

УДК 621.398

Н.Н. Номоконова, В.Ю. Гаврилов, Д.С. Пивоваров

## Особенности контроля технического состояния программируемых больших интегральных схем

Формулируются особенности прогнозирующего контроля современных микроэлектронных устройств.

**Ключевые слова:** информативные параметры, критические питающие напряжения, контроль технических свойств.

В статье формулируются особенности прогнозирующего контроля современных микроэлектронных устройств, описывается развитие одного из методов, пригодных для проведения такого контроля, и его программно-аппаратное обеспечение. Отметим, что важнейшей задачей любого подобного метода является поиск новых информативных параметров (ИП), по значениям которых возможно проведение прогнозирующего контроля.

Речь пойдет о методе контроля, ядром которого является многоуровневая модель ИП и в котором в качестве информативного параметра первого уровня выступают критические питающие напряжения ( $E_{кр}$ ), а последующих уровней – их зависимости от режимов измерений, внешних воздействий, а также особенностей этих зависимостей (линейность/нелинейность, скорость изменения, характеристики гистерезиса). ИП второго уровня формируется на основе выполнения условия об обеспечении ослабления «отрицательных» свойств ИП первого уровня, чем определяется повышение информативности метода относительно технических свойств контролируемого устройства. В работе использованы сами эти «отрицательные» свойства в качестве ИП. Например,  $E_{кр}$  зависят от частоты тестовых воздействий и от электрических режимов. При этом в качестве ИП второго уровня выбирался характер зависимости ИП первого уровня от частоты  $E_{кр}(f)$  [1].

В ходе исследований были протестированы ИС таймеров NE555P зарубежного производства и операционных усилителей КФ140УД7 отечественного производства. На основе полученных данных построены графики зависимостей критических питающих напряжений от частоты ( $E_{кр}(f)$ ). Для построения графиков были выбраны две микросхемы с минимальным запасом по  $E_{кр}$  в области низких частот и две – с максимальным запасом. На рис. 1 представлены графики  $E_{кр}(f)$  для ИС NE555P, а на рис. 2 – для ИС КФ140УД7. По данным графикам можно сделать вывод о том, что ИС зарубежного производителя имеют более стабильные параметры, так как начиная с минимальной частоты тестирования диапазон разброса  $E_{кр}$  минимален и составляет 0,06 В. Разброс  $E_{кр}$  ИС российского производства составляет 0,16 В. Можно возразить, что это ИС разного внутреннего характера и их невозможно сравнивать, но ранее протестированные ИС операционных усилителей зарубежного производителя LM2904D показали тоже минимальный разброс этого параметра [2]. По этим показателям можно сказать, что зарубежные ИС более стабильны и достигается это более совершенной технологией производства.

Для тех предприятий, где планируется применять данный метод, предлагается упрощенный двухчастотный способ тестирования ИС. Выбор двух частот для тестирования предваряется определением переломной частоты ( $f_n$ ). Эта частота определяется из графиков зависимостей  $E_{кр}(f)$ , снятых для установочной партии ИС. Переломная частота – это та точка на графике, после которой следует резкий спад запаса по  $E_{кр}$  у наименее быстродействующей ИС из партии. В зависимости от объема установочной партии первая и вторая частоты тестирования должны выбираться с некоторым запасом, учитывающим, что реальный разброс параметров ИС несколько выше разброса, зафиксированного в выборке. Объемы выборок для исследованных ИС довольно малы, и первая частота берется с большим запасом вниз:  $f_1 < 0,8f_n$ . Вторая частота тестирования должна находиться в диапазоне  $f_n < f_2 < 1,33f_n$ . Множитель к максимуму  $f_2$  составляет в данном случае 1,33 и берется из анализа  $E_{кр}(f)$  для выборки из соображения, чтобы на максимально возможной частоте тестирования ИС с минимальным быстродействием продолжали работать с нулевым запасом по  $E_{кр}$ .

