

УДК 621.382: 621.311

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

© 2016 Р.О. Мишанов^{1,2}, М.Н. Пиганов²

¹ АО «РКЦ «Прогресс», г. Самара

² Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 06.07.2016

В статье приводится информация о назначении и программе исследовательских испытаний микросхем, указывается связь обучающего эксперимента и исследовательских испытаний. Приведены важнейшие этапы методики обучающего эксперимента. Отмечены задачи каждого этапа методики. Указаны важнейшие дестабилизирующие факторы, влияющие на функционирование микросхем. На примере выборки микросхем 765ЛН2-1 ОС показано применение программы испытаний, определены режимы испытаний, выявлены наиболее информативные параметры. Приводятся структурные схемы измерения наиболее информативных параметров. Получены математические модели индивидуального прогнозирования для исследуемой выборки на основе полученных результатов испытаний.

Ключевые слова: обучающий эксперимент, прогнозирование, исследовательские испытания, микросхемы, математическая модель, ток утечки, метод регрессионных моделей, метод дискриминантных функций.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время интегральные микросхемы являются одним из самых массовых изделий современной микроэлектроники, т.к. значительно облегчают расчет и проектирование функциональных узлов и блоков, позволяют выполнять функции преобразования и обработки сигналов с высоким быстродействием и низким энергопотреблением. К интегральным микросхемам, функционирующим в составе устройств на борту космических аппаратов, предъявляются жесткие требования к их надежности из-за невозможности или трудности выявления и ремонта отказа. Таким образом, функционирование бортовых устройств в значительной степени зависит от надежности интегральных микросхем и выполнения возложенных на них функций.

Современный этап развития элементной базы для космических аппаратов характеризуется повышением надежности и работоспособности радиоэлементов в космических условиях, которые значительно отличаются в зависимости от целевого назначения космического аппарата. Одним из перспективных методов определения качества и надежности, предотвращения отказов и обеспечения необходимого уровня работоспособности изделий является индивидуальное прогнозирование показателей качества и на-

дежности с использованием оператора прогнозирования (математической модели), которое показало высокую эффективность для микросхем различных серий и технологий изготовления, стабилитронов, тонкопленочных резисторов и конденсаторов.

Индивидуальное прогнозирование включает в себя проведение четырех этапов [1,2]:

- обучающего эксперимента;
- обучения;
- экзамена;
- прогнозирования.

Важнейшим этапом индивидуального прогнозирования является обучающий эксперимент, полнота и корректность которого значительно влияет на точность оператора прогнозирования. Основой обучающего эксперимента являются исследовательские испытания.

Цель работы – разработка и апробация программы исследовательских испытаний КМОП-микросхем.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

В соответствии с ГОСТ 16504-81 исследовательские испытания – испытания, проводимые для изучения определенных характеристик свойств объекта. Такие испытания проводятся с целью:

- определения или оценки показателей качества функционирования испытываемого объекта в определенных условиях его применения;
- выбора наилучших режимов применения объекта или наилучших характеристик свойств объекта;
- сравнения множества вариантов реализации объекта при проектировании и аттестации;

Мишанов Роман Олегович, инженер-конструктор 3 категории АО «РКЦ «Прогресс», аспирант кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: mishanov91@bk.ru

Пиганов Михаил Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры конструирования и технологии электронных систем и устройств. E-mail: kipres@ssau.ru

- построения математической модели функционирования объекта (оценки параметров математической модели);

- отбора существенных факторов, влияющих на показатели качества функционирования объекта;

- выбора вида математической модели объекта (среди заданного множества вариантов) [3].

Автором [4] была предложена методика обучающего эксперимента для электрорадиоизделий космических радиоэлектронных средств. Согласно [4] автор выделяет семь основных этапов методики:

1. Анализ конструктивно-технологических особенностей микросхем.

2. Разработка или уточнение схем включения для контроля их работоспособности и измерения основных параметров.

3. Выбор методов и средств контроля информативных параметров.

4. Определение объема выборки.

5. Разработка программы исследовательских испытаний.

6. Проведение исследовательских испытаний и экспериментов.

7. Анализ результатов испытаний и экспериментов.

