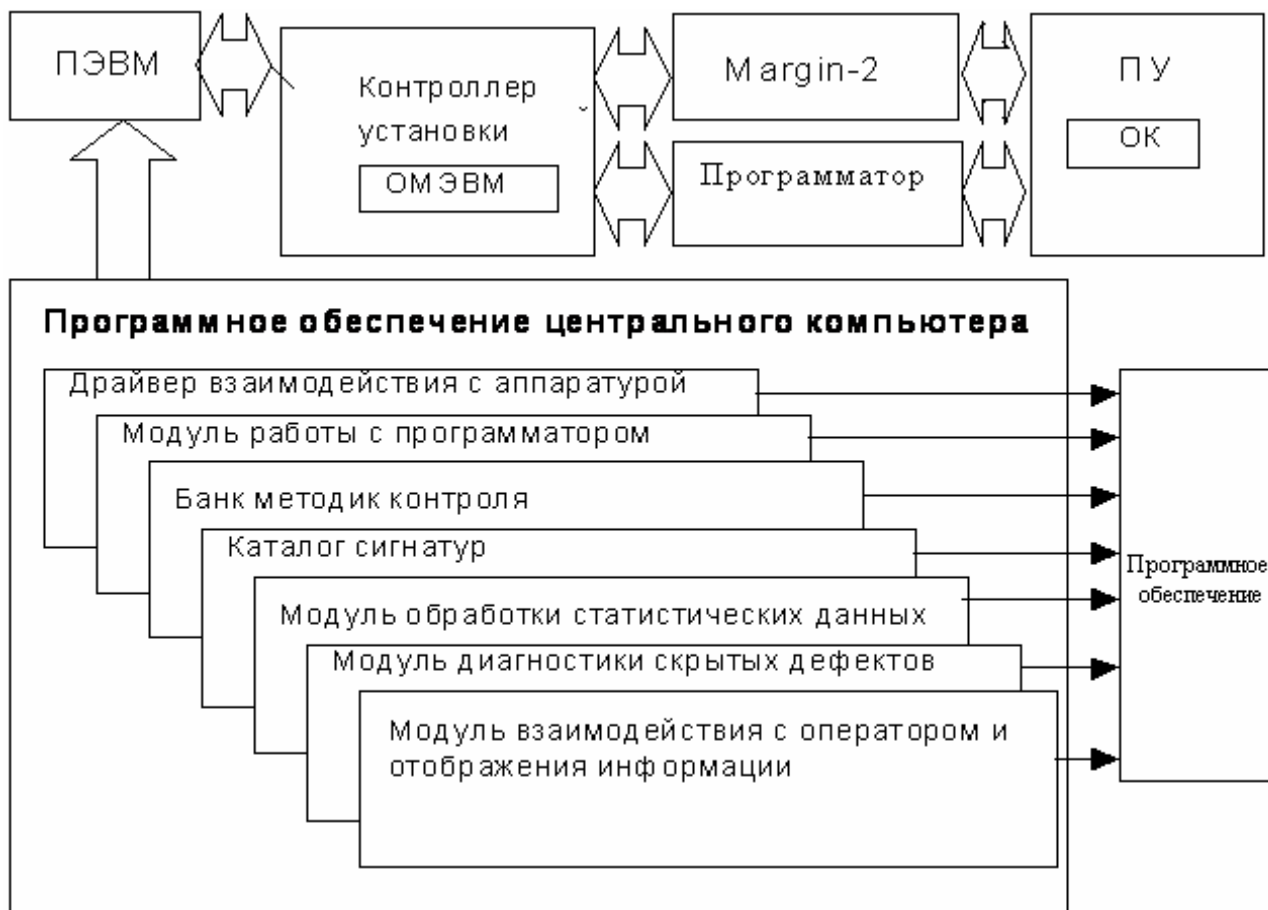


Рис. 1. Информационно-измерительная система контроля качества.

Вторая особенность заключается в обеспечении информационной полноты множества оценок технического состояния изделия, по величинам которых осуществляется прогноз на предстоящий период времени эксплуатации.

Перечисленные особенности должны учитываться при сравнительном ана-

лизе множества ИП. В качестве критерия выбора ИП предлагается устанавливать степень близости к определению идеального информативного параметра (ИИП). В свою очередь определение ИИП зависит от подхода к контролю. При классическом подходе к контролю ИИП – это параметр, функционально однозначно связанный со временем наработки на отказ конкретного объекта контроля (ОК).