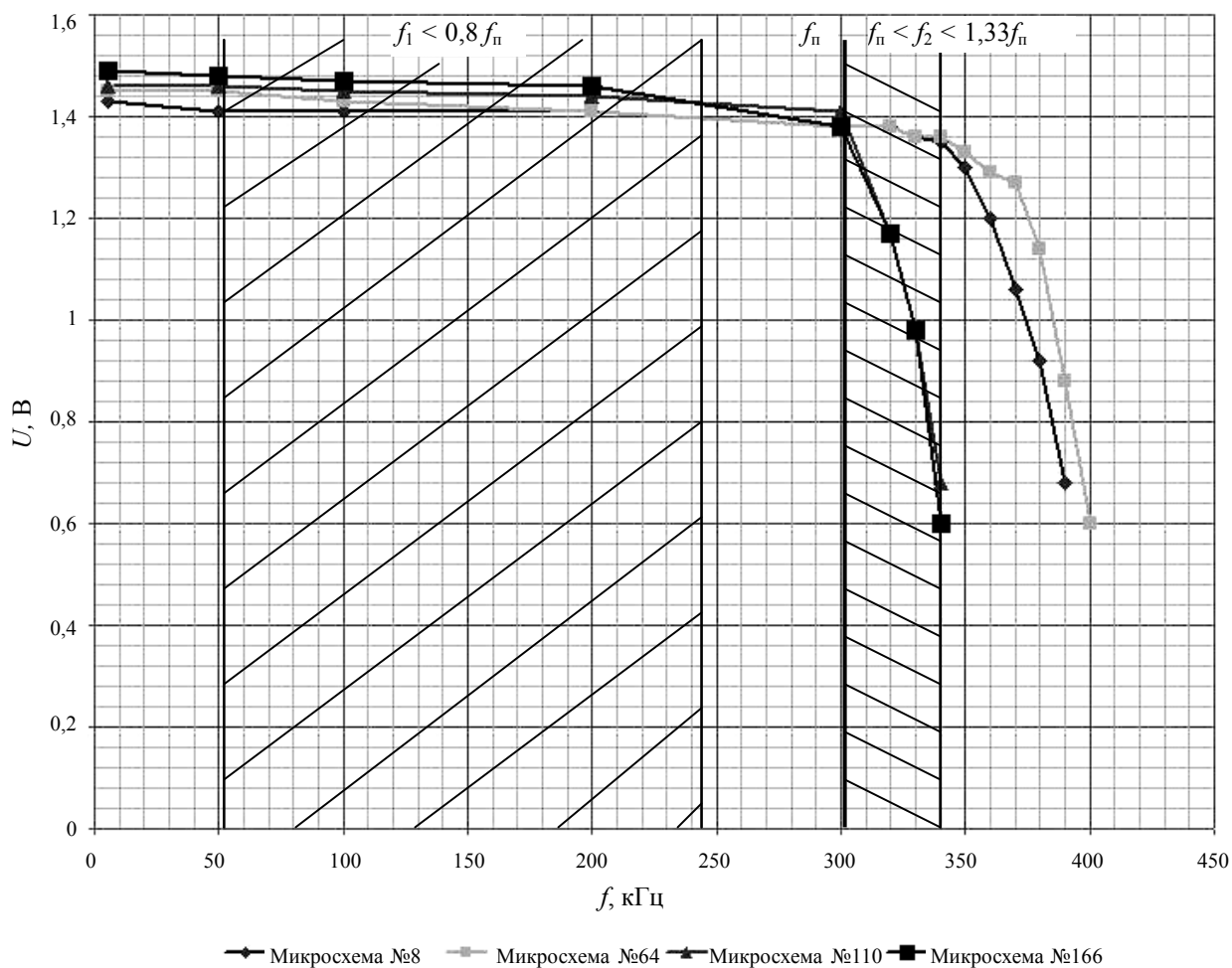


Рис. 1. Зависимость критических питающих напряжений от частоты для интегральных схем NE555P