Первый и второй этапы тесно связаны с изучением технических условий микросхем, а именно определяют назначение микросхемы, технологическое исполнение, особенности корпусов, определяют основные электрические параметры, схемы включения и измерения интересующих параметров, а также режимы измерения этих параметров.

На третьем этапе определяют интересующие нас информативные параметры, т.е. такие параметры, которые имеют стохастическую связь с параметром надежности микросхемы (например, ток утечки). Кроме этого, изучаются причины, механизмы отказа, а также проводится подробный анализ отказов конкретного вида микросхем.

На четвертом этапе определяют оптимальную величину выборки, которая описывает характеристики генеральной совокупности с минимально допустимой ошибкой. Данный этап не требует каких-либо сложных действий и расчетов.

Основная сложность обучающего эксперимента ложится на пятый этап – разработку программы исследовательских испытаний. Этап предполагает решение следующих задач:

- выявить процессы деградации;

- установить механизм отказов и диапазон нагрузок, ускоряющих механизм отказов [3].

Программа испытаний содержит шесть основных разделов:

- объект испытаний;

- цель испытаний;

- обоснование необходимости проведения испытаний;

- место проведения и обеспечение испытаний;

- объем и методика испытаний;

- оформление результатов испытаний.

Основную сложность вызывает проведение и методическое обеспечение испытаний, в частности объем и методика испытаний. Основная цель испытаний – получение наиболее полной информации о потенциально ненадежных микросхемах. В связи с этим, выбор воздействующих факторов (с учетом местоположения РЭС на космическом аппарате) является достаточно сложной задачей [5].

Выбор воздействующих факторов предлагается осуществлять из следующего ряда факторов:

1. Воздействие тепловых нагрузок.

2. Воздействие электростатического разряда (ЭСР).

3. Растягивающая и изгибающая сила.

4. Линейное ускорение, вибрации, удары.

5. Электрические нагрузки.

6. Воздействие влажности,

7. Воздействие пониженного и повышенного давления.

8. Влияние акустических шумов.

9. Воздействие спецфакторов.

На этапе проведения исследовательских испытаний уточняется степень информативности выбранных параметров и отбираются те, которые имеют большую информативность. Если степень информативности низкая, то целесообразно выбрать для рассмотрения другие параметры, либо в дальнейшем использовать индивидуальное прогнозирование экстраполяционными методами.

Согласно методике, предложенной в работе [4], были проведены исследовательские испытания интегральных микросхем 765ЛН2-1 ОС, изготовленных по КМОП-технологии и представляющих собой шесть логических элементов «НЕ».

В качестве исследуемых параметров были выбраны:

- входной ток логического нуля и логической единицы $I_{вх}^0$ и $I_{вх}^1$;

- ток потребления в статическом режиме $I_{пот}$;

- выходной ток логического нуля и логической единицы $I_{вых}^0$ и $I_{вых}^1$;

- критическое питающее напряжение $U_{кр.л}$;

- выходное напряжение логического нуля и логической единицы $U_{вых}^0$ и $U_{вых}^1$;

- максимальное выходное напряжение логического нуля $U_{вых max}^0$;

- минимальное выходное напряжение логической единицы $U_{вых min}^1$;

- время задержки по переднему фронту сигнала t_p^+ ;

- ток утечки $I_{ут}$.

В качестве прогнозируемого параметра было выбрано изменение тока утечки, т.к. установлено, что повышение токов утечки в микросхеме при воздействии дестабилизирующих факторов

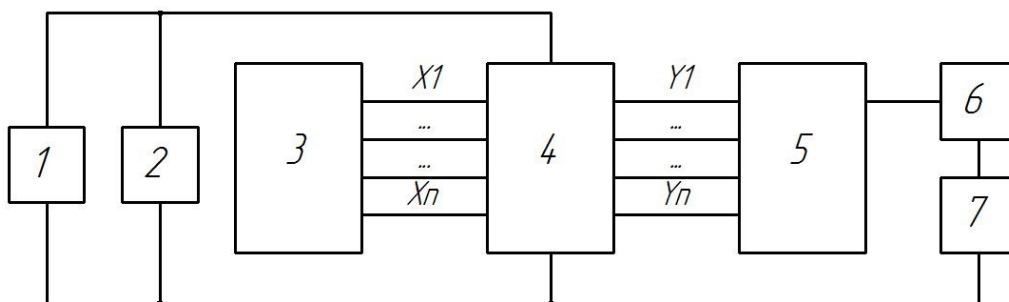


Рис. 1. Структурная схема измерения тока утечки микросхем:

1 – источник постоянного тока; 2 – вольтметр; 3 – формирователь тестовых последовательностей; 4 – исследуемая микросхема; 5 – коммутатор выходов; 6 – устройство защиты измерительного прибора от перегрузок при коротком замыкании; 7 – амперметр; X1...X2 – входы микросхемы; Y1...Y2 – выходы микросхемы

приводит к отказу микросхемы [6]. Критерием отбраковки является превышение изменения тока утечки относительно допустимого значения, указанного в технических условиях, более чем на 40 % ($\Delta I_{ут} \geq 40\%$). Схема измерения тока утечки показана на рис. 1.

Источник постоянного тока обеспечивает установление и поддержание на микросхеме заданного напряжения питания, которое контролируется с помощью вольтметра 2. Измерения проводятся при отсутствии подачи тестовых последовательностей на входы микросхем. Значения тока утечки снимаются с амперметра 7. В схеме предусмотрено устройство защиты, которое защищает испытываемую микросхему от короткого замыкания.

В качестве информативных параметров из всей совокупности параметров были выбраны те, которые имеют наибольшую степень корреляции с прогнозируемым параметром, а именно:

- время задержки по переднему фронту сигнала t_p^+ ,
- критическое питающее напряжение $U_{кр.П}$.

Схемы измерений выбранных параметров показаны на рис. 2 и на рис. 3.

Оптимальное число экземпляров выборки составило 50 микросхем. Испытания микросхем проводились в соответствии с техническими условиями в течение 1000 ч.

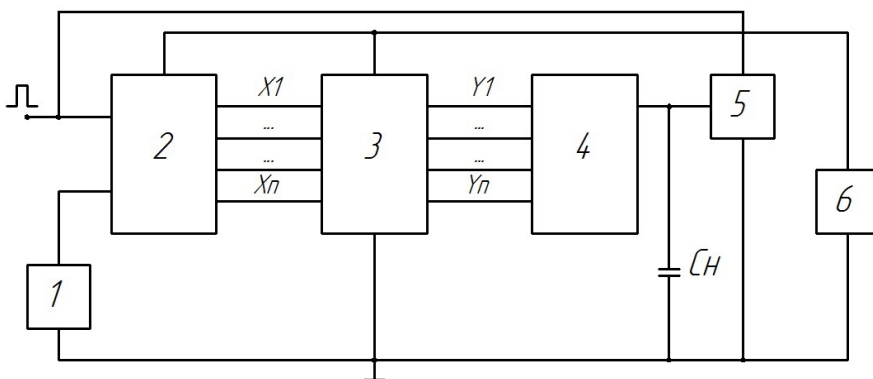


Рис. 2. Структурная схема измерения времени задержки по переднему фронту сигнала:

1 – источник постоянного напряжения; 2 – коммутатор входов; 3 – исследуемая микросхема; 4 – коммутатор выходов; 5 – измеритель временных параметров; 6 – источник питающего напряжения; X1...X2 – входы микросхемы; Y1...Y2 – выходы микросхемы; Cн – суммарная ёмкость нагрузки (50 пФ ± 20%)

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам проведенных исследовательских испытаний КМОП-микросхем с помощью метода регрессионных моделей определена математическая модель исследуемой выборки. Модель имеет следующий вид:

$$\frac{\Delta I_{ym}}{I_{ym}} = -3,135 + 28,46 \cdot t_p^+ - 47,26 \cdot U_{крП} \cdot (1)$$

Также с помощью метода дискриминантных функций была определена математическая модель исследуемой выборки. Модель имеет следующий вид:

$$\Pi_{\delta} = \frac{\Delta I_{ym}}{I_{ym}} + 0,9 \cdot t_p^+ + 0,53 \cdot U_{крП}, (2)$$

где Π_{δ} – порог дискриминантной функции.