С учетом особенностей прогнозирующего контроля предложен подход, отличный от классического подхода, и введено другое определение ИИП. Предлагается считать идеальным информативный параметр, принимающий одно значение (например, 0), если ОК потенциально ненадежен, и другое значение (например, 1), если ОК надежен. Свойства ИИП принимаются в качестве критериев предпочтения, основными из которых предложено считать: нечувствительность к помехам; нечувствительность к внешним дестабилизирующим воздействиям, а также к условиям измерения.

Прогноз при таком подходе состоит не в оценке ресурса или времени наработки на отказ, а в косвенной оценке количества скрытых дефектов, определяющего вероятность внезапных отказов в период эксплуатации.

Основой для проведения процедуры прогнозирующего контроля в ИИСКК стал метод критических питающих напряжений (МКПН) – один из электрофизических методов контроля ИУ.

МКПН является индивидуальным и неразрушающим ИУ методом, что крайне важно, так как выбранные высоконадежные устройства используются в технических системах ответственного применения.

Косвенная оценка в рассматриваемом методе проводится по значениям критических питающих напряжений, которые являются ИП, близкими к определению ИИП. Суть МКПН заключается в понижении напряжения питания от номинального значения до того, когда произойдет первый сбой в работе ИУ при одновременном ее тестировании (контроле). За критическое питающее напряжение ( $E_{кр}$ ) принимается предыдущее значение напряжения, перед которым произошел первый сбой в работе ИУ. Многочисленные эксперименты на статистически значимых выборках ИУ показали, что  $E_{кр}$  являются информативными относительно таких скрытых дефектов как токи утечки, нестабильность пороговых напряжений, задержка распространения сигнала [1].

При проведении контроля современных ИУ (74НС4051, 74НС4052, дешифраторов 74НС139, 74НС139, КМОП коммутаторов Analog Devices ADG419, цифровых потенциометров AD8400), используемых в том числе в системах ответственного применения, было обнаружено, что информативность МКПН снизилась. Информативность метода – это возможность проведения прогнозирующего контроля или определения ожидаемого ресурса по результатам процедуры индивидуального контроля ИУ и возможность разбиения годных устройств по классам качества – надежные и потенциально ненадежные.

На основе описанного выше подхода проведено усовершенствование МКПН – разработана «двухуровневая» модель ИП, когда за информативные параметры первого уровня принимаются  $E_{кр}$ . Параметры второго уровня отражают зависимости ИП первого уровня от приложенных к ОК внешних нагрузок, вы-

званных условиями измерения или внешними случайными воздействиями в условиях эксплуатации.

Таким образом, ИП второго уровня формируется на основе выполнения условия об обеспечении ослабления отрицательных свойств ИП первого уровня, чем обеспечивается повышение информативности метода. В работе предлагается использовать сами “отрицательные” свойства в качестве ИП. Например,  $E_{кр}$  зависят от частоты тестовых воздействий и от электрических режимов. При этом в качестве ИП второго уровня далее рассматривается характер зависимости ИП первого уровня от частоты  $E_{кр}(F)$  [2].

Способ контроля основан на совместном использовании оригинального сигнатурного анализатора (MARGIN-2); программатора; ПЭВМ; подключающих устройств (ПУ) для каждого типа ОК; контроллера (ОМ ЭВМ). Программное обеспечение состоит из управляющих программ и программ обработки результатов контроля.

В процессе контроля по интерфейсу с сигнатурным анализатором передается следующая информация: состояние генератора тестовых последовательностей (ГТП), сигнатуры, уровень  $E_{кр}$ , команды запуска и остановки тестирования. Контроллер считывает данные с платы сигнатурного анализатора, а также напряжение управляемого источника питания и посылает их по последовательному интерфейсу. Специализированный программатор используется для осуществления программирования объектов контроля с памятью (БИС синтезаторов частот, ПЗУ) при напряжении питания, задаваемом управляемым источником питания, входящим в состав сигнатурного анализатора. В этом случае встроенные в методики контроля процедуры снижения питающего напряжения при процессе программирования БИС позволяют измерять отдельно  $E_{кр}$  соответственно для его программируемых и функциональных блоков.

На рис. 2, 3 и 4 приведены результаты, полученные при контроле и анализе частотных зависимостей микросхем LM2903D, представляющих собой сдвоенный аналоговый компаратор.