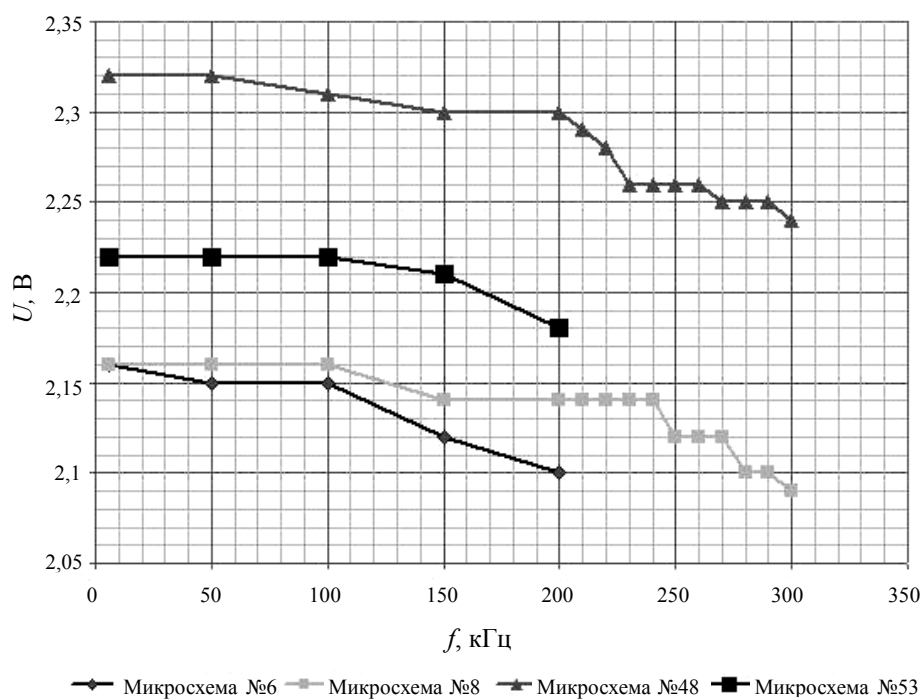


Рис. 2. Зависимость критических питающих напряжений от частоты для интегральных схем КФ140УД7

Дальнейшие исследования характеристик  $E_{кр}(f)$  как информативного параметра должны быть направлены в том числе на уточнение величин запасов по частотам тестирования в зависимости от объемов выборки ИС.

Вышеприведенный подход к контролю применим для выбора высоконадежных полупроводниковых интегральных микроэлектронных устройств по значениям ИП, в которых отражаются индивидуальные характеристики технического состояния последних. Многочисленные эксперименты с устройствами цифрового и аналогового типов (например, 74НС4051, 74НС4052, 74НС139, 74НС139, КМОП коммутаторов Analog Devices ADG419, цифровых потенциометров AD8400) показали, что  $E_{кр}$  являются информативными относительно таких скрытых дефектов, как токи утечки, нестабильность пороговых напряжений, задержка распространения сигнала [2].

Данный метод контроля является не только индивидуальным, но и неразрушающим объекты контроля, что крайне важно, т.к. отобранные высоконадежные устройства устанавливаются в изделия ответственного применения. Такими устройствами могут быть элементы вычислительной техники и устройства управления, являющиеся комплектующими технических систем ответственного применения, к которым предъявляются повышенные требования по безотказности.

Определение длительного безотказного функционирования указанных устройств в эксплуатационных условиях является сложной проблемой, поскольку их качество закладывается на этапах разработки схемотехнического решения и материализуется на этапе производства. Общего решения данной весьма актуальной проблемы пока не найдено, однако поэтапный контроль материалов, технологических режимов, выходной и входной контроль готовой продукции часто дают высокие результаты в прогнозировании надежного функционирования устройств.