Оба метода показали высокую эффективность прогноза, в первом случае вероятность принятия ошибочного решения составила менее 0,05, во втором случае – менее 0,08.

ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Была разработана программа исследовательских испытаний КМОП-микросхем. Проведены испытания микросхемы серии 765. На основе

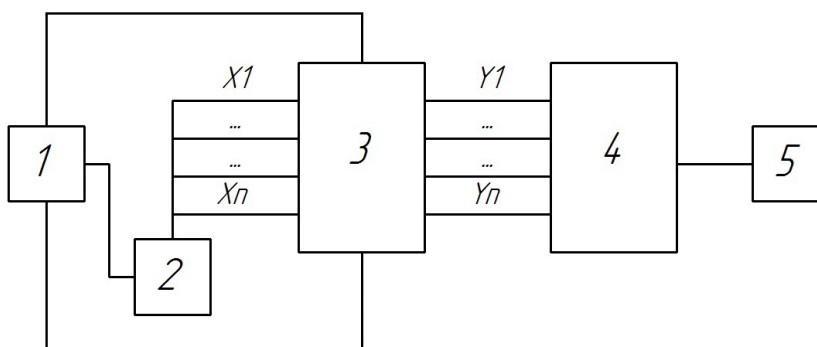


Рис. 3. Структурная схема измерения критического питающего напряжения:
 1 – источник питающего напряжения; 2 – формирователь тестовой последовательности;
 3 – исследуемая микросхема; 4 – коммутатор выходов; 5 – блок определения времени задержки;
 $X_1...X_n$ – входы микросхемы; $Y_1...Y_n$ – выходы микросхемы

полученных результатов построены математические модели прогнозирования с использованием двух методов. Модели показали высокую степень достоверности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пиганов М.Н. Индивидуальное прогнозирование показателей качества элементов и компонентов микросборок. М.: Новые технологии, 2002. 267 с.
2. Пиганов М.Н., Тюлевин С.В. Прогнозирование надежности радиоэлектронных средств // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Серия «Информатика. Телекоммуникации. Управление». СПб., 2009. Вып.1. С.175-182.
3. ГОСТ 16504-81. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1991. 48 с.
4. Тюлевин С.В., Пиганов М.Н. Методика обучающего эксперимента при индивидуальном прогнозировании показателей качества космических РЭС // Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций: материалы всероссийской НТК 13 – 15 мая 2008. Самара: Издательство СГАУ, 2008. С. 239-253.
5. Пиганов М.Н. Испытания электронных средств специального назначения [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие. Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С.П. Королёва (нац. исслед. ун-т). Электрон. текстовые и граф. дан. (1,86 Мбайт). Самара, 2012. 1 эл. опт. диск (CD-RW).
6. Повышение достоверности отбраковки БИС методом понижения питающего напряжения / А.И. Белоус, В.А. Емельянов, С.А. Ефименко, А.В. Прибыльский // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2001. №4-5. С. 35-37.

THE INVESTIGATION TESTS OF THE INTEGRATED CIRCUITS

© 2016 R.O. Mishanov^{1,2}, M.N. Piganov²

¹JSC SRC «Progress», Samara

²Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The article deals with the information of the investigation tests assignment, development of the investigation tests program of the integrated circuits. The communication of teaching experiment and investigation tests is specified. The most important stages of the teaching experiment method are given. Tasks of each stage of the method are marked. The major destabilizing factors influencing on the integrated circuits operation are stated. On the example of the integrated circuits 765LN2-1 selection the application of the test program is shown, the studied parameters are determined, the most informative parameters are set. The block diagrams of the most informative parameters measurements are provided. Mathematical models of personal forecasting for the researched selection on the basis of the received test results are given. *Keywords:* Teaching experiment, forecasting, investigation tests, integrated circuits, mathematical model, leakage current, method of regression models, method of discriminant functions.

Roman Mishanov, Design Engineer Level 3 of JSC SRC «Progress», Post-Graduate Student at the Design and Technology of Electronic Systems and Devices Department. E-mail: mishanov91@bk.ru

Mikhail Piganov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Design and Technology of Electronic Systems and Devices Department. E-mail: kipres@ssau.ru