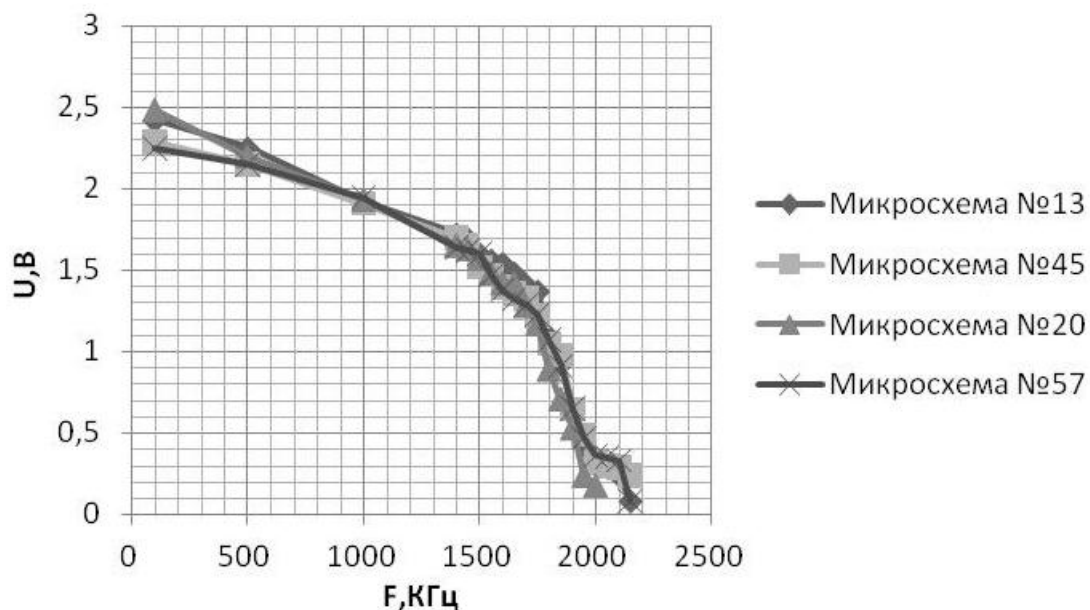


Рис. 2. График зависимости критического питающего напряжения от частоты.

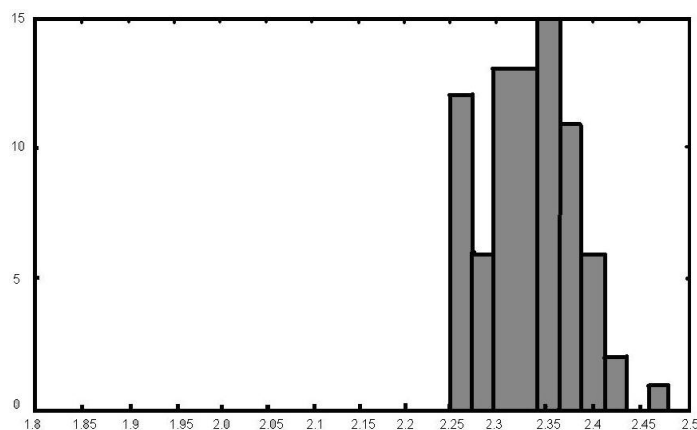


Рис. 3. Гистограмма распределения  $E_{кр}$  ( $F = 100\text{КГц}$ ).

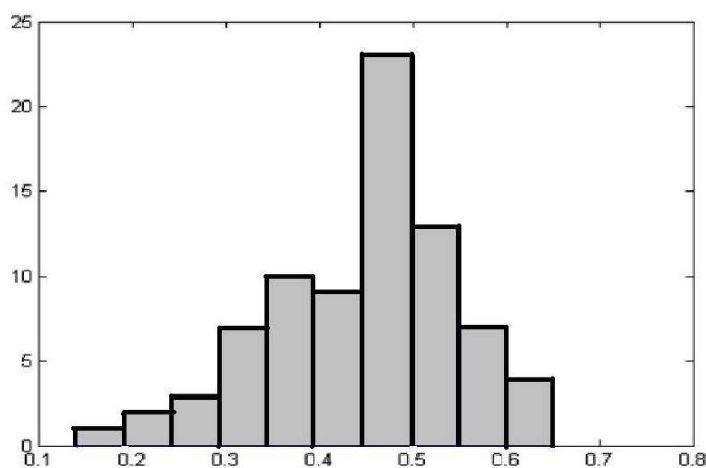


Рис. 4. Гистограмма распределения  $E_{кр}$  ( $F = 1950\text{КГц}$ ).