Безотказность (как разновидность показателя надежности) определяется устойчивостью свойств набора материалов, используемых при изготовлении конкретного устройства (полупроводниковых, проводящих, изоляционных и т.д.). Вполне очевидно утверждение, что безотказность устройства, формируемая физическими закономерностями и явлениями при его создании (движение электронов в твердых телах, поляризация диэлектриков, диффузия и пр.), будет иметь нужные характеристики, если выполняется необходимое условие – свойства материалов, ответственных за безотказность, и параметры внешних воздействий находятся в определенных пределах. Известно, что реальные условия эксплуатации могут оказаться случайными и более того – экстремальными. Поэтому необходимо проводить целенаправленный выбор внешних воздействий, применяемых в процедуре контроля, которые должны выявить степень устойчивости объекта контроля к внешним воздействиям. Эти воздействия должны быть неразрушающими и реализовываться оперативно и достаточно простыми средствами. Таким образом, к ИП второго уровня в виде зависимостей  $E_{кр}(f)$  добавились зависимости  $E_{кр}$  от приложенных к объектам контроля внешних нагрузок. В частности, использовались температурные циклические нагрузки, позволившие получить гистерезисный отклик со своими характеристиками, которые в свою очередь являются ИП третьего уровня.

При таком подходе прогнозирующий контроль – это контроль, по результатам которого дается качественная оценка безотказного функционирования объектов контроля, т.е. проводится косвенная оценка количества скрытых дефектов, определяющих вероятность внезапных отказов в специфических условиях эксплуатации. Однако такой подход при переходе к контролю современных больших интегральных схем (БИС) потребовал дальнейшего усовершенствования как собственно метода, так и его программно-аппаратной реализации. В память БИС часто требуется занесение определенной настроечной информации при подаче питания. К числу таких БИС относятся, например, синтезаторы частот, в которые необходимо занести коэффициенты деления основного и опорного делителей, БИС модемов (требуют программирования встроенных фильтров, переключения протоколов) и другие БИС, программирование которых чаще всего происходит по последовательному интерфейсу SPI, I<sup>2</sup>C. Дело в том, что после проведения измерения  $E_{кр}$  на первой частоте настроечная информация в БИС чаще всего нарушается, делая невозможным повторение измерения на второй частоте.

Подобная ситуация повторяется при любом способе контроля, использующем в качестве информативного параметра  $E_{кр}$ . Суть измерения критических напряжений состоит как раз в фиксации первого сбоя в работе объекта контроля при постепенном снижении напряжения питания. После наступления сбоя настроечную информацию во внутренних регистрах БИС уже нельзя считать соответствующей требованиям тестирования и процедура контроля не может быть продолжена.

Способ контроля, при котором измеряют зависимость критических напряжений от температуры при термоциклировании объекта контроля, также обладает подобным недостатком, т.е. оказывается неприменимым в прямом виде для контроля БИС.

По сути, усовершенствование способа контроля состоит во введении дополнительной операции программирования (настройки) внутренних регистров объекта контроля, проводимой при установке номинального напряжения питания после завершения каждого цикла измерения ИП.

После проведения операции программирования при номинальном питании состояние внутренних регистров можно считать удовлетворяющим требованиям процедуры контроля, что позволяет повторять измерение  $E_{кр}$  в новых условиях (при других температурах, других частотах и пр.).

Предлагаемый способ реализуется введением в установку контроля [2] специального программатора, а также управляющего устройства, осуществляющего подключение и запуск программатора в начале каждого измерения критических напряжений.

#### *Литература*

1. Номоконова Н.Н. Принятие решения по результатам контроля микросистемных устройств / Н.Н. Номоконова, Д.С. Пивоваров, Н.А. Алмина // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2010. – № 2(22), ч. 2. – С. 36–37.

2. Номоконова Н.Н. Контроль микросистемных 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**

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

#### **Гаврилов Владимир Юрьевич**

Канд. техн. наук, доцент каф. электроники ВГУЭС  
Тел.: +7-914-731-27-34  
Эл. почта: nivelir@vladivostok.ru

#### **Пивоваров Дмитрий Сергеевич**

Аспирант ВГУЭС  
Тел.: +7-914-722-71-24  
Эл. почта: diamante\_gdi-1@mail.ru

Nomokonova N.N., Gavrilo V.Y., Pivovarov D.S.

#### **The Aspects Of The Programmable LSIC Technical Inspection**

The aspects of the predictive quality inspection for the contemporary microelectronic devices were formulated.

**Keywords:** informative parameters, marginal voltages, quality inspection.