

УДК 621.398

Н.Н. Номоконова, Д.С. Пивоваров, Н.А. Алмина

## Принятие решения по результатам контроля микроэлектронных устройств

Предлагается информационно-измерительная система контроля индивидуальных свойств микроэлектронных устройств. Система реализована на основе метода критических питающих напряжений.

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

Предлагается обсудить проблему, которая будет интересна тем, кто использует микроэлектронные интегральные устройства (ИЭУ) при создании технических систем ответственного применения. Проблема состоит в том, что, несмотря на применение высоких технологий изготовления, разработку различных систем выходного и входного контроля качества, отказы ИЭУ продолжают происходить. Даже применение в стране, общепризнанной лидером в вопросах технологий изготовления и контроля и использующей так называемую философию ТУК – «тотальное управление качеством» избежать выхода из строя указанных устройств не удастся. Тем более поиск новых методов контроля необходим для ИЭУ, которые являются компонентами технических систем ответственного применения (элементы вычислительной техники и систем управления) – систем, сбой в функционировании которых может привести к непоправимым последствиям техногенного характера и даже к человеческим жертвам. К этим компонентам (ИС и БИС) предъявляются повышенные требования по надежности и особые требования к контролю, который должен быть индивидуальным и неразрушающим ИЭУ, т.к. эти устройства затем и функционируют в составе указанных систем.

Определение такой характеристики качества функционирования, как безотказность возможно с помощью проведения процедур прогнозирующего контроля – оценки индивидуального технического состояния ИЭУ с последующим анализом и сортировкой их по классам качества (надежные и потенциально ненадежные).

Для продвижения в этой сложной научно-технической проблеме разработана и создана система контроля качества ИЭУ (СКК). Теоретической основой для создания указанной системы явилась разработанная многоуровневая модель информативных параметров (ИП). Для практического применения этой системы используется метод критических питающих напряжений, один из электрофизических косвенных и неразрушающих методов контроля (ОК) методов. Данный метод опирается на результаты моделирования поведения ИЭУ в специфических условиях контроля с учетом наличия в ОК возможных скрытых дефектов. Важнейшей задачей любого подобного метода является поиск ИП [1].

Суть метода заключается в понижении напряжения питания от номинального значения до того, когда произойдет первый сбой в работе ИЭУ, при одновременном ее тестировании (контроле). За критическое питающее напряжение ( $E_{кр}$ ) принимается предыдущее значение напряжения, перед которым произошел первый сбой в работе ИЭУ.

Многочисленные эксперименты на статистически значимых выборках ИЭУ показали, что  $E_{кр}$  являются ИП относительно таких скрытых дефектов, как токи утечки, дрейф пороговых напряжений, нестабильность задержки распространения сигнала.

При проведении контроля современных ИЭУ, например таких, как LM2903D – двоярный аналоговый компаратор и NE555P – аналоговый таймер, используемых, в том числе, в системах ответственного применения, было обнаружено, что информативность метода снизилась. Информативность метода – это возможность проведения прогнозирующего контроля или определения ожидаемого ресурса [2].

Для оптимизации метода разработана многоуровневая 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, вызванных условиями измерения или внешними случайными воздействиями в условиях эксплуатации. Таким образом, ИП второго уровня формируется на основе выполнения условия обеспечения 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 воздей-

вий и от электрических режимов. При этом в качестве ИП второго уровня далее рассматривается зависимость ИП первого уровня от частоты  $E_{кр}(f)$ .

В качестве ИП следующего уровня в модели выступают характеристики зависимостей  $E_{кр}$  от частоты тестирования (линейность зависимости  $E_{кр}$  в логарифмическом масштабе частот, выход зависимости на горизонтальный участок при наличии утечек и пр.), а также от внешних воздействий, например температурных (площадь петли гистерезиса, сдвиг зависимости при многоцикловом воздействии и пр.).

Таким образом, появляется возможность для сравнения ИЭУ. Например, линейность характеристики  $E_{кр}(\log f)$  связана с экспоненциальным ростом задержек распространения сигнала при снижении напряжения питания, а отклонения от линейности могут являться следствием нарушения технологии изготовления и дефектов исходных материалов. Частота ( $f$ ), при которой характеристики выходят на горизонтальный участок, связана с величиной утечки, и по признаку появления горизонтальности теоретически возможно обнаружение утечек до 1 ГОм.

Относительно зависимости от технологии изготовления можно отметить следующее. При тестировании любых логических КМОП ИЭУ классической серии CD4000 (и их отечественных аналогов серий К561, К564) наблюдалось постоянное повышение значений  $E_{кр}$  во всем частотном диапазоне. При тестировании современных быстродействующих ИЭУ усовершенствованной КМОП-технологии (серии 74НС, 74НСТ, их отечественные аналоги К1564) зависимости  $E_{кр}$  от частоты практически не имеется на низких и средних частотах, она появляется лишь на высоких частотах, близких к предельным. Частотной зависимости (на низких и средних частотах) также практически не наблюдается в аналоговых ИЭУ (компараторах и операционных усилителях). В этом случае в качестве дополнительных информативных параметров используются температурные зависимости  $E_{кр}$  и их характеристики.

В совокупности с другими методами данный метод косвенной оценки технического состояния ИЭУ позволяет приблизить решение задачи выбора высоконадежных устройств.

СКК носит экспериментальный характер, при дальнейшем развитии она может служить элементом более крупных систем входного и выходного контроля.

#### *Литература*

1. Nomokonova N.N. The microelectronics lifetime estimation using fuzzy logic / N.N. Nomokonova, V.Y. Gavrilov // Pacific Science Review. – 2003. – Vol. 5, № 1. – P. 46–49.
2. Номоконова Н.Н. Контроль микрoeлектронных устройств методом критических питающих напряжений / Н.Н. Номоконова, В.Ю. Гаврилов, Н.А. Алмина // Информатика и системы управления. – 2010. – № 1(23). – С. 115–120.

---

#### **Номоконова Наталья Николаевна**

Канд. техн. наук, доцент, проф. каф. электроники  
Владивостокского государственного университета экономики и сервиса (ВГУЭС)  
Тел.: +7-914-704-52-48  
Эл. почта: Natalya.Nomokonova@vvsu.ru

#### **Пивоваров Дмитрий Сергеевич**

Аспирант ВГУЭС  
Тел.: 8-914-722-71-24  
Эл. почта: diamante\_qdi-1@mail.ru

#### **Алмина Нина Александровна**

Аспирантка ВГУЭС  
Тел. 8-914-651-80-52  
Эл. почта: Belova.n@inbox.ru

Nomokonova N.N., Pivovarov D.S., Almina N.A.

#### **Decision-making for results of microelectronic devices inspection**

An information and measuring system for testing the individual properties of microelectronic devices is suggested. The system is based on the marginal voltages technique.

**Keywords:** marginal voltages, LSI quality inspection, frequency response.