Первоначальные измерения  $E_{кр}$  в выборке из 79 ИС показали малый разброс этого параметра (в пределах точности измерений), не позволяющий выявить индивидуальные отличия ОК. Для повышения информативности измеряемых параметров следует так подобрать тестовые воздействия, чтобы фиксировался максимальный разброс результатов измерений по выборке. В установке Margin-2 имеется возможность изменять тактовую частоту, определяющую скорость изменения тестовых сигналов. При изменении тактовой частоты меняется и уровень критических напряжений. Более того, вид частотной зависимости  $E_{кр}$  сам по себе может быть информативным и зависеть как от технологии производства ИУ, так и от их индивидуальных характеристик. Относительно зависимости от технологии можно отметить следующее. При тестировании любых логических КМОП ИУ классической серии CD4000 (и их отечественных аналогов серий К561, К564) наблюдался постоянный спад запаса по критическим напряжениям  $\Delta E_{кр} = E_{ном} - E_{кр}$  во всем частотном диапазоне (практически линейный в логарифмическом масштабе частот [1]). При тестировании современных быстродействующих ИС усовершенствованной КМОП-технологии (серии 74НС, 74НСТ и отечественных аналогов К1564) зависимости  $\Delta E_{кр}$  от частоты практически не имеется на низких и средних частотах, она появляется лишь на высоких частотах, близких к предельным. Такого эффекта не наблюдается в аналоговых ИС (компараторах и операционных усилителях), и для дальнейшего углубленного изучения были выбраны именно они.

При этом вид частотной зависимости  $\Delta E_{кр}$  (F) трактовался как информативный параметр второго уровня.

На рис. 2 представлены графики характерных частотных зависимостей  $\Delta E_{кр}$  для четырех интегральных схем (ИС) LM2903D, выбранных из 79 протестированных по характерным показателям.

Для двух ИС из всей выборки максимальное и минимальное значение  $\Delta E_{кр}$  были определены на низкой частоте (100 кГц), для других двух – на высокой (1900 кГц). Разброс значений  $\Delta E_{кр}$  от экземпляра к экземпляру ИС является следствием естественного разброса параметров материалов и нестабильности технологического процесса производства ИС. Это необязательно означает ненадежность, но серьезные отклонения в параметрах (далеко выходящие за диапазон, полученный при испытаниях выборки) являются важнейшим внутренним фактором (помимо внешних воздействий), влияющим на потенциальную безотказность ИС. Из рис. 2 видно, что разброс (и информативность)  $E_{кр}$  растет с ростом частоты, но более полную информацию о характере этого разброса несут гистограммы распределения всей выборки на разных частотах тестирования.

Были построены гистограммы распределения  $E_{кр}$  на различных частотах. На низких частотах гистограмма имеет случайный, нерегулярный вид (рис. 3). Объясняется это тем, что, скорее всего, индивидуальные различия ИС маскируются точностью измерений. На более высоких частотах вид распределения приближается к нормальному закону (рис. 4). Отметим, что если будут найдены ИС, параметры которых выходят за границы найденного распределения, такие экземпляры следует признавать потенциально ненадежными.

Теоретические и практические результаты, полученные в работе, позволяют в качестве ИП первого и второго уровней использовать и другие параметры, что, конечно, потребует создания других аппаратных средств. В совокупности с другими методами данный метод косвенной оценки технического состояния ИУ позволяет приблизить решение задачи выбора высоконадежных устройств. Научные результаты работы могут быть использованы на предприятиях электронной и радиотехнической промышленности для организации систем входного и выходного контроля, а также для анализа потенциальных причин отказов электронной техники. ИИСКК носит экспериментальный характер, для ее тиражирования и внедрения в производство требуется проведение опытно-конструкторских работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Nomokonova N.* The Microelectronics Lifetime Estimation // Pacific Science Review. – 2002. – Vol. 4. – P.72-75.
2. *Nomokonova N., Gavrilov V.* The Microelectronics Lifetime Estimation using adaptive fuzzy thresholds // Sixteenth International Conference on Systems Engineering. – Coventry University, 2003. – P.512-514.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии О.В. Абрамовым.*

*E-mail:*

*Номоконова Н.Н. – natalya.nomokonova@vvsu.ru.*